รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของการใช้น้ำมันทอดซ้ำต่อคุณภาพของน้ำมันทอดและผลิตภัณฑ์อาหารทอด : กรณีศึกษาในไก่ทอดและปาท่องโก๋

Effect of repeated frying oil on the quality of fried oil and fried food : study case of fried chicken and chinese doughnut

โดย

ผศ. เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล และคณะ

เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

ชื่อเรื่อง ผลของการใช้น้ำมันทอดซ้ำต่อคุณภาพของน้ำมันทอดและผลิตภัณฑ์อาหารทอด
: กรณีศึกษาในไก่ทอดและปาท่องโก๋

Effect of repeated frying oil on the quality of fried oil and fried food
: study case of fried chicken and chinese doughnut

ทีมผู้วิจัย

1. ผศ. เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
2. ดร.วรพงษ์ อัศวเกศมณี ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ที่ปรึกษาโครงการ รศ. ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก

ระยะเวลาทำวิจัย เวลา 1 ปี

งบประมาณทั้งโครงการเป็นเงิน 500,000 บาท

โครงการวิจัยโดยย่อ

บทนำ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารทอดเป็นที่นิยมกันทั่วไปทุกเพศทุกวัย ทั้งอาหารพร้อมปรุง และอาหารสำเร็จรูป เช่น ไก่ทอด บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป โดนัท มันฝรั่งทอด และผลไม้ทอด เป็นต้น ดังนั้นน้ำมันบริโภคจึงเข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตของทุกคน อย่างไรก็ดีน้ำมันและผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการทอดมักเสื่อมเสียด้วยปฏิกิริยาเคมีต่างๆได้แก่ไฮโดรไลซีส ออกซิเดชัน พอลิเมอไรเซชัน ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้เป็นสาเหตุให้เกิดการสลายตัวของกรดไขมันจำเป็นในผลิตภัณฑ์อาหารทำให้เกิดอนุมูลอิสระ เกิดสารประกอบที่ระเหยได้และที่ไม่ระเหย สารที่ไม่ระเหยเหล่านี้ยังคงอยู่ในน้ำมันทอด และจะเสื่อมสลายต่อไปทุกครั้งที่ใช้น้ำมันนี้ทอดและอาหารจะดูดซึมสารเหล่านี้ไว้ เชื่อกันว่าถ้าใช้น้ำมันทอดหลายๆครั้งทำให้เกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นสะสมอยู่ในน้ำมันและไม่ระเหย ทำให้ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันเปลี่ยนไปคือความหนืดเพิ่มขึ้นเกิดสีและฟอง นอกจากนี้อาจเกิดการสลายตัวของวิตามินชนิดที่ละลายได้ในไขมันและน้ำมัน คุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันลดลง และหรืออาจเป็นตัวก่อให้เกิดสารที่เป็นอันตรายหรือสารพิษขึ้น เช่น สารก่อมะเร็ง หรือสารก่อการกลายพันธุ์ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาถึงผลของการทอดซ้ำที่มีต่อคุณภาพของน้ำมันและผลิตภัณฑ์อาหารหลังการทอดรวมถึงการเกิดสารบางชนิดที่อาจจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพเพื่อการเฝ้าระวังซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงอันตรายจากการบริโภคอาหารทอด

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อทราบถึงผลของระยะเวลาการใช้น้ำมันทอดต่อคุณภาพน้ำมันและอาหารหลังทอด
2. เพื่อทราบถึงคุณภาพของน้ำมันและอาหารหลังจากการใช้น้ำมันทอดซ้ำในสภาวะต่างๆ

เนื้อหาการวิจัยโดยย่อ

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทอด ในกรณีไก่ทอดใช้อุณหภูมิ 170 180 และ 190 °C เวลา 15 18 และ21 นาที ส่วนกรณีปาท่องโก๋ใช้อุณหภูมิ 160 170 และ180 °C เวลา 3 5 และ7 นาที ผลการทดลองพบว่าคุณภาพน้ำมันลดลงโดยมีปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine มีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิและเวลาทอดเพิ่มขึ้น และจากการพิจารณาคุณภาพทางเคมีดังกล่าวร่วมกับค่าสีแล้วได้คัดเลือกอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมคือไก่ทอดใช้อุณหภูมิ 180 °C เวลา 15 นาที และปาท่องโก๋ใช้อุณหภูมิ170 °C เวลา5 นาทีจากนั้นทำการศึกษาหาอัตราส่วนน้ำมัน:อาหารที่เหมาะสมโดยใช้ อัตราส่วนน้ำมัน:ไก่หมักเครื่องปรุง และอัตราส่วนน้ำมัน:แป้งโด ที่ 10: 1 10:2 10:3 และ16 :1.0 16 :1.5 16 :2 (ปริมาตร : น้ำหนัก) ตามลำดับ เห็นได้ว่าอัตราส่วนน้ำมัน : อาหารที่ศึกษาไม่มีผลให้คุณภาพทางเคมีของน้ำมันเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาถึงความสม่ำเสมอของสีของผลิตภัณฑ์ ความเหมาะสมในทางปฏิบัติ รวมถึงต้นทุนสินค้า จึงสรุปว่าไก่ทอดใช้อัตราส่วนน้ำมัน: ไก่หมักเครื่องปรุง โดยเฉลี่ยประมาณ 10 :2.5 ส่วนปาท่องโก๋ใช้อัตราส่วนน้ำมัน:แป้งโด 16 :1.5

การศึกษาผลของระยะเวลาการใช้งานน้ำมันทอด กรณีไก่ทอดให้ร้านค้า 2 ร้าน โดยใช้งานน้ำมันทอดตามเวลาปกติของการขายคือร้านที่ 1ใช้เวลาทอด 3 ชั่วโมง ร้านที่2 ใช้เวลาทอด 6 ชั่วโมง รูปแบบการทอดตามสภาพการใช้งานจริง ส่วนร้านที่ 3 คือ ห้องปฏิบัติการใช้เวลาทอด 9 ชั่วโมง

ร้านค้าชุมชนที่ 1

รูปแบบการทอด เป็นการทอดผสมทุกชนิดของชิ้นส่วนในแต่ละครั้งของการทอด โดยขนาดชิ้นส่วนไก่มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อชิ้นเป็นดังนี้ อก130กรัม สะโพก152 กรัม น่อง115 กรัมและปีก 110 กรัม

เริ่มต้นใช้น้ำมันปาล์ม 12 ลิตร อัตราส่วนน้ำมัน: ไก่ ประมาณ 10:2.5 ทำการทอดที่อุณหภูมิ 175°C ต่อเนื่อง3 ชั่วโมง/วัน (เวลาที่ใช้ทอดแต่ละครั้ง 15 นาที จำนวน 12 ครั้ง) เก็บตัวอย่างครั้งที่ 13 6 9 และ12

ร้านค้าชุมชนที่ 2

รูปแบบการทอด เป็นการทอดแยกชนิดชิ้นส่วนในแต่ละครั้งของการทอด ขนาดชิ้นส่วนไก่มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อชิ้นเป็นดังนี้ อก 130 กรัม สะโพก 152 กรัม น่อง 115 กรัม และปีก 110 กรัม โดย

เริ่มต้นใช้น้ำมัน7 ลิตร อัตราส่วนน้ำมัน: ไก่ ประมาณ10:2 ทำการทอดที่อุณหภูมิ 180°C ต่อเนื่อง 6 ชั่วโมง/วัน (เวลาที่ใช้ทอดแต่ละครั้ง 12 นาที จำนวน 30 ครั้ง) เก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 1 15 และ30

ร้านที่ 3 (ห้องปฏิบัติการ)

รูปแบบการทอด เป็นการทอดชิ้นส่วนที่เป็นน่องเพียงอย่างเดียวในแต่ละครั้งของการทอด โดยมีขนาดน้ำหนักเฉลี่ยต่อชิ้นเป็น 110 กรัม เริ่มต้นใช้น้ำมัน7 ลิตร อัตราส่วนน้ำมัน: ไก่ ประมาณ10:3 ทำการทอดที่อุณหภูมิ 190°C ต่อเนื่อง 9 ชั่วโมง/วัน (เวลาที่ใช้ทอดแต่ละครั้ง 18 นาที จำนวน 30 ครั้ง) เก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 5 10 15 20 25 และ30

สำหรับการศึกษาผลของระยะเวลาการใช้งานน้ำมันทอด กรณีปาท่องโก๋เลือกร้านค้าชุมชนเพียงร้านเดียว(เนื่องจากแต่ละร้านมีรูปแบบและวิธีการใช้น้ำมันคล้ายกัน รวมถึงไม่มีความแตกต่างของวัตถุดิบมากนัก) ทำการทอดที่อุณหภูมิ 170°C ต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง/วัน

ผลการศึกษาระยะเวลาการใช้งานน้ำมันทอด แสดงให้เห็นว่าที่ระยะเวลาการใช้งานเพิ่มขึ้นคุณภาพน้ำมันต่ำลง อย่างไรก็ดีน้ำมันทอดไก่ที่ใช้งาน 9 ชั่วโมง และเวลาการใช้งานทอดปาท่องโก๋ที่ 10 ชั่วโมง ทั้งสองกรณีมีปริมาณโพลาร์ประมาณ 20 % ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ แต่สีของน้ำมันมีสีดำ (ค่า L^* ลดลง ค่า a^*และ b^* เพิ่มขึ้น) ความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้น และสีของผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีสีคล้ำ ทั้งนี้ร้านค้าจะกำหนดการสิ้นสุดระยะเวลาการใช้งานน้ำมันทอดจากการพิจารณาสีและลักษณะปรากฏของน้ำมันและผลิตภัณฑ์ (เช่น สีผิวหมองคล้ำ และอมน้ำมัน เป็นต้น)

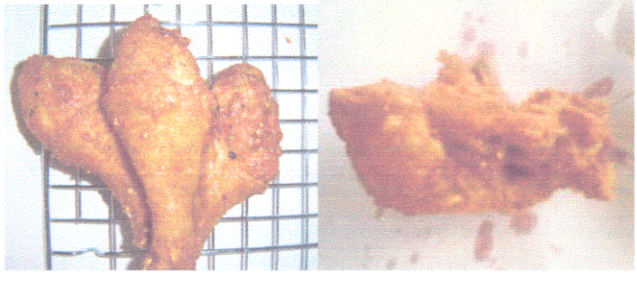
การศึกษาผลของการใช้น้ำมันทอดซ้ำ โดยทดลอง 2 แบบคือ ใช้น้ำมันเดิมทอดซ้ำทุกวัน และใช้น้ำมันใหม่ผสมน้ำมันเดิมในสัดส่วน 1:2 ทุกวัน(มีการกรองน้ำมันหลังสิ้นสุดการใช้งานแต่ละวัน) ใช้เงื่อนไขการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาผลของระยะเวลาการใช้งานน้ำมันทอดดังกล่าวข้างต้น ยกเว้นร้านที่3 (ห้องปฏิบัติการ)ที่ทำการทอดไก่ และการทอดปาท่องโก๋ใช้เวลาทอดเพียง 3 ชั่วโมง/วัน ผลการทดลองพบว่า กรณีไก่ทอดทั้ง 3 ร้าน (3 รูปแบบการทอด) เมื่อใช้น้ำมันเดิมทอดซ้ำเป็นเวลา 4 วัน น้ำมันทอดมีปริมาณโพลาร์เพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่ทอด แต่ร้านที่ 2 ซึ่งมีจำนวนครั้งของการทอด/วันสูง จึงมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพลาร์สูงกว่าร้านอื่น และวันที่ 4 ของการทอดมีปริมาณโพลาร์เกิน 25% ขณะที่น้ำมันทอดหลังใช้งานซ้ำ 4 วันของร้านที่ 1 และ 3 มีปริมาณโพลาร์ 10-12 % ส่วนกรณีปาท่องโก๋พบว่าปริมาณโพลาร์เพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่ทอดเช่นเดียวกัน และการทอดซ้ำ 5 วันน้ำมันทอดมีปริมาณโพลาร์ประมาณ 25%(กำหนดใช้ปริมาณโพลาร์ไม่เกิน 25 % w/w เป็นเกณฑ์ตัดสินคุณภาพของน้ำมันทอด ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ.2547) แต่เมื่อพิจารณาจากสีของน้ำมันแล้วร้านค้ายอมรับให้มีการใช้ซ้ำเพียง 3 วัน ทั้งไก่ทอดและปาท่องโก๋

สำหรับการใช้น้ำมันใหม่เติมในน้ำมันเดิมก่อนนำมาใช้ทอดซ้ำ (น้ำมันใหม่:น้ำมันเดิม1:2) ได้ผลว่าการทอดไก่ของร้านที่ 1 เมื่อใช้น้ำมันทอดซ้ำเป็นเวลา 8 วัน ปริมาณโพลาร์มีค่าประมาณ

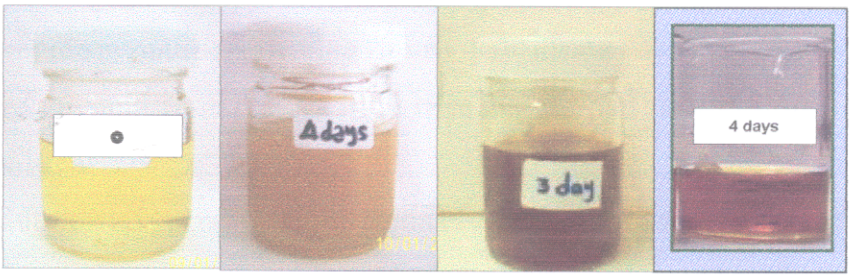
21.52 % ร้านที่ 2 เมื่อใช้น้ำมันทอดซ้ำเป็นเวลา 4 วันปริมาณโพลาร์มีค่าประมาณ 22.13 และวันที่ 5 มีปริมาณโพลาร์ 27 % และร้านที่ 3 น้ำมันทอดซ้ำวันที่ 7 มีปริมาณโพลาร์ 21.52 % สำหรับกรณีของปาท่องโก๋ พบว่า น้ำมันทอดซ้ำที่มีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวันใช้ทอดได้อย่างน้อย 60 วัน โดยมีปริมาณโพลาร์ประมาณ 16% ซึ่งไม่เกินเกณฑ์ของกระทรวงสาธารณสุข(ไม่เกิน 25%)

นอกจากนี้ได้ส่งตัวอย่างไก่ทอดและปาท่องโก๋บางตัวอย่างที่มีความเสี่ยงอันตรายจากสารโพลาร์ไปวิเคราะห์หาปริมาณอะคริลาไมด์ที่ห้องปฏิบัติการกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ผลปรากฏว่าไม่พบสารอะคริลาไมด์ในไก่ทอดส่วนในปาท่องโก๋พบสารอะคริลาไมด์เล็กน้อย (มีค่าสูงสุดคือ 108 μg /Kg) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ตรวจพบในมันฝรั่งทอดตามที่มีรายงานไว้ในผลการวิจัยต่างๆในเอกสารอ้างอิง

สรุปได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ทอดไก่อยู่ระหว่าง 170°C – 190°C เวลาทอด12-18 นาที ขึ้นกับชนิดและขนาดของชิ้นไก่ รวมถึงปริมาณน้ำมันที่ใช้ด้วย ระยะเวลาการใช้งานน้ำมันสามารถใช้ได้ถึง 9 ชั่วโมง/วันโดยน้ำมันมีปริมาณโพลาร์ไม่เกิน 25% การทอดโดยใช้น้ำมันเดิมทอดซ้ำใช้ได้ไม่เกิน 4 วัน และการใช้น้ำมันทอดซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน สามารถใช้งานได้ถึง 8 วัน ซึ่งปริมาณโพลาร์ของน้ำมันยังไม่เกิน25% ส่วนปาท่องโก๋ควรใช้อุณหภูมิทอดประมาณ 170°C เวลาประมาณ 5 นาที ระยะเวลาการใช้งานน้ำมัน สามารถใช้ได้ถึง 10 ชั่วโมง/วันโดยน้ำมันมีปริมาณโพลาร์ไม่เกิน 25% การทอดโดยใช้น้ำมันเดิมทอดซ้ำ ใช้ได้ไม่เกิน 5 วัน และการใช้น้ำมันทอดซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวันสามารถใช้งานได้มากกว่า 60 วันซึ่งปริมาณโพลาร์ของน้ำมันยังไม่เกิน 25% อย่างไรก็ดีสีของน้ำมันและผลิตภัณฑ์สุดท้าย นับว่าเป็นพารามิเตอร์สำคัญมากซึ่งถูกนำมาใช้พิจารณาการสิ้นสุดระยะเวลาการใช้งานน้ำมันทอด ทั้งนี้ผู้ใช้น้ำมันทอดต้องใช้ความสามารถและประสบการณ์เฉพาะตัวตัดสิน เนื่องจากน้ำมันหลังทอดอาหารแต่ละชนิดมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีตามธรรมชาติและส่วนประกอบต่างๆที่ใช้ปรุงและเติมแต่งในอาหารด้วย



ลักษณะปรากฏของน่องไก่ทอด(ภาพซ้าย) อกไก่ทอด(ภาพกลาง) และปาท่องโก๋(ภาพขวา) ที่ทอดด้วยสภาวะที่คัดเลือกว่าเหมาะสม



(a) (b) (c) (d)

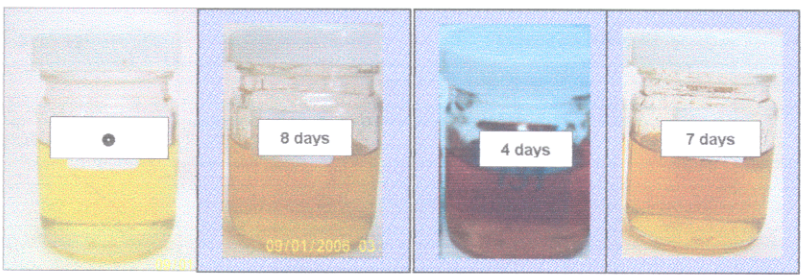
ลักษณะปรากฏของน้ำมันก่อนทอดและหลังทอดไก่ แบบไม่มีการเติมน้ำมันใหม่

(a) น้ำมันเริ่มต้นก่อนทอด

(b) น้ำมันหลังทอด 4วัน (12 ชั่วโมง)ของร้านที่ 1

(c) น้ำมันหลังทอดไก่ 3วัน(18 ชั่วโมง) ของร้านที่ 2

(d) น้ำมันหลังทอด 4วัน(12 ชั่วโมง) ของร้านที่ 3



(a) (b) (c) (d)

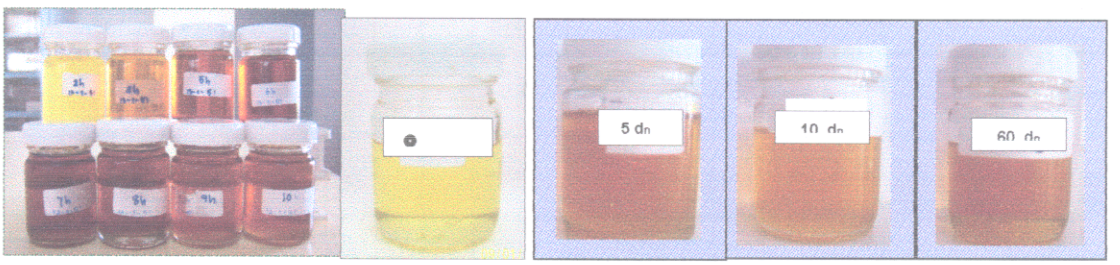
ลักษณะปรากฏของน้ำมันก่อนทอดและหลังทอดไก่ แบบมีการเติมน้ำมันใหม่

(a) น้ำมันเริ่มต้นก่อนทอด

(b) น้ำมันหลังทอด 8วัน(วันละ 3ชั่วโมง)ของร้านที่ 1

(c) น้ำมันหลังทอด 4วัน(วันละ 6ชั่วโมง)ของร้านที่ 2

(d) น้ำมันหลังทอด 7วัน(วันละ3 ชั่วโมง)ของร้านที่ 3



(a) (b) (c) (d) (e)

ลักษณะปรากฏของน้ำมันก่อนและหลังการทอดปาท่องโก๋ที่ระยะเวลาต่างๆ

(a) น้ำมันหลังทอด ติดต่อกันเป็นเวลา2,3,4,6,7,8,9,10ชั่วโมง(จากซ้ายไปขวา)

(b) น้ำมันเริ่มต้นก่อนทอด

(c) น้ำมันหลังทอด วันละ3 ชั่วโมงเป็นเวลา 5 วัน โดยไม่มีการเติมน้ำมันเพิ่มใหม่

(d) น้ำมันหลังทอด วันละ3 ชั่วโมงเป็นเวลา 10 วัน โดยมีการเติมน้ำมันเพิ่มใหม่

(e) น้ำมันหลังทอด วันละ3 ชั่วโมงเป็นเวลา 60 วัน โดยมีการเติมน้ำมันเพิ่มใหม

ผลลัพธ์จากการวิจัย

1. ทราบข้อมูลคุณภาพของน้ำมันทอดไก่และปาท่องโก๋ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพิจารณาหามาตรการหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่อการเกิดสารอันตรายจากไก่ทอด และปาท่องโก๋

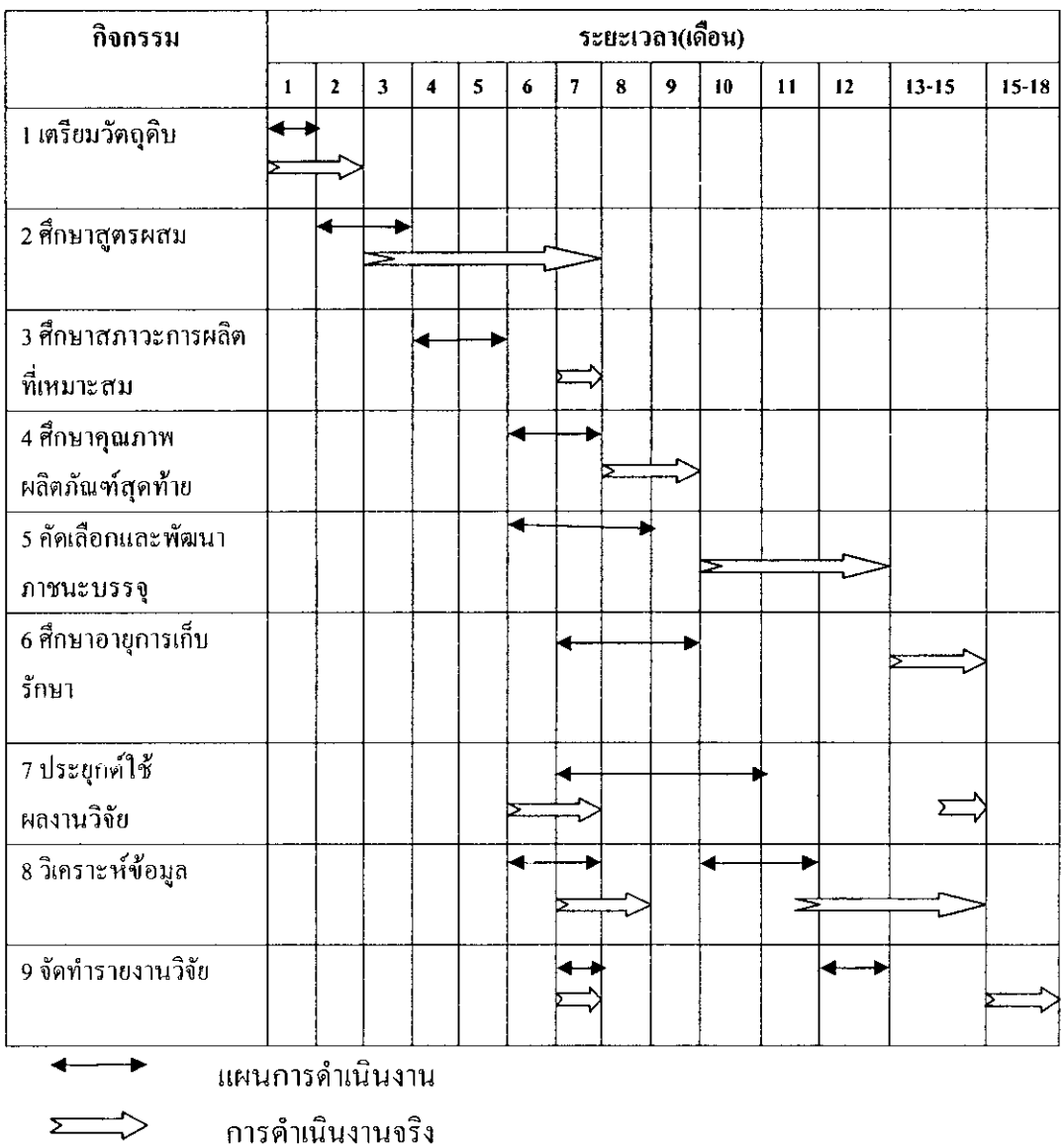
2. พ่อค้าและแม่ค้าบางส่วนในชุมชนเมืองหาดใหญ่ ได้เรียนรู้จากผลงานวิจัยและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

3. ได้ข้อมูลทางวิชาการที่จะนำไปประยุกต์ใช้ขยายผลถึงผลิตภัณฑ์อาหารทอดอื่นๆต่อไป

4. ได้ผลงานตีพิมพ์จากผลการวิจัยของนักศึกษาปริญญาโท 1 ชิ้นงาน ภายใน 1 ปีหลังสิ้นสุดโครงการ

5. ได้ต้นฉบับของคู่มือข้อแนะนำการใช้น้ำมันทอดภายใน 6 เดือนหลังส่งรายงานสมบูรณ์

เปรียบเทียบแผนการดำเนินงานและผลการดำเนินงานตลอดโครงการ



ตารางเปรียบเทียบกิจกรรมตามแผนและผลการดำเนินงาน

วัตถุประสงค์	กิจกรรม (ตามแผน)	ผลการดำเนินงาน	ผลลัพธ์จากการดำเนินงาน
1. เพื่อทราบถึงผลของระยะเวลาการใช้น้ำมันทอดต่อคุณภาพน้ำมันและอาหารหลังทอด	สำรวจ คัดเลือก และทำข้อตกลงกับร้านค้า	รายชื่อผู้ประกอบการร้านค้าที่ร่วมมือ ร้านปาท่องโก๋ 1. คุณสกล เทิดธำรง 2. คุณชลธร บุญทองเพชร 3. คุณประภาพรรณ โปนุ้ย ร้านไก่ทอด 1. คุณวินัย เหมหมัน 2. คุณฮาตาร์ คงชำนาญ 3. นศ.ปริญญาโททอดไก่เองในห้องปฏิบัติการแปรรูปอาหารคณะอุตสาหกรรมเกษตร	พ่อค้าและแม่ค้าบางส่วนในชุมชนเมืองหาดใหญ่ได้เรียนรู้จากงานวิจัยและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้
	ศึกษาสภาวะการทอด	สภาวะการทอดไก่ที่เหมาะสมจากการใช้น้ำมันปาล์มปริมาณ 7 ลิตร และอัตราส่วนน้ำมัน:ไก่ 10:2-10:3 (ชิ้นไก่หมักขนาดน้ำหนักประมาณ 110-130 กรัมต่อชิ้น)อุณหภูมิทอดประมาณ 180 °C เวลา 15 นาที สภาวะการทอดปาท่องโก๋ที่เหมาะสมจากการใช้น้ำมันปาล์มปริมาณ 18 ลิตร และอัตราส่วนน้ำมัน:แป้งโด 16:1.5 (ชิ้นแป้งขนาดน้ำหนักประมาณ 5.5 กรัมต่อชิ้น)อุณหภูมิทอดประมาณ 170 °C เวลา 5 นาที	ทราบข้อมูลคุณภาพของน้ำมันทอดไก่และปาท่องโก๋ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพิจารณาหามาตรการหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่ออันตรายที่จะเกิดจากน้ำมันทอด

บทคัดย่อ

ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดโดยในกรณีไก่ทอด ใช้อุณหภูมิ 170 180 และ190°C เวลา 15 18 และ21 นาที อัตราส่วนปริมาตรน้ำมันปาล์ม:น้ำหนักไก่หมักเครื่องปรุง 10: 1 10:2 10:3 และกรณีปาท่องโก๋ ใช้อุณหภูมิ 160 170 และ180 °C เวลา 3 5 และ7 นาที อัตราส่วนปริมาตรน้ำมันปาล์ม:น้ำหนักแป้งโดที่ 16 :1.0 16 :1.5 16 :2 ผลการทดลอง พบว่าคุณภาพน้ำมันลดลงโดยมีปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine มีค่าเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิและเวลาทอดเพิ่มขึ้น และได้คัดเลือกอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทอดไก่คือ 180°C 15 นาที ที่อัตราส่วนน้ำมัน :ไก่เป็น 10:2 และปาท่องโก๋ใช้อุณหภูมิ170°C เวลา 5 นาที อัตราส่วนน้ำมัน:แป้งโด เป็น 16 :1.5 เมื่อทำการทอดไก่ต่อเนื่องเป็นเวลา 9 ชั่วโมง/วัน และทอดปาท่องโก๋ต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง/วัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เมื่อระยะเวลาการใช้งานเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine ของน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้น น้ำมันมีสีเข้มขึ้น (ค่า L* ลดลง ค่า a*และ b* เพิ่มขึ้น) และความหนืดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามน้ำมันทอดไก่ที่ใช้งาน 9 ชั่วโมง และเวลาการใช้งานทอดปาท่องโก๋ที่ 10 ชั่วโมง ทั้งสองกรณีมีปริมาณโพลาร์ประมาณ 20% ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด ส่วนการศึกษาผลของการใช้น้ำมันทอดซ้ำ โดยทดลอง 2 แบบคือ การทอดโดยใช้น้ำมันเดิมทอดซ้ำทุกวัน และการทอดโดยใช้น้ำมันใหม่ผสมน้ำมันเดิมในสัดส่วน 1:2 ทุกวัน(มีการกรองน้ำมันหลังสิ้นสุดการใช้งานแต่ละวัน) พบว่าการใช้น้ำมันเดิมทอดซ้ำเป็นเวลา 4 วัน(ทอด 3 ชั่วโมง/วัน)น้ำมันทอดมีปริมาณโพลาร์เพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่ทอด และวันที่ 4 ของการทอดน้ำมันทอดไก่และปาท่องโก๋มีปริมาณโพลาร์ประมาณ 12.95 และ 22.85 % ตามลำดับ สำหรับการเติมน้ำมันใหม่ในน้ำมันเดิมก่อนนำมาใช้ทอดซ้ำ ได้ผลว่าการทอดไก่ของร้านที่ 1 เมื่อใช้น้ำมันทอดซ้ำเป็นเวลา 8 วัน(3 ชั่วโมง/วัน)ปริมาณโพลาร์มีค่า 21.52% ร้านที่ 2 เมื่อใช้น้ำมันทอดซ้ำเป็นเวลา4วัน (6ชั่วโมง/วัน) ปริมาณโพลาร์มีค่า22.13% และร้านที่ 3 ปริมาณโพลาร์ของน้ำมันทอดซ้ำ 7 วัน(3 ชั่วโมง/วัน) มีค่า15.32% สำหรับปาท่องโก๋ พบว่า การใช้น้ำมันทอดซ้ำที่มีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวันจะใช้ทอดได้อย่างน้อย 60 วัน โดยวันที่ 60วันของการทอดพบว่า น้ำมันทอดมีปริมาณโพลาร์ 10.8% นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารอะคริลาไมด์ในไก่ทอดและปาท่องโก๋จากการใช้น้ำมันทอดซ้ำ ปรากฏว่าไม่พบสารอะคริลาไมด์ในตัวอย่างไก่ทอดที่สภาวะการทดลองครั้งนี้ ส่วนปาท่องโก๋พบปริมาณสารอะคริลาไมด์มีค่าสูงสุด 108 μg /Kg แม้ว่าคุณภาพของน้ำมันทอดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลาการใช้งานนานขึ้น แต่จากผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า ควรใช้อุณหภูมิการทอดอาหารแบบน้ำมันท่วมที่ 170-190°C และน้ำมันมีระยะเวลาการใช้งานทอดนาน10-12 ชั่วโมง

Abstract

The optimal frying condition for fried chicken and fried Chinese dough was studied. Frying temperatures at 170, 180 and 190°C for 15, 18 and 21 min with ratio of palm oil to seasoned chicken 10:1, 10:2 and 10:3 v/w were used for frying chicken, while frying at 160, 170 and 180°C for 3, 5 and 7 min with the ratio of palm oil to dough 16:1, 16.1.5 and 16:2 v/w were set up for fried dough. The results indicated that oil quality deterioration in terms of free fatty acid, peroxide and *p*-anisidine was increased with frying temperature and frying time. The suitable frying conditions for fried chicken and fried dough were at 180°C for 18 min and ratio of 10:2 v/w and 170°C for 5 min and ratio of 16:1.5 v/w, respectively. The continued frying of chicken for 9 hours/day and dough for 10 hours/day on frying oil quality changes were investigated. Results revealed that the longer frying time used the higher oil deterioration obtained. Free fatty acid, peroxide value, *p*-anisidine, color intensity and viscosity were increased in both oil for frying chicken and dough. However, the polar compound either in chicken frying oil or in dough frying oil was approximately 20% which was lower than maximum limit permission in the regulations. The repeated frying experiments with and without fresh oil adding for frying chicken and dough was also conducted. It was found that polar compound increased with frying experiment (3 hours/day, for 4 days without adding fresh oil), by the end of frying for 4 days, the polar compound in chicken and dough frying oil was 12.95% and 22.85%. Repeated frying experiment with adding fresh oil (ratio of fresh oil to used oil was 1:2 and filtered with cheese cloth by the end of a day), the polar compound of repeated frying for 8 consecutive days (3 h/day) in the 1st, for consecutive 4 days (6 h/day) in the 2nd and for consecutive 7 days(3 h/day) in the 3rd fried chicken retailer was 21.52%, 22.13% and 15.32%, respectively. For frying dough, the repeated frying for 60 days (by adding fresh oil everyday) gave polar compound of 10.8%. The acrylamide content in chicken repeated frying oil was not found, while the maximum acrylamide content in repeated frying oil for fried dough was 108 μg/kg. Although the quality of frying oil decreased with increasing frying temperature and time, this result was suggested that open deep-fat frying should be operated at temperature of 170-190°C and frying period for 10-12 hours.

สารบาญ

	หน้า
สารบาญตาราง	ก
สารบาญภาพ	ค
บทคัดย่อ	
Abstract	
บทนำ	1
การตรวจเอกสาร	2
วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ	9
ผลการทดลองและวิจารณ์	12
สรุปผลการทดลอง	43
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก	

สารบาญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.	ค่าสีของน้ำมันทอดไก่ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ	14
2.	ค่าความหนืดของน้ำมันทอดไก่ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ	15
3.	ค่าสีของไก่ทอดที่ใช้อุณหภูมิน้ำมันทอดและเวลาทอดต่างๆ	15
4.	ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidineของน้ำมันทอด ที่อุณหภูมิน้ำมันทอด 180°C เวลา 15 นาที เมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำมันต่อปริมาณไก่ต่างๆ	17
5.	ค่าสีและค่าความหนืดของน้ำมันที่อุณหภูมิน้ำมันทอด 180°C เวลา 15 นาที เมื่อใช้น้ำมันและปริมาณไก่ในอัตราส่วนต่างๆ	17
6.	ค่าสีผิวไก่ทอดที่อุณหภูมิน้ำมันทอด 180°C เวลา 15 นาที เมื่อใช้น้ำมันและปริมาณไก่ในอัตราส่วนต่างๆ	18
7.	ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และ *p*-anisidine ของน้ำมันทอดไก่ในช่วงเวลาทอด 4 วัน	21
8.	ค่าสี ความหนืดของน้ำมัน และปริมาณไขมันในไก่ทอดระหว่างเวลาทอดซ้ำโดยใช้น้ำมันเดิมเป็นเวลา 4 วัน	22
9.	ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine ของน้ำมันทอดไก่ที่นำกลับมาใช้ซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน (ร้านที่ 1)	25
10.	ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine ของน้ำมันทอดไก่ที่นำกลับมาใช้ซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน (ร้านที่ 2)	26
11.	ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine ของน้ำมันทอดไก่ที่นำกลับมาใช้ซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน (ร้านที่ 3)	27
12.	ค่าสี และความหนืดของน้ำมันทอดไก่ เมื่อใช้น้ำมันทอดซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน (ร้านที่ 1)	28
13.	ค่าสี และความหนืดของน้ำมันทอดไก่ เมื่อใช้น้ำมันทอดซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน (ร้านที่ 2)	29
14.	ค่าสี และความหนืดของน้ำมันทอดไก่ เมื่อใช้น้ำมันทอดซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน (ร้านที่ 3)	30
15.	ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดปาท่องโก๋ที่อุณหภูมิและเวลาทอดต่างๆ	31
16.	ค่าสีปาท่องโก๋ของร้านที่ 1 2 และ 3 ที่เวลาและอุณหภูมิการทอดต่างๆ	33
17.	ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดปาท่องโก๋ที่อุณหภูมิ 170°C เวลา 5 นาที เมื่อใช้ปริมาณน้ำมันและแป้งในอัตราส่วนต่างๆ	34

สารบาญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
18.	ค่าสีของปาท่องโก๋ทอดที่อุณหภูมิ 170 °C เวลา 5 นาที เมื่อใช้ปริมาณน้ำมันและแป้งในอัตราส่วนต่างๆ กัน	35
19.	ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ ค่า *p*-anisidine ค่าโพลาร์ของน้ำมัน และปริมาณไขมันในปาท่องโก๋เมื่อทอดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง	36
20.	ค่าสีและความหนืดของน้ำมัน เมื่อใช้ทอดปาท่องโก๋ครั้งละ 5 นาทีต่อเนื่อง เป็นเวลา10ชั่วโมง	37
21.	ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ ค่า *p*-anisidineและค่าโพลาร์ของ น้ำมันทอดวันละ 3 ชั่วโมงเป็นเวลา 5 วัน	38
22.	ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine ของน้ำมัน ทอดซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน	39
23.	ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine ของน้ำมัน ทอดซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ระหว่างวันและเมื่อเริ่มวันใหม่ทุกวัน	40
24.	ชนิดและปริมาณ(% area)กรดไขมันของน้ำมันก่อนทอดและหลังทอดซ้ำ	41
25.	ปริมาณอะคริลาไมด์ในไก่ทอดและปาท่องโก๋	42

สารบาญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.	ผลของระยะเวลาในการทอดแบบน้ำมันท่วมต่อค่าเพอร์ออกไซด์ของน้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วเหลือง	6
2.	ผลของระยะเวลาการทอดแบบน้ำมันท่วมต่อค่า *p*-anisidine ของน้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วเหลือง	6
3.	ผลของระยะเวลาการทอดแบบน้ำมันท่วมต่อเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระของน้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วลิสง	6
4.	ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดไก่ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ	13
5.	ค่าเพอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดไก่ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ	13
6.	ค่า p-anisidine ของน้ำมันทอดไก่ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ	14
7.	ลักษณะปรากฏของไก่ทอดที่อุณหภูมิการทอดและเวลาทอดต่างๆ	16
8.	ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ ค่า *p*-anisidine และปริมาณ สารโพลาร์ของน้ำมันที่ผ่านการทอดไก่แบบต่อเนื่อง	19
9.	ปริมาณโพลาร์ของน้ำมันทอดซ้ำโดยใช้น้ำมันเดิมทอดไก่เป็นเวลา 4 วัน	21
10.	ลักษณะปรากฏของน้ำมันก่อนทอดและหลังทอดไก่ แบบไม่มีการเติมน้ำมันใหม่	23
11.	ลักษณะปรากฏของน้ำมันก่อนทอดและหลังทอดไก่ แบบมีการเติมน้ำมันใหม่	24
12.	ปริมาณโพลาร์ของน้ำมันทอดไก่ซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน	24
13.	ลักษณะปรากฏของปาท่องโก๋ที่ทอดที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ	32
14.	ลักษณะปรากฏของน้ำมันก่อนและหลังการทอดปาท่องโก๋ที่ระยะเวลาต่างๆ	36
15.	ปริมาณโพลาร์ของน้ำมันทอดปาท่องโก๋ที่ใช้ซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่	38

ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารทอดเป็นที่นิยมกันทั่วไปทุกเพศทุกวัย ทั้งอาหารพร้อมปรุงและอาหารสำเร็จรูป เช่น ไก่ทอด บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป โดนัท มันฝรั่งทอด และผลไม้ทอด เป็นต้น ดังนั้นน้ำมันบริโภคจึงเข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตของทุกคน อย่างไรก็ดีน้ำมันและผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการทอดมักเสื่อมเสียด้วยปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ได้แก่ปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส ออกซิเดชัน พอลิเมอไรเซชัน ซึ่งปฏิกิริยาเคมีเหล่านี้เป็นสาเหตุให้เกิดการสลายตัวของกรดไขมันจำเป็นในผลิตภัณฑ์อาหาร ทำให้เกิดอนุมูลอิสระ เกิดสารประกอบที่ระเหยได้และที่ไม่ระเหย สารที่ไม่ระเหยเหล่านี้ยังคงอยู่ในน้ำมันทอด และจะเสื่อมสลายต่อไปทุกครั้งที่ใช้น้ำมันนี้ทอดและอาหารจะดูดซึมสารเหล่านี้ไว้ เชื่อกันว่าถ้าใช้น้ำมันทอดหลาย ๆ ครั้ง ทำให้เกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นสะสมอยู่ในน้ำมันและไม่ระเหย ทำให้ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันเปลี่ยนไป คือ ความหนืดเพิ่มขึ้น เกิดสีและฟอง นอกจากนี้อาจเกิดการสลายตัวของวิตามินชนิดที่ละลายได้ในไขมันและน้ำมัน คุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันลดลง และหรืออาจเป็นตัวก่อให้เกิดสารที่เป็นอันตรายหรือสารพิษขึ้น เช่น สารก่อมะเร็ง หรือสารก่อการกลายพันธุ์ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาถึงผลของการทอดซ้ำที่มีต่อคุณภาพของน้ำมันและผลิตภัณฑ์อาหารหลังการทอด รวมถึงการเกิดสารบางชนิดที่อาจจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ เพื่อการเฝ้าระวังซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงอันตรายจากการบริโภคอาหารทอด

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อทราบถึงผลของระยะเวลาการใช้น้ำมันทอดต่อคุณภาพน้ำมันและอาหารหลังทอด
2. เพื่อทราบถึงคุณภาพของน้ำมันและอาหารหลังจากการใช้น้ำมันทอดซ้ำในสภาวะต่างๆ

ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาคุณภาพของน้ำมันและผลิตภัณฑ์ไก่ทอดและปาท่องโก๋ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการใช้งานน้ำมันและผลจากการใช้น้ำมันทอดซ้ำ ตรวจสอบสารอันตรายที่มีในน้ำมันทอดซ้ำและในผลิตภัณฑ์ โดยร่วมแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับร้านค้าไก่ทอดและปาท่องโก๋ในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

การตรวจเอกสาร

1. การทอด

การทอดคือวิธีหนึ่งที่เก่าแก่ที่มนุษย์ใช้สำหรับเตรียมอาหารซึ่งเป็นการปรุงอาหารในน้ำมันที่ร้อน โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพการบริโภคของอาหารและวัตถุ- ประสงค์รองลงมาคือการถนอมรักษาอาหารโดยการทำลายจุลินทรีย์ เอนไซม์และลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้(a_w) ที่ผิวอาหารหรือตลอดชิ้นอาหารทอด ซึ่งนำไปสู่การถ่ายเทความร้อน (heat transfer) และการถ่ายเทมวล (mass transfer) รวมถึงการเกิดอันตรกิริยาที่ซับซ้อนระหว่างอาหารและน้ำมันทอด การทอดมีอิทธิพลต่อคุณภาพของอาหารทอด เช่น กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส อายุการเก็บรักษาและคุณค่าโภชนาการ (Dunford, 2004)

2. การทอดแบบน้ำมันท่วม (deep-fat fry)

การถ่ายเทความร้อนที่เป็นทั้งการพาและการนำความร้อนเข้าสู่ภายในอาหาร ผิวอาหารทั้งหมดจะได้รับความร้อนใกล้เคียงกันทำให้เกิดสีและลักษณะภายนอกที่สม่ำเสมอ การทอดแบบนี้เหมาะสำหรับอาหารทุกรูปร่าง แต่อาหารที่มีรูปร่างไม่แน่นอนจะอมน้ำมันมากกว่าอาหารที่มีรูปร่างแน่นอน

Mellema (2003) ได้อธิบายถึงกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วมว่า เมื่อใส่อาหาร ในน้ำมันที่ร้อน อุณหภูมิที่ผิวของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำที่ผิวของอาหารเริ่มเดือดโดยทันที น้ำมันบริเวณรอบๆผิวอาหารจะลดอุณหภูมิลง โดยใช้ความเร็วพอๆกันกับการพาความร้อน เมื่อเริ่มเดือดการพาความร้อนจะเพิ่มขึ้นมาก โดยการเกิดเทอบูเลนซ์ของไอน้ำระเหยออกจากอาหาร จึงทำให้ผิวอาหารแห้งและทำให้อาหารทอดเกิดการหดตัว เกิดรูพรุนและทำให้เกิดความหยาบที่ผิวอาหาร โดยเฉพาะการระเหยอย่างรุนแรงสามารถทำให้เกิดรูพรุนขนาดใหญ่ อุณหภูมิที่ผิวอาหารสามารถเพิ่มได้ถึงจุดเดือดของน้ำ ระหว่างการทอดไม่เพียงแต่เกิดการระเหยของไอน้ำแต่ยังเกิดสารประกอบอื่นๆจากอาหารไปยังน้ำมัน เมื่อให้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานจะทำให้น้ำมันทอดเกิดการเสื่อมเสียได้

3. ขั้นตอนของกระบวนการทอดอาหาร (Singh, 1995; Blumenthal, 1991)

กระบวนการทอดสามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วง ดังนี้

1. ช่วงแรกของการให้ความร้อน (initial heating) เป็นช่วงที่ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารเพิ่มขึ้นจนมีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดของน้ำ การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบธรรมชาติที่ยังไม่มีการระเหยของน้ำ

2. ช่วงการเดือดของน้ำที่ผิวอาหาร(surface boiling) น้ำที่ผิวของอาหารระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าเริ่มแห้งกลายเป็นเปลือกแข็ง การถ่ายเทความร้อนเป็นการพาแบบบังคับ

3. ช่วงอัตราการระเหยลดลง (falling rate) เป็นช่วงที่อุณหภูมิจุดกึ่งกลางของอาหารสูงขึ้น เนื่องจากการสูญเสียน้ำจากภายในชิ้นอาหาร และอัตราการระเหยน้ำเริ่มช้าลง อาหารเริ่มสุกและเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพ เช่น เกิดเจลาติไนซ์ของแป้ง

4. จุดยุติการเกิดฟอง (bubble end point) เกิดขึ้นเมื่ออาหารถูกทอดเป็นเวลานาน น้ำระเหยได้ช้า ทำให้ปริมาณฟองของไอน้ำที่ออกจากผิวอาหารลดลง

4. น้ำมันทอด

น้ำมันทอดเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารนอกจากทำให้อาหารสุกแล้ว ยังช่วยหล่อลื่นไม่ให้อาหารติดกับภาชนะที่ใช้ทอดและช่วยในเรื่องสีและเพิ่มรสชาติให้กับอาหาร ส่วนการเลือกน้ำมันที่ใช้ทอดมักจะพิจารณาจากการยอมรับอาหารทอดของผู้บริโภค ซึ่งน้ำมันทอดมีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน (Balavi Natural Health center, 2005) อย่างไรก็ตามน้ำมันทอดที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้ (Lawson, 1985)

1. มีความคงตัวที่อุณหภูมิสูง ได้แก่ มีจุดควัน (Smoke point) สูงกว่า 200 °C จุดวาบควัน (Flash point) สูงกว่า 315 °C

2. ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดีในอาหาร

3. มีอายุการใช้งานในการทอดได้นานเสื่อมสลายช้า

4. เมื่อใช้ในการทอดต้องให้ลักษณะสีน้ำตาลทองแก่อาหารทอด และต้องไม่ทำให้เกิดการเยิ้มมันบริเวณผิวหน้าของชิ้นอาหาร

5. ทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่ดี แน่น กรอบ

6. ทนต่อการเกิดการหืน

7. ทนต่อการเกิดการหนืดที่จะเกาะตัวเป็นคราบบริเวณผิวเครื่องทอด

8. คงคุณภาพความเป็นน้ำมันทอดได้นาน

น้ำมันทอดที่นิยมใช้มีหลายชนิดทั้งนี้ Lawson (1985) กล่าวว่าเหตุผลหลักของการเลือกใช้น้ำมันชนิดใดในการทอดนั้นเป็นไปตามความนิยมของผู้บริโภคที่แตกต่างกันตามภูมิประเทศ เช่น ทางตอนเหนือของยุโรปนิยมใช้ไขมันที่ได้จากสัตว์ในการทอดอาหาร หรือผู้คนในแถบทะเลเมดิเตอเรเนียนนิยมใช้น้ำมันมะกอกในการทอดอาหาร อย่างไรก็ตาม Mackay (2000) รายงานว่าน้ำมันทอดที่มักใช้อยู่ทั่วไปในอุตสาหกรรม คือ น้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันพืชที่พบว่ามีการใช้กันอย่างมากในหลากหลายรูปแบบ ซึ่งในน้ำมันปาล์มนั้นมีสารมีคุณค่าทางโภชนาการที่ร่างกายต้องการ คือ สารเบตาแคโรทีน ซึ่งร่างกายสามารถเปลี่ยนสารตัวนี้ให้เป็นวิตามินเอได้ รวมทั้งจากการศึกษาพบว่าในน้ำมันปาล์มมีสาร Tocopherols และ Tocotrienols ซึ่งเป็นไอโซเมอร์ของวิตามินอีเป็นองค์ประกอบโดยสารนี้ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันและไม่ก่อให้เกิดการเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ โรคมะเร็ง นอกจากนี้ยังทนต่ออุณหภูมิ

สูงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันทั่วไป อาหารที่ทอดในน้ำมันปาล์มจะได้ลักษณะที่ดี คือมีสีสันสวยงาม รสชาติดี คงความกรอบได้นาน และอาหารมีอายุการเก็บรักษาได้นาน

5. การเปลี่ยนแปลงของน้ำมันระหว่างทอด

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดจากหลายปฏิกิริยา ที่สำคัญ ได้แก่ ออกซิเดชัน ไฮโดรไลซิส พอลิเมอไรเซชัน และไพโรไลซิส ซึ่งส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของน้ำมันเปลี่ยนแปลง ได้แก่น้ำมันมีสีเข้มขึ้น ความหนืดเพิ่มขึ้น จุดควันลดลง และเกิดฟองเพิ่มขึ้น(Nawar ,2000 อ้างโดย Saguy and Dana, 2003)

5.1 ออกซิเดชัน (oxidation)เป็นปฏิกิริยาที่ก๊าซออกซิเจนกระทำกับน้ำมัน ได้ผลิตภัณฑ์จำพวกไฮโดรเพอออกไซด์ที่ไม่มีกลิ่นรส ซึ่งจะเกิดการสลายตัวต่อไปอีก 3 แบบคือ

- การแตกตัว(fission) ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ได้แก่ สารจำพวกแอลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ กรดอินทรีย์และไฮโดรคาร์บอน

- การสูญเสียน้ำ(dehydration) ได้สารจำพวกคีโตน

-การเกิดสารอนุมูลอิสระ(free radical) ซึ่งทำให้เกิดออกซิเดทีฟโมโนเมอร์ ไตรเมอร์ พอลิเมอร์ อิพอกไซด์ แอลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอนและนอนโพลาร์ไดเมอร์ ซึ่งสารต่างๆ เหล่านี้ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดี(off-flavors)ในน้ำมัน ปฏิกิริยาออกซิเดชันสามารถเกิดได้ทั้งที่อุณหภูมิห้องและขณะได้รับความร้อน

5.2 ไฮโดรไลซิส (hydrolysis)

เป็นปฏิกิริยาทางเคมีหลักที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอด เมื่อทอดอาหารในน้ำมันที่ร้อนน้ำในอาหารจะระเหยเป็นไอและทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ได้เป็นกรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และกลีเซอรอล ทำให้น้ำมันและอาหารทอดเกิดกลิ่นที่ไม่ต้องการ นอกจากนี้ พอลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและพอลิเมอไรเซชัน จะทำให้น้ำมันเกิดฟองและขังไอน้ำให้อยู่ในน้ำมันนานขึ้น ซึ่งเป็นการเร่งให้เกิดการไฮโดรไลซิส

5.3 พอลิเมอไรเซชัน (polymerization)

เป็นการเกิดพันธะใหม่ระหว่างคาร์บอนอะตอมของกรดไขมันเนื่องจากความร้อน ถ้าเกิดพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมภายในโมเลกุลเดียวกันจะทำให้เกิดเป็นวงแหวน(cyclic fatty acid) ถ้าเกิดพันธะระหว่างกรดไขมันต่างโมเลกุลกันจะทำให้เกิดไดเมอร์(dimers)หรืออาจเกิดขึ้นระหว่างกรดไขมันที่อยู่ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์เดียวกันหรือต่างโมเลกุลกันก็ได้ ซึ่งทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

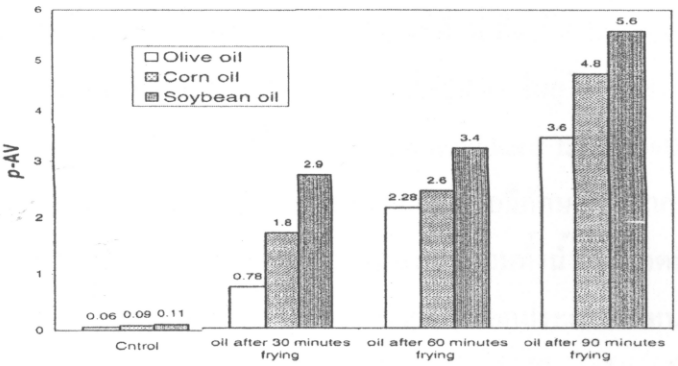
5.4 ไพโรไลซิส (pyrolysis)

ปฏิกิริยานี้เป็นการแตกตัวอย่างรุนแรงของโครงสร้างทางเคมีของไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมัน ทำให้เกิดสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

สารที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันทอด แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สารที่ระเหยได้ (volatile decomposition products) ซึ่งสามารถระเหยออกจากน้ำมันที่ใช้ทอดได้ ทำให้ผู้ประกอบการหายใจเอาสารเหล่านี้เข้าสู่ร่างกายขณะทอดอาหาร และสารที่ไม่ระเหย (nonvolatile decomposition products) ซึ่งยังคงอยู่ในน้ำมันทอดและเมื่อใช้น้ำมันทอดหลายๆ ครั้ง จะเกิดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงสะสมอยู่ในน้ำมัน ทำให้ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันเปลี่ยนไป คือ ความหนืดเพิ่มขึ้น เกิดสีและฟอง และการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ได้แก่ กรดไขมันอิสระ ค่าคาร์บอนิล ปริมาณไฮดรอกซิล และค่าสปอนิฟิเคชันเพิ่มขึ้น ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลง รวมถึงการเกิดสารHNE (4-hydroxy-trans-2-nonenal)จากการเกิดออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิก การบริโภคอาหารที่มี HNE ทำให้เสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ โรคพาร์กินสัน โรคอัลไซเมอร์ โรคตับ และโรคมะเร็ง (Schwarcz , 2003) จากการวิจัยของSeppanen และ Saari (2004) พบว่าการให้ความร้อนกับน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 185 °C นาน 5 ชั่วโมง ก่อนที่จะทอดมันฝรั่งขนาด 1 x 0.5 x 7 เซนติเมตร และสุ่มตัวอย่างน้ำมันก่อนและหลังการทอด เพื่อวิเคราะห์ HNE แอลดีไฮด์ สารประกอบมีขั้ว และสารประกอบคาร์บอนิล พบว่าความเข้มข้นของHNE ที่พบในน้ำมันก่อนและหลังการทอดและในน้ำมันที่สกัดจากชิ้นมันฝรั่งทอดมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนี้ 57.53 ± 16.31, 52.40 ± 6.10, และ 59.64 ± 11.91 mg /100 gน้ำมัน ตามลำดับ)

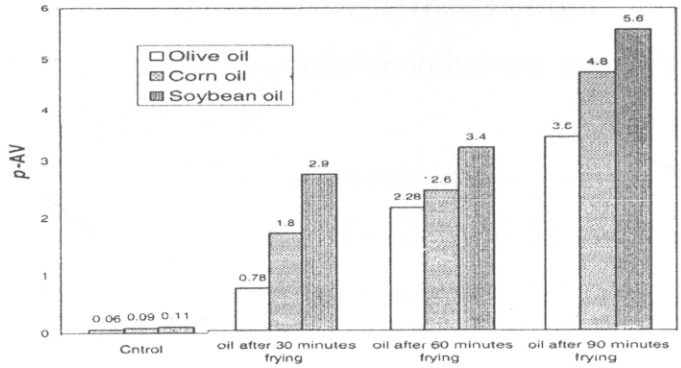
Naz และคณะ (2004) ศึกษาการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันบริโภค (น้ำมันมะกอก,น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วเหลือง) หลังจากทอดมันฝรั่งแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที วิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ (PV) และค่า *p*-anisidine (*p*-AV) พบว่าค่าทั้งสองเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น(ภาพที่ 1 และ 2) เมื่อเปรียบเทียบชนิดน้ำมันพบว่าค่า PV และ *p*-AV เพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้ น้ำมันถั่วเหลือง>น้ำมันข้าวโพด>น้ำมันมะกอก

Naz และคณะ (2005) ศึกษาการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันบริโภค (น้ำมันมะกอก,น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วเหลือง) หลังจากทอดมันฝรั่งแบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 30 60 และ90 นาที วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระพบว่าเมื่อระยะเวลาในการทอดเพิ่มขึ้นปริมาณกรดไขมันอิสระก็เพิ่มขึ้น(ภาพที่3) และอธิบายว่าปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากน้ำจากอาหารจะไฮโดรไลซ์ไตรกลีเซอร์รอลเกิดเป็นโมโนกลีเซอรอล ไดกลีเซอรอล และในที่สุดก็เป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอรอลซึ่งสามารถระเหยได้เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 150 °C



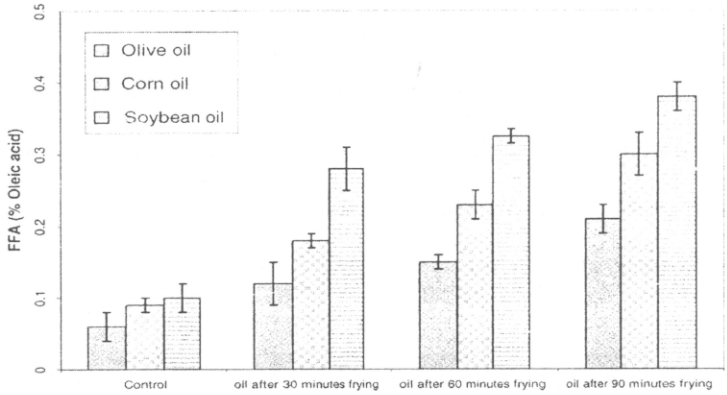
ภาพที่1 ผลของระยะเวลาในการทอดแบบน้ำมันท่วมต่อค่าเพอร์ออกไซด์ของน้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วเหลือง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Naz และคณะ (2004)



ภาพที่2 ผลของระยะเวลาการทอดแบบน้ำมันท่วมต่อค่า *p*-anisidine ของน้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วเหลือง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Naz และคณะ (2004)



ภาพที่ 3 ผลของระยะเวลาการทอดแบบน้ำมันท่วมต่อเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระของน้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวโพดและน้ำมันถั่วลิสง

ที่มา: Naz และคณะ(2005)

น้ำมันทอดที่ใช้แล้วเสื่อมสภาพจะมีลักษณะดังนี้ คือ เกิดตะกอนและมีกรดไขมันอิสระเกิน 2% หรือมีสารประกอบที่มีขั้วเกิน 27% หรือเกิน 25-27% ในยุโรป หรือมีสารพอลิเมอร์เกิน16% ในเนเธอแลนด์ หรือกรดไขมันที่ถูกออกซิไดซ์แล้ว(oxidized fatty acid) ไม่ละลายในปิโตรเลียมอีเทอร์สูงกว่า 1% มีกลิ่นรสผิดปกติ ไม่เป็นที่ยอมรับหรือมีลักษณะปรากฏที่ไม่ยอมรับ เช่น มีสีดำ เป็นฟอง หรือมีสารพวกคาร์บอนเหลืออยู่ระดับสูง รวมทั้งน้ำมันทอดที่มีจุดควันต่ำกว่า170 °C (Mellema, 2003) และตามที่กระทรวงสาธารณสุขได้ออกประกาศกำหนดให้น้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย ทั้งน้ำมันพืชและน้ำมันจากสัตว์มีสารโพลาร์ได้ไม่เกินร้อยละ 25 ของน้ำหนัก มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ.2547 เป็นต้นไป (กระทรวงสาธารณสุข,2547)

6. การดูดซับน้ำมันของอาหารทอด (Saguy and Dana, 2003)

กลไกของการดูดซึมน้ำมันของอาหารสามารถอธิบายได้ 2 กลไก คือ

1. การดูดซับน้ำมันอย่างต่อเนื่องที่เกิดจากการแทนที่น้ำที่ระเหยออกจากอาหารขณะทอด เมื่อน้ำระเหยกลายเป็นไอและหนีออกจากชิ้นอาหาร จะเหลือโครงสร้างที่เป็นรูพรุนซึ่งน้ำมันสามารถเคลื่อนที่เข้าไปแทนที่ได้

2. การดูดซับน้ำมันเมื่อการทอดเสร็จสิ้นและอาหารทอดเย็นลง เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำภายในอาหารกลายเป็นไอระหว่างทอด เมื่อนำอาหารทอดขึ้นจากน้ำมันและปล่อยให้เย็นความดันไอภายในรูพรุนจะลดลง ไอน้ำจะควบแน่นและเกิดภาวะสุญญากาศ ซึ่งจะดูดเอาน้ำมันที่ผิวอาหารเข้ามาไว้ในผลิตภัณฑ์

Sosa-Morales และคณะ (2006) ได้ศึกษาถึงปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันของเนื้อหมูทอดเมื่อทอดแบบน้ำมันท่วม โดยเนื้อหมูมีขนาด 5 x 4 x 2 เซนติเมตรและมีความชื้นเริ่มต้นช่วง 72.4% และ 75.95% (น้ำหนักเปียก) และไขมันเริ่มต้นในเนื้อหมูมี 1.3–1.7% (น้ำหนักเปียก) ทอดในน้ำมันเมล็ดทานตะวันที่อุณหภูมิ 90 100 และ 110 °C พบว่าปริมาณความชื้นลดลงในทิศทางเดียวกันไม่มีความความแตกต่างอย่างชัดเจนในทั้ง 3 อุณหภูมิและปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นตามเวลาการทอดและอุณหภูมิที่ทอด เมื่อเปรียบเทียบชนิดของไขมันที่ใช้ทอดคือเนยขาว (ไขมันอิ่มตัว)และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน(ไขมันไม่อิ่มตัว) เมื่อทอดที่อุณหภูมิ 100 °C พบว่าเนื้อหมูที่ทอดในเนยขาวมีปริมาณความชื้นลดลง และดูดซับน้ำมันได้น้อยกว่าทอดเนื้อหมูด้วยน้ำมันเมล็ดทานตะวัน สามารถอธิบายได้ว่าการแทนที่ของน้ำด้วยการดูดซึมไขมันผ่านกระบวนการทอดและอัตราส่วนขนาดโมเลกุลไขมันต่อน้ำมัน ไขมันที่อิ่มตัวจะจับตัวกันเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่มากกว่าน้ำมันที่ไม่อิ่มตัว จึงมีข้อจำกัดในการเข้าสู่รูพรุนขนาดเล็กจะต้องอาศัยความดันไอน้ำที่ออกมาระหว่างการทอด

Kassama และ Ngadi (2004) ศึกษาผลของอุณหภูมิน้ำมันทอดและเวลาการทอดต่อการพัฒนารูพรุนของเนื้อออกไก่ซึ่งมี ขนาดความยาวx ความกว้างx ความหนา เท่ากับ 20x15x10 มิลลิเมตร ทอดเนื้อออกไก่แบบน้ำมันท่วมที่อุณหภูมิแตกต่างๆกัน(170 °C 180 °C และ190 °C)ใช้เวลาในการทอดจาก 5 ถึง 900 วินาที พบว่าเมื่อเวลาในการทอดและอุณหภูมิของน้ำมันเพิ่มขึ้น ขนาดรูพรุนเพิ่มขึ้นและเนื้อไก่ดูดซับน้ำมันมากขึ้น

7. ผลของการใช้น้ำมันทอดซ้ำ

Jaswir และคณะ (2000) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเมื่อทอดแผ่นมันฝรั่งแบบน้ำมันท่วม ในน้ำมัน refined, bleached and deodorize (RBD) palm olein โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 นาที วันละ 10 ครั้ง ติดต่อกัน 5 วัน พบว่าค่าเพอร์ออกไซด์ ค่า anisidine กรดไขมันอิสระ ปริมาณสารพอลิเมอร์และความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้นระหว่างที่ทอดตลอด 5 วัน ดังนั้นการใช้น้ำมันทอดซ้ำๆเป็นเวลานานมีผลทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมเสียได้ รวมถึง Danowska-Oziewicz และ Karpinska-Tymoszczyk (2005) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันเรบสีด น้ำมันถั่วเหลืองและ hardened frying fat เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 ± 2 °C วันละ 2ชั่วโมง ติดต่อกันเป็นเวลา 6 วัน โดยเติมน้ำมันให้เท่ากับปริมาตรเริ่มต้น เมื่อให้ความร้อนครบทุกๆ 2 ชั่วโมง พบว่าน้ำมันเรพซีดซึ่งมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากที่สุด (90.30% ของกรดไขมันทั้งหมด)ในน้ำมันสามชนิดที่ศึกษา มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มมากขึ้นมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันอีก 2 ชนิด และปริมาณคาร์บอนิลซึ่งอาจเกิดจากกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงพบว่าใน hardened frying fat มีปริมาณคาร์บอนิลต่ำสุด เนื่องจาก hardened frying fat มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวน้อยที่สุดในน้ำมันที่ศึกษา ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงในน้ำมันจึงอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมเสีย เนื่องจากสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย และ Che Man และคณะ (1999) ได้สังเกตการเพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระ ในการทอดแผ่นมันฝรั่งเป็นเวลา 5 วัน พบว่า การเพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระเป็นผลมาจากน้ำในอาหารทอดทำให้น้ำมันเกิดไฮโดรไลซิสและเกิดการเสื่อมเสียคุณภาพ

นอกจากนี้ Pedreschi และคณะ(2006) ศึกษาพบว่ามีการเกิดสารอะคริลาไมด์ (เป็นสารอันตรายอีกชนิดหนึ่งที่ผู้บริโภคต้องหลีกเลี่ยงในการได้รับเข้าสู่ร่างกาย) ในแท่งมันฝรั่งทอดที่ใช้วิธีการเตรียมแท่งมันฝรั่งต่างกันและใช้อุณหภูมิการทอด 150 180 และ 190°C โดยการเกิดสารอะคริลาไมด์ลดลงเมื่ออุณหภูมิการทอดลดจาก 190 เป็น 150°C ในทุกวิธีของการเตรียมแท่งมันฝรั่งที่ศึกษา และสีของแท่งมันฝรั่งทอดมีความสัมพันธ์สูงกับปริมาณสารอะคริลาไมด์ในแท่งมันฝรั่งทอด

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ

1. Thermocouple รุ่น A1 305
2. เครื่องทอด Stainless Steel Deep Fryer ยี่ห้อ Pro Tech รุ่น SP - FRE – 3.0 L – E
3. เครื่อง Colourimeter ยี่ห้อ Hunterlab รุ่น Juki Colour Quest XT ประเทศสหรัฐอเมริกา
4. เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ HITACHI รุ่น U - 1500 ประเทศญี่ปุ่น
5. เครื่องชั่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP21DOS ประเทศเยอรมัน
6. เครื่องวัดความหนืด Rheometer ยี่ห้อ Haake รุ่น Rheosress RS 75 ประเทศเยอรมัน
7. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ปริมาณไขมัน โปรตีนและความชื้น
8. อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของเนื้อไก่และน้ำมัน
9. ชิ้นไก่หมักเครื่องปรุง
10. แป้งโดปาท่องโก๋

2. ระเบียบวิธีวิจัย

สำรวจ คัดเลือก และทำข้อตกลงกับร้านไก่ทอด 3 ร้าน และปาท่องโก๋ 3 ร้าน ในเขตอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เพื่อร่วมมือในการศึกษาวิจัยครั้งนี้โดยร้านค้าเป็นผู้หมักไก่และผลิตแป้งโดตามสูตรที่ผลิตจำหน่ายอยู่แล้ว กรณีไก่ทอดทำการทอดในห้องปฏิบัติการแปรรูปด้วยขนาดการทอดใกล้เคียงกับร้านค้าของชุมชน อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา หลังจากนั้นจะนำผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการไปให้ร้านค้าทดลองปฏิบัติในสภาพจริงของแต่ละร้าน ส่วนกรณีปาท่องโก๋ทำการทอดที่ร้านค้าเนื่องจากผู้ทอดต้องมีทักษะและความชำนาญในการทอดให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ

กรณีศึกษา 1: ไก่ทอด

ร้านค้าชุมชนที่ 1

รูปแบบการทอด เป็นการทอดผสมทุกชนิดของชิ้นส่วนในแต่ละครั้งของการทอด โดยใช้ขนาดชิ้นส่วนไก่น้ำหนักเฉลี่ยต่อชิ้น ดังนี้ อก 130กรัม สะโพก 152 กรัม น่อง 115 กรัม ปีก110 กรัม

ใช้น้ำมันปาล์มเริ่มต้น 12 ลิตร ทำการทอดที่อุณหภูมิ 175°C วันละ 3 ชั่วโมง (เวลาที่ใช้ทอดแต่ละครั้ง 15 นาที จำนวน 12 ครั้งต่อวัน) เก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 13 6 9 และ12 ของแต่ละวัน

ร้านค้าชุมชนที่ 2

รูปแบบการทอด เป็นการทอดแยกชิ้นส่วนแต่ละชนิดในแต่ละครั้งของการทอด โดยขนาดชิ้นส่วนไก่มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อชิ้น ดังนี้ อก130 กรัม สะโพก152 กรัม น่อง 115 กรัม และปีก 110 กรัม

ใช้น้ำมันปาล์มเริ่มต้น7 ลิตร ทำการทอดที่อุณหภูมิ 180°C วันละ 6 ชั่วโมง (เวลาที่ใช้ทอดแต่ละครั้ง 12 นาที จำนวน 30 ครั้งต่อวัน) เก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 1 15 และ30 ของแต่ละวัน

ร้านที่ 3 (ห้องปฏิบัติการ)

รูปแบบการทอด เป็นการทอดชิ้นส่วนที่เป็นน่องเพียงอย่างเดียวในแต่ละครั้งของการทอด โดยมีขนาดน้ำหนักเฉลี่ยต่อชิ้นเป็น 110 กรัม

ใช้น้ำมันเริ่มต้น7 ลิตร ทำการทอดที่อุณหภูมิ 190°C วันละ 3 ชั่วโมง (เวลาที่ใช้ทอดแต่ละครั้ง 18 นาที จำนวน 10 ครั้งต่อวัน) เก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 1 5และ10 ของแต่ละวัน

1.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาทอด

เตรียมชิ้นไก่ให้ร้านค้า 3 ร้านที่คัดเลือกมาร่วมโครงการ เป็นผู้หมักตามสูตรของแต่ละร้าน ทอดไก่ในห้องปฏิบัติการแปรรูปด้วยขนาดการทอดใกล้เคียงกับร้านค้าชุมชน โดยใช้น้ำมันปาล์มในปริมาณน้ำมันต่อน้ำหนักไก่หมัก 10 ต่อ 1.5 ทอดที่อุณหภูมิ 170 180 และ190 °C ใช้เวลาทอดครั้งละ12 15 และ 18 นาที คัดเลือกสภาวะการทอดที่ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีสีผิวเป็นที่ยอมรับทั่วไป โดยน้ำมันหลังทอดมีค่ากรดไขมันอิสระน้อยที่สุดด้วย

1.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนปริมาตรน้ำมันต่อน้ำหนักไก่

เตรียมไก่เช่นเดียวกับข้อ 1.1 ใช้น้ำมันทอดในอัตราส่วนปริมาตรน้ำมัน: น้ำหนักไก่หมัก 10:1 10:1.5 และ10:2 โดยทอดที่อุณหภูมิและเวลาที่คัดเลือกจากข้อ 1.1 แล้วคัดเลือกอัตราส่วนน้ำมันต่อไก่หมักที่จะนำไปใช้ต่อไปโดยพิจารณาจากคุณภาพน้ำมันหลังทอดเช่นเดียวกับข้อ 1.1

1.3 ศึกษาผลของระยะเวลาการใช้งานน้ำมันทอดต่อคุณภาพของน้ำมันและไก่ทอด

เตรียมไก่เช่นเดียวกับข้อ 1.1 ทอดตามสภาวะที่เลือกจากข้อ 1.1 และ 1.2 และทอดต่อเนื่องกันจนสิ้นสุดการใช้งานในวันเดียว โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำมันและไก่ทอด หลังการทอดเป็นระยะๆและเมื่อสิ้นสุดการใช้งาน ทำการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันทอดและไก่ทอดดังนี้

คุณภาพทางเคมีของน้ำมัน ได้แก่

a. ค่ากรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid : FFA) (IUPAC ,1979)
b. ค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide Value : PV) (IUPAC ,1979)
c. ค่า anisidine value (IUPAC ,1979)
d. ปริมาณสารประกอบโพลาร์(Dobarganes *et al.*,2000)
e. Fatty acid profile ใช้ gas chromatography (Jaswir, *et al.*, 2000)

วิเคราะห์ข้อ e. เฉพาะตัวอย่างที่มีค่ากรดไขมันอิสระเกิน 5 % ค่าเพอร์ออกไซด์เกิน 20 มิลลิกรัมสมมูลต่อกิโลกรัมน้ำมัน และปริมาณสารประกอบโพลาร์เกินกว่า 25%

คุณภาพทางกายภาพของน้ำมัน ได้แก่

f. ค่าสีระบบCIE โดยใช้เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ Hunterlab รุ่น Juki Colour Quest XT

g. ความหนืด ใช้เครื่องวัดความหนืด Rheometer ยี่ห้อ Haake รุ่น Rheosress RS 75

คุณภาพทางเคมีของไก่ทอด ได้แก่

a. ปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับ โดยวิธี soxhlet (AOAC, 2000)

b. ปริมาณสารอะคริลาไมด์ ในตัวอย่างที่มีปริมาณสารประกอบโพลาร์เกินกว่า 25% โดยนำส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กรุงเทพมหานคร

สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้กับระยะเวลาการใช้งาน เพื่อทราบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมื่อผ่านการทอด

1.4 ศึกษาผลของการนำน้ำมันกลับมาใช้ทอดซ้ำต่อคุณภาพของน้ำมันและไก่ทอด

เก็บตัวอย่างน้ำมันทอดและไก่ทอดหลังจากใช้งานแต่ละวัน (จำนวนชั่วโมง หรือระยะเวลาการใช้งานต่อวันของน้ำมันจะพิจารณาจากผลการทดลองข้อ 1.3) นำน้ำมันมากรอง แล้วจัดเก็บในภาชนะปิดมิดชิดวางไว้ที่อุณหภูมิห้องและนำกลับมาใช้งานซ้ำดังนี้

1.4.1 นำน้ำมันเดิมมาใช้ทอดซ้ำเป็นเวลา 5 วันหรือจนเลิกใช้

1.4.2 นำน้ำมันเดิมมาเติมน้ำมันใหม่ทุกวันในสัดส่วน น้ำมันใหม่ : น้ำมันเดิม 1:2 ทอดซ้ำเป็นเวลา 5 วันหรือจนเลิกใช้ วิเคราะห์คุณภาพน้ำมันทอดและไก่ทอด เช่นเดียวกับข้อ 1.3 หลังจากสิ้นสุดการใช้งานแต่ละวัน

กรณีศึกษา 2 : ปาท่องโก๋

2.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการทอดต่อคุณภาพของน้ำมันทอดและปาท่องโก๋

ให้ร้านทอดปาท่องโก๋เป็นผู้ทอดโดยนักวิจัยควบคุมเงื่อนไขการทอดดังนี้ คือ ใช้อัตราส่วนปริมาตรน้ำมัน:น้ำหนักแป้งโด 16:1ทอดที่อุณหภูมิ 160 170 และ180°C ใช้เวลาทอดครั้งละ 3 5 และ 7 นาที เก็บตัวอย่างน้ำมันและปาท่องโก๋มาวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ1.1

2.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำมันต่อปริมาณแป้งโดที่มีต่อคุณภาพของน้ำมันทอดและปาท่องโก๋

ให้ร้านทอดปาท่องโก๋เป็นผู้ทอดโดยนักวิจัยควบคุมเงื่อนไขการทอดดังนี้ คือ ใช้อุณหภูมิและเวลาทอดที่เลือกจากข้อ 2.1 ใช้อัตราส่วนปริมาตรน้ำมัน:น้ำหนักแป้งโด16:0.5 16:1 และ16:1.5 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันและปาท่องโก๋มาวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ1.2

2.3 ศึกษาผลของระยะเวลาการใช้งานน้ำมันต่อคุณภาพของน้ำมันทอดและปาท่องโก๋

ให้ร้านทอดปาท่องโก๋เป็นผู้ทอดโดยนักวิจัยควบคุมเงื่อนไขการทอด ดังนี้ คือ ใช้อุณหภูมิและเวลาทอดที่เลือกจากข้อ 2.1 และใช้อัตราส่วนปริมาตรน้ำมัน:น้ำหนักแป้งโดที่เลือกจากผลการ

ทดลองข้อ 2.2 ทอดต่อเนื่องไปเรื่อยๆจนครบเวลาการทอดที่ 30 60 90 120 150 และ 180 นาที ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันและปาท่องโก๋มาวิเคราะห์เช่นเดียวกับ ข้อ1.3

2.4 ศึกษาผลของการนำน้ำมันกลับมาใช้ทอดซ้ำต่อคุณภาพของน้ำมันและปาท่องโก๋

ให้ร้านค้าทอดปาท่องโก๋ 3 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 5 วัน หลังการใช้งานแต่ละวัน จะกรองน้ำมันและเก็บรักษาในภาชนะปิดมิดชิดวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง นำน้ำมันกลับมาใช้ซ้ำ ดังนี้

2.4.1 ใช้น้ำมันเดิมทอดซ้ำจนสิ้นสุดการใช้งาน

2.4.2 มีการเติมน้ำมันใหม่

แบบที่ 1 เติมน้ำมันใหม่ทุกวันในสัดส่วนน้ำมันใหม่ : น้ำมันเดิม1:2 ทอดซ้ำเป็นเวลาอย่างน้อย 10 วัน

แบบที่ 2 เติมน้ำมันใหม่ระหว่างวัน(น้ำมันใหม่ :น้ำมันเดิม 1:9) และเติมเพิ่มก่อนการใช้งานใหม่ในแต่ละวัน(น้ำมันใหม่ :น้ำมันเดิม 2:3) รวมเป็นสัดส่วนน้ำมันใหม่ : น้ำมันเดิม1:2 เช่นเดียวกับแบบที่ 1

ตรวจสอบคุณภาพน้ำมันทอดและปาท่องโก๋เช่นเดียวกับข้อ 1.4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

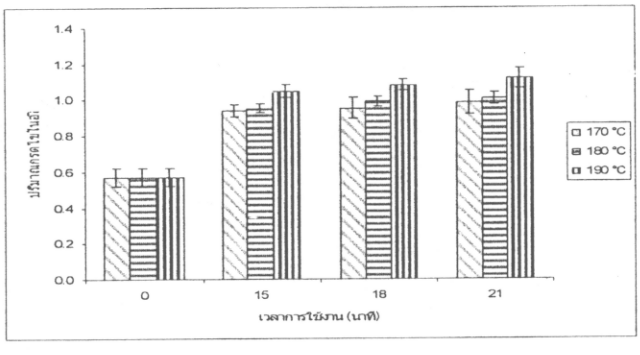
3.1 กรณีศึกษาไก่ทอด

3.1.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาการทอด

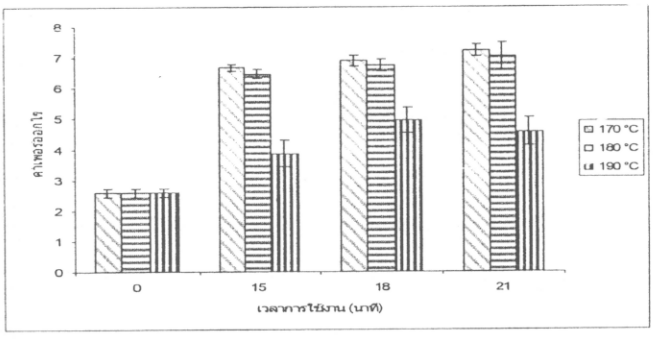
การศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาการทอดต่อคุณภาพของน้ำมันทอดไก่ พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่ทุกอุณหภูมิการทอดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาทอดนานขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของChe Man and Jaswir (2000 อ้างโดย Choe and Min,2007) และการทอดที่อุณหภูมิ170°C และ 180°C ที่ทุกเวลาทอด ปริมาณกรดไขมันอิสระไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่ที่อุณหภูมิ 190°C มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆ ดังภาพที่ 4 ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนร่วมกับการที่เนื้อไก่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่สูงจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดเป็นกรดไขมันอิสระ(Abdulkarim *et al.*,2007) ทำให้คุณภาพน้ำมันต่ำลง เมื่อพิจารณาค่าเพอร์ออกไซด์ พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาทอดเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 5 ขณะที่อุณหภูมิ 190°C ค่าเพอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาแรกจนถึงจุดสูงสุดและจะเริ่มลดลงที่เวลาทอด 21 นาทีซึ่งสอดคล้องกับ Shahidi & Wanasundara (2002) ที่รายงานว่า การเพิ่มขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ในช่วงเวลาแรกเป็นตัวชี้วัดการเพิ่มการก่อตัวของสารเพอร์ออกไซด์จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งสารเพอร์ออกไซด์ไม่มีความคงตัวภายใต้สภาวะการทอดแบบน้ำมันท่วม สามารถสลายตัวเป็นสารประกอบคาร์บอนิลและแอลดีไฮด์ได้จึงเป็นสาเหตุให้ค่าเพอร์ออกไซด์มีค่าลดลง ส่วนค่า *p*-anisidine จากภาพที่ 6 เห็นได้ว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดง

ว่าในน้ำมันมีสารประกอบแอลดีไฮด์โดยเฉพาะพวก2-แอลคีแนล(2-alkenals)และ2,4-แอลคาไดอิแนล(2,4-alkadienals)สะสมในปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมเสีย ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับที่ Houhoula และคณะ(2002) รายงานว่าเมื่อทอดมันฝรั่งโดยใช้น้ำมันเมล็ดฝ้ายที่อุณหภูมิ155 175 และ 195°C จนครบ 12 ชั่วโมง พบว่า ค่า *p*-anisidine จะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรงเมื่อเวลาและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

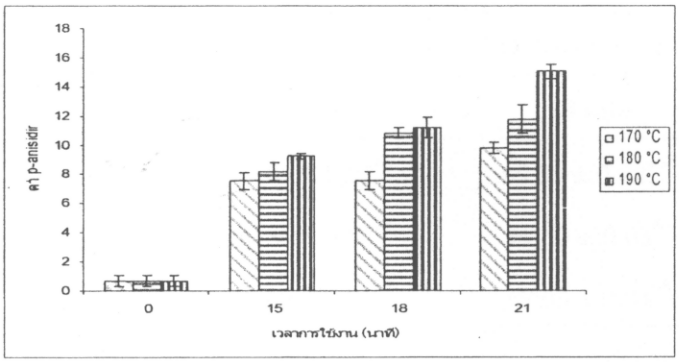
ตารางที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมัน ระหว่างการทอดที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ พบว่า เมื่อเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง(L*) จะมีค่าลดลง ความเป็นสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) จะเพิ่มขึ้น Abdulkarim และคณะ 2007 ได้กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นในน้ำมัน ส่งผลให้คุณภาพของน้ำมันเสื่อมลง ซึ่งมีสาเหตุมาจากการสะสมของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน มีผลให้สีของน้ำมันเข้มขึ้น นอกจากนี้พบว่าเมื่อทอดที่อุณหภูมิสูง(190°C) ร่วมกับการใช้เวลานาน(21 นาที) มีผลให้ค่าความหนืดของน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (ตารางที่ 2) ทั้งนี้เวลาการใช้น้ำมันอาจไม่มากพอที่จะทำให้ค่าความหนืดเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนดังเช่นที่พบในผลการวิจัยของ Abdulkarim และคณะ(2007) ซึ่งพบว่าค่าความหนืดเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันของการใช้น้ำมันทอดเป็นเวลา 5 วัน(6 ชั่วโมง/วัน)



ภาพที่ 4 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดไก่ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ



ภาพที่ 5 ค่าเพอร์ออกไซด์ของน้ำมันทอดไก่ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ



ภาพที่ 6 ค่า *p*-anisidine ของน้ำมันทอดไก่ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

ตารางที่ 1 ค่าสีของน้ำมันทอดไก่ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อุณหภูมิ(°C)	ค่าสี	เวลา (นาที)		
		15	18	21
170 °C	L*	95.29 ± 0.01^{cC}	95.18 ± 0.01^{cB}	94.71 ± 0.01^{cA}
180 °C		95.09 ± 0.01^{bC}	94.86 ± 0.00^{bB}	94.61 ± 0.01^{bA}
190 °C		94.68 ± 0.01^{aC}	94.65 ± 0.01^{aB}	94.21 ± 0.00^{aA}
170 °C	a*	-5.86 ± 0.01^{aA}	-5.75 ± 0.01^{aB}	-5.45 ± 0.01^{aC}
180 °C		-5.54 ± 0.01^{bA}	-5.48 ± 0.02^{bB}	-4.94 ± 0.01^{bC}
190 °C		-4.52 ± 0.01^{cA}	-4.53 ± 0.01^{cA}	-3.93 ± 0.01^{cB}
170 °C	b*	51.39 ± 0.01^{cA}	51.87 ± 0.01^{cB}	52.69 ± 0.01^{cC}
180 °C		49.47 ± 0.01^{bA}	49.98 ± 0.01^{bB}	51.76 ± 0.01^{bC}
190 °C		49.42 ± 0.02^{aA}	49.45 ± 0.01^{aB}	49.49 ± 0.01^{aC}

* Mean value ± standard deviation (SD).

$^{a-c}$ Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$).

$^{A-C}$ Means in the same row of each parameter (L*, a* and b*) with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

ตารางที่ 2 ค่าความหนืดของน้ำมันทอดไก่ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

อุณหภูมิ(°C)	ความหนืด* (cps)		
	15 min	18 min	21 min
170 °C	69.00 ± 0.02^{aA}	69.30 ± 0.03^{aAB}	69.80 ± 0.01^{aB}
180 °C	69.80 ± 0.02^{bA}	69.50 ± 0.03^{aA}	69.70 ± 0.02^{aA}
190 °C	69.60 ± 0.03^{bA}	69.60 ± 0.01^{aA}	70.00 ± 0.01^{aB}

* Mean value ± standard deviation (SD).

$^{a-c}$ Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$).

$^{A-C}$ Means in a row followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$).

ตารางที่ 3 ค่าสีของไก่ทอดที่ใช้อุณหภูมิน้ำมันทอดและเวลาทอดต่างๆ

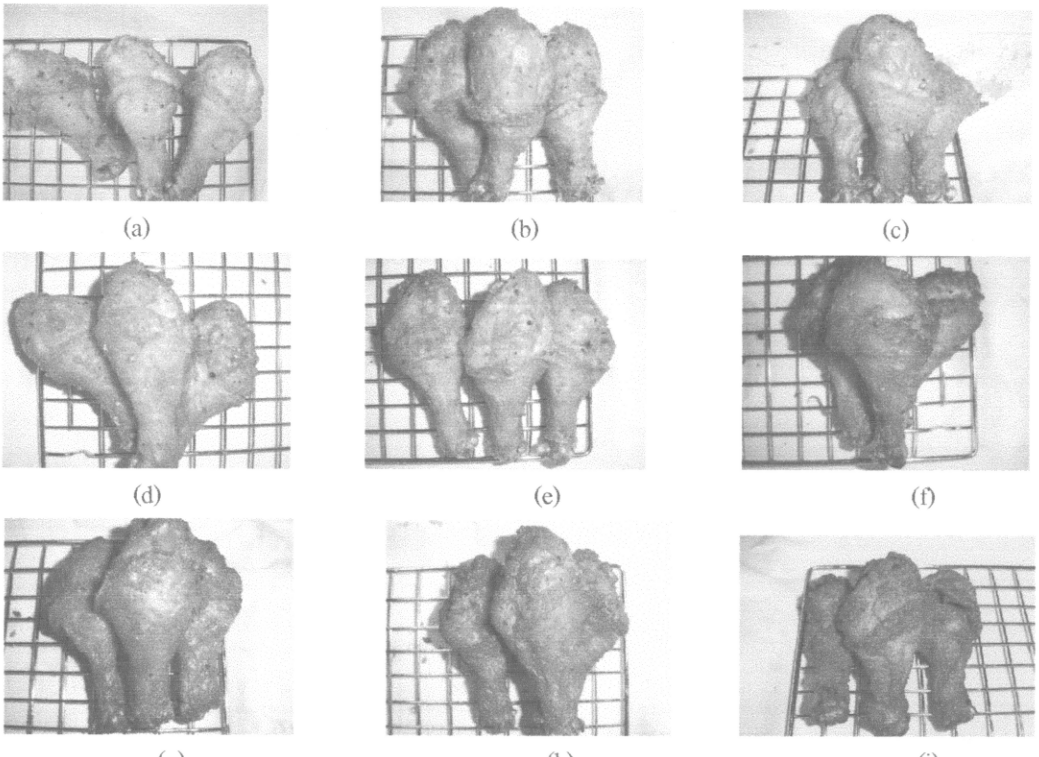
อุณหภูมิ(°C)	ค่าสี	เวลา (นาที)		
		15	18	21
170 °C	L*	44.54 ± 1.09^{cB}	40.08 ± 2.11^{bA}	40.87 ± 0.40^{bA}
180 °C		40.54 ± 0.28^{bB}	40.34 ± 0.26^{bB}	36.28 ± 0.52^{aA}
190 °C		37.34 ± 0.84^{aA}	36.94 ± 0.38^{aA}	36.21 ± 0.27^{aA}
170 °C	a*	14.40 ± 0.54^{bA}	14.67 ± 0.55^{bAB}	15.48 ± 0.43^{cB}
180 °C		15.45 ± 0.52^{bB}	16.17 ± 0.78^{bB}	12.79 ± 0.52^{bA}
190 °C		11.01 ± 0.49^{aA}	11.78 ± 1.31^{aA}	10.92 ± 0.45^{aA}
170 °C	b*	28.26 ± 0.18^{cB}	24.22 ± 2.01^{bA}	24.87 ± 0.40^{cA}
180 °C		24.18 ± 0.60^{bB}	24.05 ± 1.04^{bB}	19.84 ± 0.91^{bA}
190 °C		18.75 ± 0.67^{aA}	18.52 ± 1.27^{aA}	17.85 ± 0.40^{aA}

* Mean value ± standard deviation (SD).

$^{a-c}$ Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$).

$^{A-B}$ Means in the same row of each parameter (L*, a* and b*) with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

ตารางที่ 3 แสดงค่าสีผิวไก่ทอดที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน พบว่าค่าความสว่าง(L*) จะมีค่าลดลง ความเป็นสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่ออุณหภูมิและเวลาการทอดเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิ 180°C และ 190°C เวลา 21 นาที มีสีผิวไก่ดำกว่าทุกสภาวะการทอด ดังลักษณะปรากฏในภาพที่ 7 ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบ Maillard reaction and caramelization (Carabasa and Ibaez ,2000) อย่างไรก็ดีเมื่อเปรียบค่าสีผิวไก่จากการใช้สภาวะการทอดที่อุณหภูมิ 170-180 °C เวลาทอด 15-18 นาที เห็นได้ว่ามีค่าสีอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับสีผิวไก่ทอดที่ร้านค้าชุมชนในอำเภอหาดใหญ่ผลิตอยู่และผู้บริโภคให้การยอมรับ (ค่าสีผิวภายนอกไก่ทอดจากการสุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่าง พบว่า มีค่า L*, a*, b* เฉลี่ยเป็น 41.81 ± 4.31 16.81 ± 2.94 และ 27.43 ± 4.07 ตามลำดับ) จึงเลือกสภาวะการทอดที่อุณหภูมิ 180 °C เวลา 15 นาทีในการศึกษาผลของอัตราส่วนปริมาตรน้ำมันต่อน้ำหนักไก่ที่มีต่อคุณภาพของน้ำมันทอดและไก่ทอด



ภาพที่ 7 ลักษณะปรากฏของไก่ทอดที่อุณหภูมิการทอดและเวลาทอดต่างๆ

(a) 170 °C 15 นาที (b) 170 °C 18นาที (c) 170 °C 21 นาที
(d) 180 °C 15 นาที (e) 180 °C 18 นาที (f) 180 °C 21 นาที
(g) 190 °C 15 นาที (h) 190 °C 18 นาที (i) 190 °C 21 นาที

3.1.2 ผลของอัตราส่วนระหว่างปริมาตรน้ำมันทอดและน้ำหนักไก่ที่มีต่อคุณภาพน้ำมันทอด

ผลของอัตราส่วนปริมาตรน้ำมันต่อน้ำหนักไก่ที่มีต่อคุณภาพของน้ำมันทอดและไก่ทอด แสดงในตารางที่ 4 พบว่า ปริมาณกรดไขมันอิสระและ ค่าเพอร์ออกไซด์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่า *p*-anisidine เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่ออัตราส่วนของน้ำมัน:ไก่เพิ่มขึ้นจาก10 : 1.5 เป็น10 : 2.0 และ 10 : 2.5 ส่วนการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันและความหนืด พบว่าสีของน้ำมันทอดจะคล้ำขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อปริมาณไก่เพิ่มขึ้น โดยที่ค่าแสดงความเป็นสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ส่วนค่าความหนืดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ(ตารางที่5) นอกจากนี้เห็นได้ว่าเมื่อปริมาณไก่เพิ่มขึ้นมีผลต่อสีผิวของไก่เพียงค่า b* เพิ่มขึ้นเล็กน้อย(ตารางที่ 6)

ตารางที่ 4 ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine ของน้ำมันทอดที่อุณหภูมิ 180 °C เวลา 15 นาที เมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำมันต่อปริมาณไก่ต่างๆ

อัตราส่วนของ น้ำมัน : ปริมาณไก่ทอด	ปริมาณกรดไขมันอิสระ* (%palmitic acid)	ค่าเพอร์ออกไซด์* (mg O_2/kg fat)	ค่า *p*-anisidine *
10 : 1.5	0.21 ± 0.01^{a}	5.47 ± 0.24^{a}	1.32 ± 0.04^{a}
10 : 2.0	0.21 ± 0.00^{a}	5.71 ± 0.08^{a}	2.04 ± 0.24^{b}
10 : 2.5	0.21 ± 0.00^{a}	5.68 ± 0.19^{a}	2.30 ± 0.15^{b}

* Mean value ± standard deviation (SD).

[a–b] Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$).

ตารางที่ 5 ค่าสีและค่าความหนืดของน้ำมันทอดที่อุณหภูมิ 180 °C เวลา 15 นาที เมื่อใช้น้ำมันและปริมาณไก่ในอัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วน	ค่าสี*			ค่าความหนืด*
น้ำมัน : ปริมาณไก่	L*	a*	b*	(cps)
10 : 1.5	93.81 ± 0.015^{c}	-5.81 ± 0.008^{a}	49.71 ± 0.017^{a}	69.70 ± 0.06^{a}
10 : 2.0	91.91 ± 0.004^{a}	-4.82 ± 0.008^{c}	51.61 ± 0.009^{c}	69.70 ± 0.03^{a}
10 : 2.5	92.74 ± 0.015^{b}	-5.34 ± 0.004^{b}	50.61 ± 0.023^{b}	70.30 ± 0.07^{a}

* Mean value ± standard deviation (SD).

[a–c] Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$).

ตารางที่6 ค่าสีผิวไก่ทอดที่อุณหภูมิน้ำมันทอด 180 °C เวลา 15 นาที เมื่อใช้อัตราส่วนของไก่และปริมาณน้ำมันต่างๆกัน

อัตราส่วนของน้ำมัน: ปริมาณไก่	ค่าสี*		
	L*	a*	b*
10 : 1.5	38.28 ± 0.46^{a}	16.69 ± 0.62^{a}	22.57 ± 0.39^{a}
10 : 2.0	38.67 ± 0.64^{a}	16.12 ± 1.91^{a}	23.89 ± 0.85^{b}
10 : 2.5	38.29 ± 0.42^{a}	17.16 ± 0.03^{a}	24.11 ± 0.38^{b}

* Mean value ± standard deviation (SD).

$^{a-b}$ Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$).

3.1.3 ผลของระยะเวลาการใช้งานน้ำมันทอดต่อคุณภาพของน้ำมัน

การศึกษาการใช้งานน้ำมันทอดแบบต่อเนื่องโดย

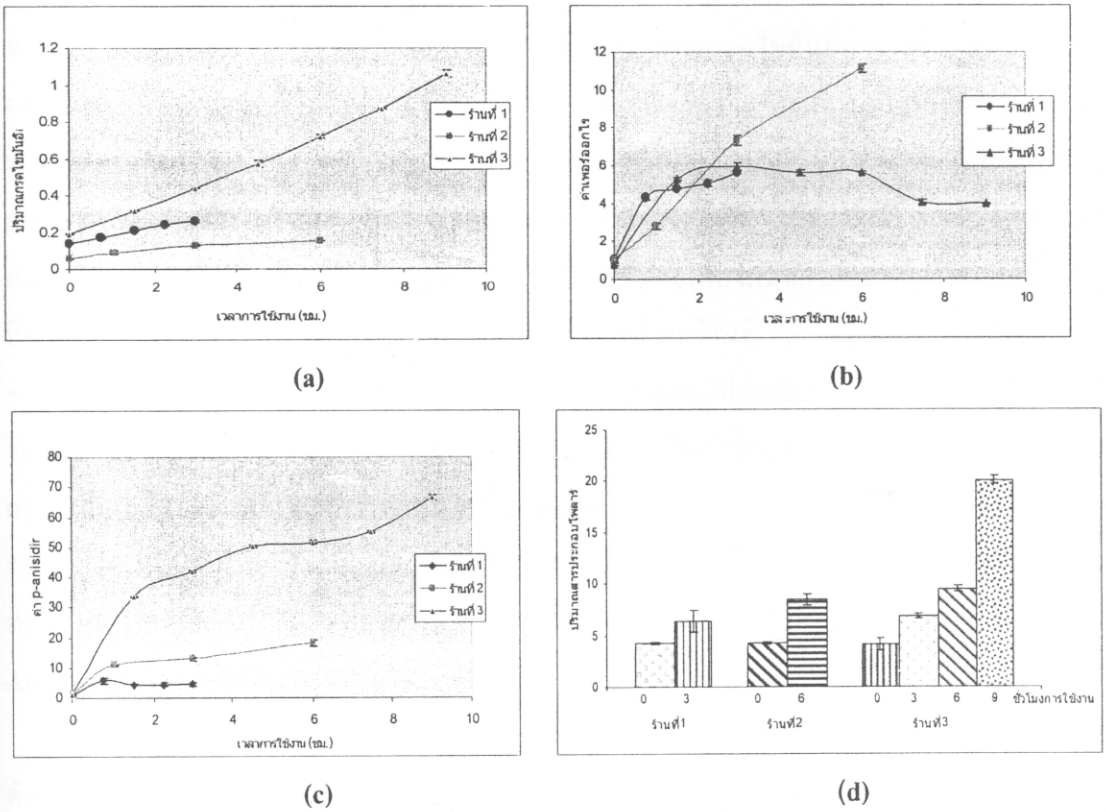
ร้านที่1 ใช้น้ำมันเริ่มต้น12 ลิตร อัตราส่วนน้ำมัน: ไก่ ประมาณ 10:2 ทำการทอดที่อุณหภูมิ175°C ต่อเนื่อง 3 ชั่วโมง (เวลาที่ใช้ทอดแต่ละครั้ง 15 นาที จำนวน 12 ครั้งติดต่อกัน)

ร้านที่ 2 ใช้น้ำมันเริ่มต้น7 ลิตร อัตราส่วนน้ำมัน:ไก่ ประมาณ 10:2 ทำการทอดที่อุณหภูมิ 180°C ต่อเนื่อง 6 ชั่วโมง (เวลาที่ใช้ทอดแต่ละครั้ง 12 นาที จำนวน 30 ครั้งติดต่อกัน)

ร้านที่ 3 (ห้องปฏิบัติการ) ใช้น้ำมันเริ่มต้น7 ลิตร อัตราส่วนน้ำมัน: ไก่ ประมาณ10:2 ทำการทอดที่อุณหภูมิ 190°C ต่อเนื่อง 9 ชั่วโมง (เวลาที่ใช้ทอดแต่ละครั้ง 18 นาที จำนวน 30 ครั้งติดต่อกัน)

ผลการศึกษาพบว่าน้ำมันทอดที่ทุกอุณหภูมิการทอด(จาก 3 ร้าน) มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์และค่า *p*-anisidine เพิ่มขึ้นต่อเนื่องตลอดระยะเวลาทอด ดังภาพที่ 8 (a) (b) และ(c)โดยเฉพาะค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรกของการทอด ซึ่งสอดคล้องกับ Shahidi & Wanasundara (2002) ที่อธิบายว่าการเพิ่มขึ้นของค่าเพอร์ออกไซด์ในช่วงเวลาแรก เป็นการชี้วัดการเกิดสารเพอร์ออกไซด์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว นอกจากนี้ปฏิกิริยาออกซิเดชันยังก่อให้เกิดสารประกอบแอลดิไฮด์ ซึ่ง *p*-anisidine จะเป็นค่าที่วัดปริมาณของแอลดิไฮด์ (principally 2-alkeenals and 2, 4-alkadienals) ในไขมันสัตว์และในน้ำมันพืช (Abdulkarim *et al.*,2007) อย่างไรก็ดีเมื่อสิ้นสุดการใช้งาน 3 6 และ9 ชั่วโมง พบว่าน้ำมันมีปริมาณสารประกอบโพลาร์ประมาณ 5.65 8.82 และ 20.16 %ตามลำดับ ซึ่งจัดว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้มีปริมาณสารประกอบโพลาร์ได้ไม่เกิน 25 % (กระทรวงสาธารณสุข,2547) และจากภาพที่ 8 (d) เห็นได้ว่าผลการทดลองของทุกร้านมีปริมาณโพลาร์ของน้ำมันทอดเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับเวลาการใช้งานที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าร้านที่1ใช้อุณหภูมิ175°C

ทอดต่อเนื่องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีปริมาณโพลาร์เกิดขึ้นระหว่างการทอดประมาณ1.5% ซึ่งต่ำกว่าผลที่พบจากงานวิจัยของHouhoulaและคณะ(2002) ซึ่งพบปริมาณโพลาร์ที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดมีค่าประมาณ 5% เมื่อใช้อุณหภูมิทอด 175 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง



(a) (b)

(c) (d)

ภาพที่ 8 ปริมาณกรดไขมันอิสระ(a) ค่าเพอร์ออกไซด์(b) ค่า *p*-anisidine(c) และปริมาณสารโพลาร์ (d) ของน้ำมันที่ผ่านการทอดไก่แบบต่อเนื่อง

3.1.4 ผลของการนำน้ำมันกลับมาใช้ทอดซ้ำต่อคุณภาพของน้ำมันและไก่ทอด

ผลการศึกษาของการนำน้ำมันกลับมาใช้ทอดซ้ำต่อคุณภาพน้ำมันและไก่ทอด โดยที่เก็บตัวอย่างน้ำมันทอดและไก่ทอดหลังจากใช้งานแต่ละวัน นำน้ำมันมากรอง แล้วจัดเก็บในภาชนะปิดมิดชิดวางไว้ที่อุณหภูมิห้องและนำกลับมาใช้งานซ้ำ

ร้านค้าชุมชนที่ 1 ใช้น้ำมันเริ่มต้น12 ลิตร อัตราส่วนน้ำมัน:ไก่ ประมาณ 10:2 ทำการทอดที่อุณหภูมิ 175°C วันละ 3 ชั่วโมง (เวลาที่ใช้ทอดแต่ละครั้ง 15 นาที จำนวน 12 ครั้งต่อวัน)

ร้านค้าชุมชนที่2 ใช้น้ำมันเริ่มต้น7 ลิตร อัตราส่วนน้ำมัน: ไก่ ประมาณ 10:2 ทำการทอดที่อุณหภูมิ 180°C วันละ 6 ชั่วโมง (เวลาที่ใช้ทอดแต่ละครั้ง 12 นาที จำนวน 30 ครั้งต่อวัน)

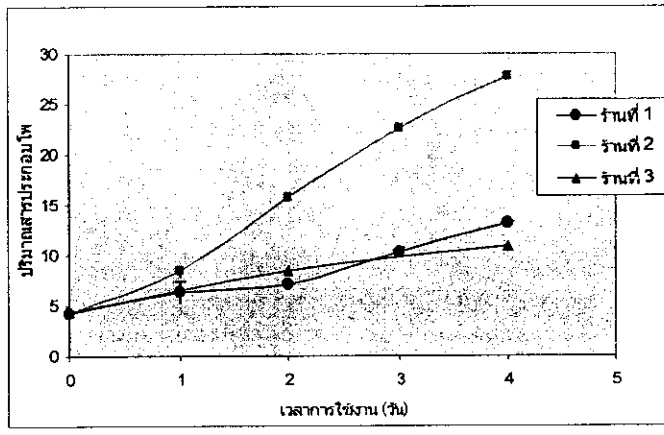
ร้านที่ 3 (ห้องปฏิบัติการ) ใช้น้ำมันเริ่มต้น7 ลิตร อัตราส่วนน้ำมัน: ไก่ ประมาณ10:2 ทำการทอดที่อุณหภูมิ 190°C วันละ 3 ชั่วโมง (เวลาที่ใช้ทอดแต่ละครั้ง 18 นาที จำนวน 10 ครั้งต่อวัน)

3.1.4.1 นำน้ำมันเดิมมาใช้ทอดซ้ำเป็นเวลา 4 วัน

ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 7 พบว่าการทดลองจากทั้ง 3 ร้าน ปริมาณกรดไขมันอิสระมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อจำนวนครั้งและจำนวนวันที่ทอดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ($p< 0.05$) ซึ่ง Che Man และคณะ (1999) ได้อธิบายว่า การเพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระ เป็นผลมาจากน้ำในอาหารทอดทำให้น้ำมันที่ได้รับความร้อนนั้นเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้กรดไขมันอิสระ เมื่อพิจารณาค่าเพอร์ออกไซด์ พบว่าร้านที่ 1 และ3 เมื่อจำนวนวันการใช้น้ำมันทอดเพิ่มขึ้นค่าเพอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นในวันแรกๆจนถึงจุดหนึ่งแล้วจึงมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากสารเพอร์ออกไซด์ไม่คงตัวจึงสลายต่อไป แต่ร้านที่ 2 ค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทอดทั้งนี้อาจมีผลกระทบมาจากปริมาณไขมันในวัตถุดิบเข้ามามีส่วนร่วม(ร้านที่ 2 มีรูปแบบการทอดแตกต่างจากร้านที่1 ดังที่กล่าวไว้ในระเบียบวิธีวิจัย) ส่วนค่า*p*-anisidine มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อจำนวนวันของการใช้น้ำมันมากขึ้น ทำนองเดียวกันปริมาณสารโพลาร์ของน้ำมันสูงขึ้นที่เวลาการใช้งานเพิ่มขึ้นและที่จำนวนครั้งของการทอดมากขึ้นดังภาพที่ 9 (ร้านที่1 2 และ 3 มีจำนวนครั้งของการทอดที่ 12 ครั้ง/วัน 30ครั้ง/วัน และ10ครั้ง/วัน ตามลำดับ) ทั้งนี้ปริมาณโพลาร์ของน้ำมันหลังจากทอดวันแรกจนถึงวันที่ 4 มีค่าอยู่ระหว่าง 7- 28% ซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับผลการทดลองของ Abdulkarim และคณะ(2007)

ผลการวัดค่าสี และความหนืดของน้ำมันทอดทั้ง 3 ร้านให้ผลเป็นแนวโน้มเดียวกัน แสดงดังตารางที่ 8 พบว่า ค่า L* มีค่าลดลง ส่วนค่า a* และค่า b* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อจำนวนวันในการทอดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ Ngadi และคณะ(2006) อธิบายว่าการเสื่อมเสียของสีของน้ำมันระหว่างการทอดเกิดจากกรดอะมิโนในอาหารทำปฏิกิริยากับสารประกอบคาร์บอนิลที่เกิดมาจากผลของการที่น้ำมันเกิดออกซิเดชัน เมื่อได้รับความร้อน ทำให้น้ำมันมีสีคล้ำ ดังแสดงในภาพที่10 และความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการทอด 4 วัน ซึ่งเป็นผลเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Sanchez-Gemino และคณะ(2008)

นอกจากนี้พบว่าเนื้อไก่ทอดมีการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามเวลาการทอดที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 8)



ภาพที่ 9 ปริมาณโพลาร์ของน้ำมันทอดซ้ำโดยใช้น้ำมันเดิมทอดไก่เป็นเวลา 4 วัน

ตารางที่ 7 ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และ *p*-anisidine ของน้ำมันทอดไก่ใน ช่วงเวลาทอด 4 วัน

ร้านที่ 1			
เวลาการใช้งาน (วัน)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ* (%palmitic acid)	ค่าเพอร์ออกไซด์* (mg O_2/kg fat)	ค่า *p*-anisidine *
0	0.14 ± 0.00^{a}	1.03 ± 0.13^{a}	1.18 ± 0.14^{a}
1 (ชม.ที่ 3)	0.26 ± 0.01^{b}	3.95 ± 0.17^{d}	4.65 ± 0.62^{b}
2 (ชม.ที่ 6)	0.42 ± 0.01^{c}	2.3 ± 0.01^{b}	10.27 ± 1.84^{c}
3 (ชม.ที่ 9)	0.41 ± 0.01^{c}	2.10 ± 0.12^{b}	14.42 ± 1.88^{d}
4 (ชม.ที่12)	0.47 ± 0.02^{d}	3.31 ± 0.03^{c}	16.54 ± 0.07^{d}
ร้านที่ 2			
เวลาการใช้งาน (วัน)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ* (%palmitic acid)	ค่าเพอร์ออกไซด์* (mg O_2/kg fat)	ค่า *p*-anisidine *
0	0.13 ± 0.00^{a}	1.03 ± 0.13^{a}	1.27 ± 0.19^{a}
1 (ชม.ที่ 6)	0.34 ± 0.00^{b}	11.12 ± 0.26^{b}	18.18 ± 0.99^{b}
2 (ชม.ที่12)	0.63 ± 0.01^{c}	12.43 ± 0.22^{c}	28.57 ± 0.02^{c}
3 (ชม.ที่18)	0.78 ± 0.01^{d}	19.39 ± 0.27^{d}	28.61 ± 0.2^{c}
4 (ชม.ที่24)	0.95 ± 0.00^{e}	22.20 ± 0.13^{e}	42.83 ± 2.29^{d}

ตารางที่ 7 (ต่อ) ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และ *p*-anisidine ของน้ำมันทอดไก่ในช่วงเวลาทอด 4 วัน

ร้านที่ 3			
เวลาการใช้งาน (วัน)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ* (%palmitic acid)	ค่าเพอร์ออกไซด์* (mg O_2/kg fat)	ค่า *p*-anisidine *
0	0.22 ± 0.01^{a}	0.98 ± 0.13^{a}	0.95 ± 0.16^{a}
1 (ชม.ที่ 3)	0.54 ± 0.02^{b}	5.43 ± 0.02^{d}	27.15 ± 0.53^{b}
2 (ชม.ที่ 6)	0.80 ± 0.12^{bc}	6.85 ± 0.40^{e}	41.24 ± 0.47^{c}
3 (ชม.ที่ 9)	1.05 ± 0.25^{c}	4.58 ± 0.37^{c}	37.89 ± 0.85^{d}
4 (ชม.ที่12)	1.05 ± 0.03^{c}	3.41 ± 0.48^{b}	37.95 ± 1.77^{d}

*Mean value ± standard deviation (SD)

$^{a-d}$ Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p< 0.05$)

ตารางที่ 8 ค่าสี ความหนืดของน้ำมัน และปริมาณไขมันในไก่ทอดระหว่างเวลาทอดซ้ำโดยใช้น้ำมันเดิมเป็นเวลา 4 วัน

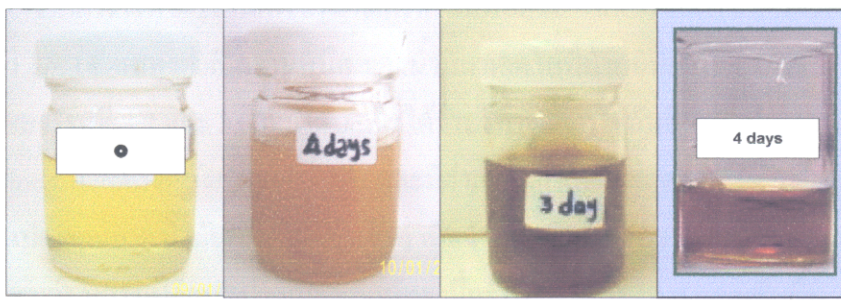
ร้านที่ 1					
เวลาใช้งาน (วัน)	ค่าสี			ค่าความหนืด* (cps)	(%) ไขมัน
	L*	a*	b*		
0	95.13 ± 0.17^{c}	-7.97 ± 0.07^{a}	47.47 ± 2.91^{a}	67.54 ± 0.31^{a}	-
1 (ชม.ที่ 3)	86.78 ± 0.01^{c}	1.32 ± 0.0^{b}	70.91 ± 0.01^{b}	68.73 ± 0.01^{b}	4.05
2 (ชม.ที่ 6)	65.32 ± 7.42^{b}	8.27 ± 0.92^{c}	69.04 ± 4.39^{b}	69.78 ± 0.40^{c}	5.41
3 (ชม.ที่ 9)	44.61 ± 5.90^{a}	10.89 ± 0.92^{d}	59.25 ± 3.79^{a}	71.98 ± 0.00^{d}	5.78
4 (ชม.ที่12)	40.29 ± 1.78^{a}	13.84 ± 1.05^{e}	75.06 ± 9.29^{b}	73.44 ± 0.55^{e}	5.87

ตารางที่ 8 (ต่อ) ค่าสี ความหนืดของน้ำมัน และปริมาณไขมันในไก่ทอดระหว่างเวลาทอดซ้ำโดยใช้น้ำมันเดิมเป็นเวลา 4 วัน

ร้านที่ 2					
เวลาการใช้งาน (วัน)	ค่าสี			ค่าความหนืด* (cps)	(%) ไขมัน
	L*	a*	b*		
0	95.13 ± 0.17^{d}	-7.97 ± 0.07^{a}	47.47 ± 2.91^{a}	67.54 ± 0.31^{a}	-
1 (ชม. 6)	71.44 ± 0.21^{c}	15.52 ± 0.04^{b}	80.90 ± 0.16^{b}	68.40 ± 0.33^{a}	2.75
2 (ชม.12)	54.91 ± 6.70^{b}	23.32 ± 1.15^{c}	78.29 ± 5.13^{b}	68.69 ± 0.33^{a}	3.13
3 (ชม.18)	49.24 ± 9.69^{ab}	31.14 ± 1.65^{d}	79.30 ±13.33^{b}	78.06 ± 0.47^{b}	3.33
4 (ชม.24)	40.99 ± 4.88^{a}	36.17 ± 1.34^{e}	79.08 ± 7.70^{b}	89.45 ± 1.67^{c}	4.51
ร้านที่ 3					
เวลาการใช้งาน (วัน)	ค่าสี			ค่าความหนืด* (cps)	(%) ไขมัน
	L*	a*	b*		
0	97.34 ± 0.01^{d}	-7.09 ± 0.00^{a}	41.76 ± 0.01^{a}	69.20 ± 0.04^{a}	-
1 (ชม.ที่ 3)	76.15 ± 0.01^{c}	17.16 ± 0.01^{b}	94.69 ± 0.03^{c}	70.70 ± 0.01^{b}	2.20
2 (ชม.ที่ 6)	59.72 ± 0.03^{b}	34.68 ± 0.02^{c}	89.27 ± 0.02^{d}	72.80 ± 0.02^{c}	2.55
3 (ชม.ที่ 9)	48.23 ± 0.02^{a}	42.23 ± 0.01^{d}	81.24 ± 0.04^{b}	73.20 ± 0.00^{d}	2.74
4 (ชม.ที่12)	42.38 ± 0.00^{a}	45.84 ± 0.01^{e}	72.34 ± 0.14^{b}	74.28 ± 0.15^{e}	2.90

* Mean value ± standard deviation (SD)

$^{a-e}$ Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$)

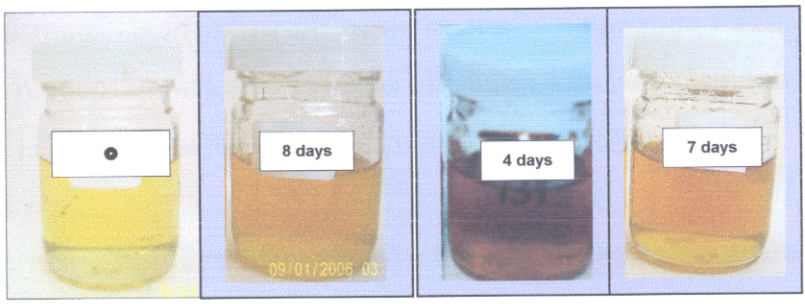


(a) (b) (c) (d)

ภาพที่10 ลักษณะปรากฏของน้ำมันก่อนทอดและหลังทอดไก่แบบไม่มีการเติมน้ำมันใหม่

(a) น้ำมันเริ่มต้นก่อนทอด (b) น้ำมันหลังจากทอด 4 วัน(12 ชั่วโมง)ของร้านที่ 1

(c) น้ำมันหลังจากทอดไก่ 3 วัน(18 ชั่วโมง)ของร้านที่2 (d) น้ำมันหลังจากทอด 4 วัน(12 ชั่วโมง) ของร้านที่ 3

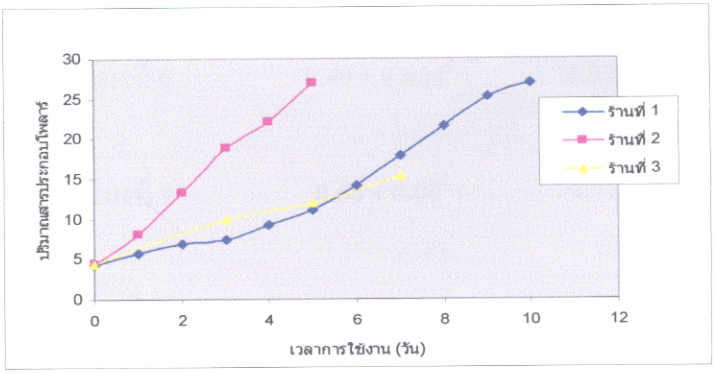


(a) (b) (c) (d)

ภาพที่11 ลักษณะปรากฏของน้ำมันก่อนทอดและหลังทอดไก่แบบมีการเติมน้ำมันใหม่

(a) น้ำมันเริ่มต้นก่อนทอด (b) น้ำมันหลังทอด 8 วัน(วันละ3 ชั่วโมง)ของร้านที่ 1

(c) น้ำมันหลังทอด 4 วัน(วันละ6 ชั่วโมง)ของร้านที่ 2 (d) น้ำมันหลังทอด 7 วัน(วันละ3 ชั่วโมง)ของร้านที่ 3



ภาพที่12 ปริมาณโพลาร์ของน้ำมันทอดไก่ซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน

3.1.4.2 เติมน้ำมันใหม่ทุกวันในสัดส่วน น้ำมันใหม่ : น้ำมันเดิม 1:2

จากตารางที่ 9-11 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine และตารางที่ 12- 14 แสดงค่าสี ความหนืด ของน้ำมันทอดไก่ที่นำกลับมาใช้ซ้ำ โดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวันของร้านที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ เห็นได้ว่าปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine มีค่าลดลงหลังการเติมน้ำมัน และมีค่าเพิ่มขึ้นหลังสิ้นสุดการใช้งานในแต่ละวัน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันเป็นไปอย่างช้าๆ เมื่อจำนวนวันของการทอดเพิ่มขึ้น ส่วนค่าสี และความหนืด พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อจำนวนวันของการทอดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ลักษณะปรากฏของน้ำมันก่อนและหลังการทอดแสดงดัง ภาพที่ 10 และ11ซึ่งเห็นได้ว่าภาพที่10(c) มีสีเข้มกว่าเพราะมีจำนวนชั่วโมงการใช้งานสูงกว่า และภาพที่ 11(c) มีสีคล้ำกว่า ภาพที่11(b) แม้ว่าจำนวนชั่วโมงการใช้งานเท่ากัน แต่จำนวนครั้งของการทอดสูงกว่า และอาจเป็นผลร่วมมาจากความแตกต่างของส่วนประกอบเครื่องปรุงตามสูตรเฉพาะของแต่ละร้านด้วย สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณสาร

โพลาร์ของน้ำมันทอดซ้ำโดยการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน พบว่าการทอดวันละ 3 ชั่วโมงสามารถทอดได้ประมาณ 8 วันและการทอดวันละ 6 ชั่วโมง ใช้ได้ประมาณ 4 วันโดยน้ำมันทอดมีปริมาณโพลาร์ 21.52 และ 22.13 % ซึ่งไม่เกินเกณฑ์กำหนดของกระทรวงสาธารณสุข (ภาพที่ 12)

ตารางที่ 9 ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine ของน้ำมันทอดไก่ที่นำกลับมาใช้ซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน (ร้านที่ 1)

วันที่ทอด	เวลาที่ทอด (ชั่วโมง)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%palmitic acid/g fat)*	ค่าเพอร์ออกไซด์ (mg O_2/kg fat)*	ค่า *p*-anisidine *
1	0	0.13 ± 0.00^{a}	1.03 ± 0.13^{a}	1.18 ± 0.14^{a}
	ชั่วโมงที่ 3	**0.27 ± 0.00^{b}**	**3.95 ± 0.17^{ef}**	**11.65 ± 0.41^{b}**
2	➢	0.24 ± 0.00	3.67 ± 0.13	9.21 ± 0.26
	ชั่วโมงที่ 6	**0.40 ± 0.004^{h}**	**4.32 ± 0.00^{fg}**	**12.09 ± 0.13^{b}**
3	➢	0.37 ± 0.00	4.84 ± 0.00	9.89 ± 0.21
	ชั่วโมงที่ 9	**0.56 ± 0.00^{j}**	**4.71 ± 0.01^{g}**	**13.94 ± 0.31^{c}**
4	➢	0.36 ± 0.00	1.08 ± 0.27	10.45 ± 0.01
	ชั่วโมงที่ 12	**0.42 ± 0.00^{i}**	**2.04 ± 0.06^{b}**	**14.93 ± 2.12^{cd}**
5	➢	0.34 ± 0.00	1.91 ± 0.01	11.63 ± 0.01
	ชั่วโมงที่ 15	**0.35 ± 0.00^{g}**	**3.62 ± 0.27^{e}**	**15.08 ± 0.04^{cd}**
6	➢	0.22 ± 0.005	1.71 ± 0.29	13.29 ± 0.85
	ชั่วโมงที่ 18	**0.30 ± 0.005^{c}**	**2.66 ± 0.26^{cd}**	**16.31 ± 0.01^{de}**
7	➢	0.26 ± 0.00	1.9 ± 0.00	14.56 ± 0.02
	ชั่วโมงที่ 21	0.32 ± 0.003^{f}	2.38 ± 0.12^{bc}	17.77 ± 0.18^{e}
8	➢	0.25 ± 0.00	1.51 ± 0.01	15.64 ± 0.32
	ชั่วโมงที่ 24	**0.31 ± 0.00^{e}**	**2.77 ± 0.13^{cd}**	**17.84 ± 0.37^{e}**
9	➢	0.26 ± 0.00	2.10 ± 0.00	16.04 ± 0.66
	ชั่วโมงที่ 27	**0.31 ± 0.00^{d}**	**2.86 ± 0.01^{d}**	**19.38 ± 0.11^{f}**
10	➢	0.25 ± 0.00	1.53 ± 0.00	17.66 ± 0.34
	ชั่วโมงที่ 30	**0.32 ± 0.00^{f}**	**3.89 ± 0.38^{e}**	**20.88 ± 0.10^{g}**

* Mean value ± standard deviation (SD).

$^{a-j}$ Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$)

➢ หลังจากเติมน้ำมัน

ตารางที่10 ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine ของน้ำมันทอดไก่ที่นำกลับมาใช้ซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน (ร้านที่ 2)

วันที่ทอด	เวลาที่ทอด (ชั่วโมง)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%palmitic acid/g fat)*	ค่าเพอร์ออกไซด์ (mg O_2/kg fat)*	ค่า *p*-anisidine *
1	0	0.072 ± 0.00^{a}	1.04 ± 0.13^{a}	1.49 ± 0.03^{a}
	ชั่วโมงที่ 6	**0.25 ± 0.00^{c}**	**5.78 ± 0.12^{b}**	**13.05 ± 1.09^{b}**
2	>	0.11 ± 0.00	3.54 ± 0.15	5.33 ± 0.22
	ชั่วโมงที่ 12	**0.23 ± 0.00^{b}**	**6.66 ± 0.006^{c}**	**17.89 ± 0.75^{c}**
3	>	0.16 ± 0.00	4.21 ± 0.10	11.46 ± 0.50
	ชั่วโมงที่ 18	**0.28 ± 0.01^{c}**	**9.80 ± 0.60^{d}**	**21.69 ± 0.27^{d}**
4	>	0.16 ± 0.05	6.87 ± 0.01	16.28 ± 0.36
	ชั่วโมงที่ 24	**0.27 ± 0.00^{d}**	**11.16 ± 0.15^{e}**	**27.83 ± 0.61^{e}**
5	>	0.20 ± 0.03	5.13 ± 0.07	12.26 ± 0.25
	ชั่วโมงที่ 30	**0.32 ± 0.00^{f}**	**10.86 ± 0.11^{e}**	**30.52 ± 0.06^{f}**
6	>	0.27 ± 0.005	4.84 ± 0.22	9.79 ± 1.64
	ชั่วโมงที่ 36	**0.33 ± 0.005^{f}**	**9.53 ± 0.49^{d}**	**34.16 ± 0.6^{g}**
7	>	0.22 ± 0.00	6.02 ± 0.12	15.07 ± 0.39
	ชั่วโมงที่ 42	**0.35 ± 0.009^{g}**	**11.65 ± 0.09^{f}**	**37.42 ± 0.85^{h}**
8	>	0.21 ± 0.005	4.10 ± 0.13	17.55 ± 1.61
	ชั่วโมงที่ 48	**0.35 ± 0.00^{g}**	**11.58 ± 0.14^{f}**	**40.24 ± 1.06^{i}**
9	>	0.22 ± 0.004	4.31 ± 0.11	17.87 ± 0.94
	ชั่วโมงที่ 54	**0.42 ± 0.00^{h}**	**12.09 ± 0.07^{g}**	**43.04 ± 0.24^{j}**

* Mean value ± standard deviation (SD).

$^{a-h}$Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$)

> หลังจากเติมน้ำมัน

ตารางที่11 ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine ของน้ำมันทอดไก่ที่นำกลับมาใช้ซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน (ร้านที่ 3)

วันที่ทอด	เวลาที่ทอด (ชั่วโมง)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%palmitic acid/g fat)*	ค่าเพอร์ออกไซด์ (mg O_2/kg fat)*	ค่า *p*-anisidine *
1	0	0.22 ± 0.01^{a}	2.77 ± 0.12^{a}	0.95 ± 0.16^{a}
	ชั่วโมงที่ 3	**1.19 ± 0.03^{b}**	**4.28 ± 0.84^{b}**	**31.85 ± 0.90^{b}**
2	➢	1.24 ± 0.00	3.84 ± 0.64	21.68 ± 1.17
	ชั่วโมงที่ 6	**1.73 ± 0.12^{c}**	**4.91 ± 0.24^{b}**	**36.70 ± 0.84^{d}**
3	➢	1.26 ± 0.05	4.75 ± 0.23	21.12 ± 1.20
	ชั่วโมงที่ 9	**1.87 ± 0.03^{c}**	**5.21 ± 0.50^{b}**	**38.31 ± 0.62^{e}**
4	➢	1.63 ± 0.15	3.15 ± 0.43	20.75 ± 0.60
	ชั่วโมงที่ 12	**2.37 ± 0.23^{de}**	**4.42 ± 0.55^{b}**	**41.17 ± 1.01^{f}**
5	➢	1.92 ± 0.31	4.29 ± 0.44	20.94 ± 0.71
	ชั่วโมงที่ 15	**2.22 ± 0.09^{d}**	**4.36 ± 0.34^{b}**	**34.67 ± 0.85^{c}**
6	➢	2.11 ± 0.19	3.78 ± 0.52	21.97 ± 0.14
	ชั่วโมงที่ 18	**2.60 ± 0.10^{f}**	**4.48 ± 0.24^{b}**	**33.18 ± 0.84^{b}**
7	➢	2.02 ± 0.12	3.88 ± 0.12	20.88 ± 0.54
	ชั่วโมงที่ 21	**2.44 ± 0.12^{ef}**	**2.44 ± 0.12^{b}**	**32.82 ± 0.26^{b}**

* Mean value ± standard deviation (SD).

$^{a-f}$ Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$)

➢ หลังจากเติมน้ำมัน

ตารางที่12 ค่าสี และความหนืดของน้ำมันทอดไก่ เมื่อใช้น้ำมันทอดซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน (ร้านที่ 1)

วันที่ทอด	ค่าสี*			ค่าความหนืด*
	L*	a*	b*	(cps)
0	97.34 ± 0.01^{d}	-7.09 ± 0.00^{a}	41.76 ± 0.01^{a}	69.20 ± 0.00^{b}
1	82.16 ± 5.99^{cd}	-0.02 ± 1.43^{a}	65.98 ± 1.81^{a}	68.15 ± 0.19^{de}
2	87.16 ± 0.35^{d}	0.05 ± 0.05^{a}	69.01 ± 0.19^{ab}	65.55 ± 0.28^{dc}
3	62.87 ± 13.77^{a}	10.20 ± 1.00^{ef}	71.86 ± 10.0^{abc}	64.56 ± 0.44^{c}
4	77.65 ± 1.60^{abcd}	9.73 ± 0.06^{ef}	81.54 ± 1.25^{d}	66.38 ± 0.56^{e}
5	65.41 ± 5.20^{ab}	12.62 ± 0.50^{g}	74.89 ± 3.33^{abcd}	65.27 ± 0.59^{cd}
6	76.02 ± 0.42^{abcd}	10.69 ± 0.035^{f}	79.47 ± 0.18^{cd}	65.07 ± 0.45^{cd}
7	74.28 ± 4.92^{abcd}	10.78 ± 0.58^{f}	78.61 ± 3.05^{bcd}	53.10 ± 0.14^{a}
8	66.95 ± 8.83^{abc}	8.34 ± 1.27^{de}	69.70 ± 4.84^{abc}	65.50 ± 0.17^{de}
9	78.61 ± 0.48^{bcd}	7.18 ± 0.07^{cd}	76.74 ± 0.24^{bcd}	63.55 ± 0.47^{b}
10	81.73 ± 2.84^{cd}	4.90 ± 0.52^{b}	75.27 ± 1.46^{abcd}	63.33 ± 0.40^{b}

* Mean value ± standard deviation (SD).

$^{a-f}$ Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$)

ตารางที่13 ค่าสี และความหนืดของน้ำมันทอดไก่ เมื่อใช้น้ำมันทอดซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน (ร้านที่ 2)

วันที่ทอด	ค่าสี*			ค่าความหนืด*
	L*	a*	b*	(cps)
0	95.13 ± 0.17^{g}	-7.09 ± 0.00^{a}	47.47 ± 2.91^{bc}	67.54 ± 0.31^{a}
1	74.00 ± 0.22^{f}	14.91 ± 0.18^{b}	82.84 ± 0.11^{ef}	69.62 ± 0.44^{ab}
2	60.99 ± 2.76^{e}	24.42 ± 1.46^{c}	85.95 ± 2.13^{f}	70.51 ± 0.84^{b}
3	44.36 ± 4.19^{d}	24.64 ± 3.08^{c}	72.20 ± 6.11^{e}	71.16 ± 0.33^{bc}
4	35.54 ± 1.62^{c}	25.26 ± 0.29^{c}	36.09 ± 2.17^{b}	71.31 ± 0.47^{bc}
5	34.76 ± 3.87^{c}	29.87 ± 1.26^{d}	58.53 ± 6.41^{cd}	73.63 ± 0.38^{cd}
6	30.37 ± 4.86^{c}	29.98 ± 2.13^{d}	51.25 ± 8.01^{cd}	73.72 ± 1.07^{cd}
7	21.96 ± 2.06^{b}	31.33 ± 0.85^{d}	23.75 ± 9.02^{a}	74.39 ± 3.16^{de}
8	21.24 ± 1.22^{b}	33.02 ± 1.69^{d}	60.29 ± 6.73^{d}	76.78 ± 0.21^{e}
9	13.82 ± 5.37^{a}	36.58 ± 0.37^{e}	37.41 ± 3.39^{b}	80.93 ± 0.07^{f}

* Mean value ± standard deviation (SD).

$^{a-g}$ Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$)

ตารางที่14 ค่าสี และความหนืดของน้ำมันทอดไก่เมื่อใช้น้ำมันทอดซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน (ร้านที่ 3)

วันที่ทอด	ค่าสี*			ค่าความหนืด* (cps)
	L*	a*	b*	
0	97.34 ± 0.01^{n}	-7.09 ± 0.00^{a}	41.76 ± 0.01^{a}	69.20 ± 0.0004^{a}
1	75.45 ± 0.02^{l}	19.75 ± 0.04^{c}	94.91 ± 0.09^{h}	71.80 ± 0.0003^{b}
2	64.70 ± 0.01^{i}	32.60 ± 0.02^{f}	99.65 ± 0.09^{n}	72.80 ± 0.0003^{d}
3	59.15 ± 0.03^{f}	37.08 ± 0.02^{i}	95.58 ± 0.11^{j}	72.30 ± 0.0003^{c}
4	54.27 ± 0.01^{d}	41.73 ± 0.02^{k}	90.28 ± 0.11^{f}	73.50 ± 0.0003^{e}
5	52.19 ± 0.01^{c}	42.89 ± 0.02^{l}	87.46 ± 0.04^{e}	73.70 ± 0.0002^{e}
6	45.01 ± 0.02^{b}	45.16 ± 0.01^{n}	76.38 ± 0.10^{c}	73.70 ± 0.0002^{e}
7	37.80 ± 0.01^{a}	44.06 ± 0.01^{m}	64.59 ± 0.18^{b}	74.40 ± 0.0002^{f}

* Mean value ± standard deviation (SD).

$^{a-l}$ Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$)

3.2 กรณีศึกษาปาท่องโก๋

3.2.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการทอดต่อคุณภาพของน้ำมันทอดและปาท่องโก๋

จากตารางที่ 15 เห็นได้ว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ศึกษาการทอดปาท่องโก๋ครั้งนี้ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดอย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ทอดเป็นเวลาสั้นและอุณหภูมิที่ใช้ไม่สูงมาก อย่างไรก็ดีจากภาพที่13 เห็นได้ว่าทั้งอุณหภูมิและเวลามีผลต่อลักษณะปรากฏด้านสีอย่างชัดเจน ในการทดลองนี้จึงพิจารณาเลือกสภาวะการทอดปาท่องโก๋ที่อุณหภูมิ 170°C เวลา 5 นาทีในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 15 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดปาท่องโก๋ที่อุณหภูมิและเวลาทอดต่างๆ

ร้านที่	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที) 3	5	7
1	160	0.10 ± 0.00^{aA}	0.12 ± 0.05^{aA}	0.09 ± 0.00^{aA}
	170	0.21 ± 0.09^{abA}	0.22 ± 0.12^{aA}	0.23 ± 0.05^{aA}
	180	0.22 ± 0.04^{bA}	0.22 ± 0.05^{aA}	0.20 ± 0.12^{aA}
2	160	0.24 ± 0.04^{aA}	0.26 ± 0.06^{aA}	0.32 ± 0.02^{aA}
	170	0.26 ± 0.04^{aA}	0.27 ± 0.05^{aA}	0.36 ± 0.05^{aB}
	180	0.33 ± 0.09^{aA}	0.25 ± 0.02^{aA}	0.35 ± 0.03^{aA}
3	160	0.20 ± 0.00^{aA}	0.21 ± 0.02^{aA}	0.22 ± 0.06^{aA}
	170	0.25 ± 0.02^{bA}	0.25 ± 0.02^{bA}	0.27 ± 0.02^{abA}
	180	0.34 ± 0.02^{cA}	0.30 ± 0.02^{cA}	0.33 ± 0.02^{bA}

* Mean value ± standard deviation (SD).

$^{a-c}$ Means in a column of each retailer followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$).

$^{A-B}$ Means in the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

(a)

(b)

(c)

ภาพที่ 13 ลักษณะปรากฏของปาท่องโก๋ที่ทอดที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ

(a) อุณหภูมิ 160°C เวลา 3 5 และ 7 นาที (จากซ้ายไปขวา)

(b) อุณหภูมิ 170°C เวลา 3 5 และ 7 นาที (จากซ้ายไปขวา)

(c) อุณหภูมิ 180°C เวลา 3 5 และ 7 นาที (จากซ้ายไปขวา)

ตารางที่ 16 ค่าสีปาท่องโก๋ของร้านที่ 1 2 และ 3 ที่เวลาและอุณหภูมิการทอดต่างๆ

ร้าน	อุณหภูมิที่ทอด (°C)	เวลา (นาที)	ค่าสี		
			L*	a*	b*
ร้าน 1	160	3	57.98 ± 1.19^{d}	2.50 ± 0.48^{a}	19.98 ± 0.97^{a}
		5	49.36 ± 2.48^{bc}	8.70 ± 0.18^{b}	29.03 ± 1.39^{b}
		7	41.96 ± 1.75^{a}	10.70 ± 0.62^{c}	33.34 ± 2.14^{c}
	170	3	56.60 ± 3.71^{d}	2.77 ± 0.38^{a}	21.16 ± 1.37^{a}
		5	48.57 ± 1.51^{bc}	8.81 ± 1.17^{b}	27.91 ± 0.41^{b}
		7	40.61 ± 2.12^{a}	11.93 ± 0.52^{d}	28.88 ± 0.46^{b}
	180	3	51.29 ± 0.41^{c}	3.22 ± 0.41^{a}	22.04 ± 1.06^{a}
		5	45.96 ± 1.80^{b}	8.22 ± 0.86^{b}	27.14 ± 1.28^{b}
		7	40.28 ± 0.51^{a}	13.60 ± 0.56^{e}	35.46 ± 2.36^{c}
ร้าน 2	160	3	55.78 ± 3.26^{e}	2.49 ± 1.81^{a}	20.10 ± 3.20^{b}
		5	48.46 ± 0.18^{c}	9.56 ± 2.52^{bc}	28.00 ± 3.11^{c}
		7	44.50 ± 1.63^{b}	44.50 ± 1.63^{d}	12.80 ± 0.67^{a}
	170	3	57.27 ± 1.52^{e}	2.35 ± 1.12^{a}	21.32 ± 1.22^{b}
		5	49.37 ± 1.18^{cd}	9.23 ± 1.22^{bc}	28.36 ± 0.91^{c}
		7	39.94 ± 0.64^{a}	11.26 ± 1.51^{c}	25.01 ± 1.94^{c}
	180	3	58.39 ± 0.74^{e}	2.52 ± 0.89^{a}	21.04 ± 2.30^{b}
		5	51.69 ± 2.54^{d}	7.55 ± 1.17^{b}	27.14 ± 1.28^{c}
		7	42.62 ± 1.24^{ab}	12.13 ± 3.10^{c}	26.80 ± 1.06^{c}
ร้าน 3	160	3	54.28 ± 0.55^{d}	3.39 ± 1.10^{a}	16.17 ± 0.50^{a}
		5	47.62 ± 0.87^{c}	9.49 ± 0.29^{c}	18.90 ± 1.92^{ab}
		7	43.73 ± 1.58^{b}	13.54 ± 1.17^{e}	27.13 ± 3.35^{d}
	170	3	54.68 ± 1.68^{d}	2.13 ± 0.67^{a}	22.62 ± 0.40^{c}
		5	48.97 ± 0.74^{c}	7.23 ± 0.20^{b}	27.00 ± 0.48^{d}
		7	39.42 ± 1.24^{a}	11.42 ± 1.56^{d}	28.70 ± 0.86^{d}

ตารางที่ 16 (ต่อ) ค่าสีปาท่องโก๋ของร้านที่ 1 2 และ 3 ที่เวลาและอุณหภูมิการทอดต่างๆ

ร้าน	อุณหภูมิที่ทอด (°C)	เวลา (นาที)	ค่าสี		
			L*	a*	b*
ร้าน3	180	3	58.46 ± 2.17^{d}	2.52 ± 0.16^{a}	21.21 ± 2.60^{bc}
		5	50.06 ± 3.34^{c}	7.89 ± 0.34^{b}	27.20 ± 1.26^{d}
		7	41.69 ± 2.41^{ab}	14.13 ± 0.70^{c}	27.37 ± 1.60^{d}

* Mean value ± standard deviation (SD).

$^{a-c}$ Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$).

3.2.2 ศึกษาผลของอัตราส่วนปริมาณน้ำมันต่อแป้งต่อคุณภาพของน้ำมันและปาท่องโก๋

ตารางที่ 17 พบว่าปริมาณน้ำมันและแป้งในอัตราส่วนต่างๆ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดไขมันอิสระ รวมถึงไม่มีผลต่อค่าสี(ตารางที่18)ของปาท่องโก๋ด้วย

ตารางที่ 17 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันทอดปาท่องโก๋ที่อุณหภูมิ 170 °C เวลา 5 นาทีเมื่อใช้ปริมาณน้ำมันและแป้งใน อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนของน้ำมัน: แป้ง	ปริมาณกรดไขมันอิสระ		
	ร้านที่ 1	ร้านที่ 2	ร้านที่ 3
16 : 0.5	0.14 ± 0.039^{a}	0.20 ± 0.041^{a}	0.20 ± 0.041^{a}
16 : 1.0	0.14 ± 0.037^{a}	0.21 ± 0.020^{a}	0.17 ± 0.020^{a}
16 : 1.5	0.13 ± 0.012^{a}	0.18 ± 0.007^{a}	0.19 ± 0.053^{a}

* Mean value ± standard deviation (SD).

^{a} Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$).

ตารางที่18 ค่าสีของปาท่องโก๋ที่อุณหภูมิน้ำมันทอด 170 °C เวลา 5 นาทีเมื่อใช้ปริมาณน้ำมันและแป้งในอัตราส่วนต่างๆ กัน

ร้านที่	อัตราส่วนของน้ำมัน: แป้ง	ค่าสี		
		L*	a*	b*
1	16 : 0.5	12.49 ± 0.79[a]	-1.65 ± 0.06[a]	5.27 ± 0.14[a]
	16 : 1.0	12.67 ± 0.29[a]	-1.81 ± 0.18[a]	5.46 ± 0.35[ab]
	16 : 1.5	12.94 ± 0.19[a]	-1.29 ± 0.16[b]	5.89 ± 0.13[b]
2	16 : 0.5	11.20± 1.12[a]	-1.68 ± 0.21[a]	5.36 ± 0.09[a]
	16 : 1.0	11.66 ± 1.43[a]	-1.81 ± 0.19[a]	5.23 ± 0.52[a]
	16 : 1.5	12.19 ± 0.08[a]	-1.69 ± 0.07[a]	5.67 ± 0.14[a]
3	16 : 0.5	11.53± 0.20[a]	-1.50 ± 0.13[a]	4.75 ± 0.34[a]
	16 : 1.0	11.68 ± 0.09[a]	-1.71 ± 0.12[a]	5.54 ± 0.78[a]
	16 : 1.5	12.51 ± 0.04[b]	-1.72 ± 0.11[a]	5.52 ± 0.09[a]

* Mean value ± standard deviation (SD).

[a-b] Means in a column followed by different subscripts are significantly different(p <0.05).

3.2.3 ผลของระยะเวลาการใช้งานน้ำมันทอดต่อคุณภาพของน้ำมัน

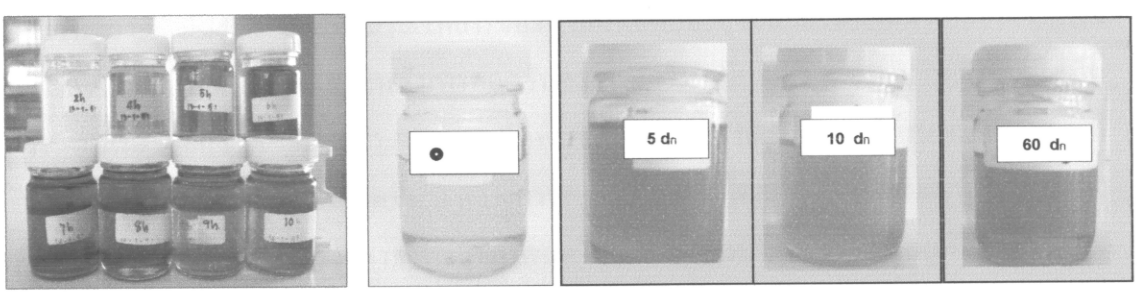
ผลการใช้น้ำมันทอดปาท่องโก๋ที่อุณหภูมิ 170 °C ครั้งละ 5 นาทีต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 19 พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ ค่า p-anisidine และปริมาณโพลาร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการใช้งาน และหลังการใช้งานที่ 10 ชั่วโมงปริมาณโพลาร์มีค่า 19.6 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนด ส่วนค่าสีและความหนืด(ตารางที่ 20)เห็นได้ว่าค่า L* ลดลง(มากกว่า 50%) ค่า a* และ b* รวมถึงความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการใช้งานน้ำมัน โดยค่าความหนืดเพิ่มขึ้นประมาณ 13 %ของน้ำมันเริ่มต้น และลักษณะปรากฏของน้ำมันก่อนและหลังการทอดปาท่องโก๋แสดงดังภาพที่ 14 นอกจากนี้พบว่าปริมาณไขมันในปาท่องโก๋เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการใช้งานของน้ำมันเช่นกัน(ตารางที่ 19)ซึ่งหลังการใช้งานน้ำมันทอดที่ 10 ชั่วโมง ปาท่องโก๋มีปริมาณไขมันอยู่ประมาณ 35%

ตารางที่19 ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ ค่า *p*-anisidine ค่าโพลาร์ของน้ำมัน และปริมาณไขมันในปาท่องโก๋ เมื่อทอดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง

เวลาการใช้งาน (ชั่วโมง)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%palmitic acid)*	ค่าเพอร์ออกไซด์ (mg O_2/kg fat)*	ค่า *p*-anisidine *	ปริมาณโพลาร์ (%w/w)	%ไขมันในปาท่องโก๋
0	0.07 ± 0.00^{a}	1.04 ± 0.13^{a}	1.49 ± 0.03^{a}	4.34 ± 0.14^{a}	-
2	0.15 ± 0.002^{a}	1.27 ± 0.19^{e}	7.25 ± 0.53^{a}	-	27.63 ± 0.26^{a}
4	0.24 ± 0.033^{b}	5.51 ± 0.21^{c}	13.62 ± 1.46^{b}	-	-
5	0.28 ± 0.002^{c}	6.21 ± 0.14^{d}	15.08 ± 0.59^{b}	-	-
6	0.34 ± 0.032^{d}	6.32 ± 0.17^{a}	15.29 ± 1.19^{bc}	-	29.13 ± 0.22^{b}
7	0.33 ± 0.008^{d}	6.57 ± 0.08^{b}	17.06 ± 0.10^{b}	13.22 ± 0.14^{b}	-
8	0.34 ± 0.033^{de}	13.02 ± 0.23^{f}	17.27 ± 0.70^{c}	14.53 ± 0.26^{c}	34.35 ± 0.23^{c}
9	0.37 ± 0.052^{ef}	13.08 ± 0.43^{g}	22.83 ± 1.56^{d}	16.67 ± 0.49^{d}	-
10	0.38 ± 0.001^{f}	13.24 ± 0.29^{f}	27.19 ± 1.02^{e}	19.60 ± 0.35^{e}	35.25 ± 0.42^{d}

* Mean value ± standard deviation (SD).

$^{a-g}$ Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$)



(a) (b) (c) (d) (e)

ภาพที่ 14 ลักษณะปรากฏของน้ำมันก่อนและหลังการทอดปาท่องโก๋ที่ระยะเวลาต่างๆ

(a) น้ำมันหลังทอด ติดต่อกันเป็นเวลา2,3,4,6,7,8,9,10ชั่วโมง(จากซ้ายไปขวา)

(b) น้ำมันเริ่มต้นก่อนทอด

(c) น้ำมันหลังทอด วันละ3 ชั่วโมงเป็นเวลา 5 วัน โดยไม่มีการเติมน้ำมันเพิ่มใหม่

(d) น้ำมันหลังทอด วันละ3 ชั่วโมงเป็นเวลา 10 วัน โดยมีการเติมน้ำมันเพิ่มใหม่

(e) น้ำมันหลังทอด วันละ3 ชั่วโมงเป็นเวลา 60 วัน โดยมีการเติมน้ำมันเพิ่มใหม่

ตารางที่20 ค่าสีและความหนืดของน้ำมัน เมื่อใช้ทอดปาท่องโก๋ครั้งละ 5 นาที ต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง

เวลาการใช้งาน (ชั่วโมง)	ค่าสี			ความหนืด (cps)
	L*	a*	b*	
0	84.75 ± 0.05[g]	0.99 ± 0.06[a]	63.58 ± 0.2[c]	67.17 ± 0.30[a]
2	78.31 ± 0.41[f]	20.5 ± 0.02[b]	52.07 ± 0.02[a]	
4	59.96 ± 8.66[e]	23.86 ± 8.02[c]	80.65 ± 0.25[e]	70.06 ± 1.35[ab]
5	48.72 ± 1.08[d]	33.03 ± 0.09[d]	78.73 ± 1.43[e]	
6	46.99 ± 0.07[d]	37.46 ± 1.28[dc]	56.22 ± 6.90[b]	71.37 ± 0.02[b]
7	45.96 ± 1.79[cd]	38.92 ± 0.01[d]	64.18 ± 0.02[c]	
8	41.40 ± 0.13[bc]	39.80 ± 0.02[e]	69.88 ± 0.24[d]	74.67 ± 1.41[c]
9	37.88 ± 0.01[b]	38.04 ± 0.02[de]	78.29 ± 0.12[e]	
10	30.50 ± 0.21[a]	42.62 ± 1.24[e]	80.59 ± 0.53[e]	75.78 ± 1.50[c]

* Mean value ± standard deviation (SD).

[a–f] Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$)

3.2.4 ผลของการนำน้ำมันกลับมาใช้ทอดซ้ำต่อคุณภาพของน้ำมันทอดปาท่องโก๋

3.2.4.1 นำน้ำมันเดิมมาใช้ทอดซ้ำเป็นเวลา 5 วัน

ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 21 พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ ค่า*p*-anisidine และปริมาณโพลาร์ของน้ำมันทอดมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อจำนวนครั้งและจำนวนวันที่ทอดเพิ่มขึ้น และหลังการทอดวันละ 3 ชั่วโมงเป็นเวลา 5 วัน ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า*p*-anisidine เพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่าของน้ำมันเริ่มต้น ขณะที่ปริมาณโพลาร์คิดเป็นปริมาณที่เกิดขึ้นระหว่างการทอดถึง 20 % โดยค่าที่วัดได้ประมาณ 24 % ซึ่งใกล้เคียงกับค่าสูงสุดที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนดไว้ ส่วนสีของน้ำมันทอดปรากฏดังภาพ 14(c)

3.2.4.2 เติมน้ำมันใหม่ทุกวันในสัดส่วน น้ำมันใหม่ : น้ำมันเดิม 1:2

ตารางที่ 22 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine ของน้ำมันทอดปาท่องโก๋ที่นำกลับมาใช้ซ้ำ โดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน เห็นได้ว่าปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และ ค่า *p*-anisidine มีค่าลดลงหลังการเติมน้ำมัน และมีค่าเพิ่มขึ้นหลังสิ้นสุดการใช้งานในแต่ละวัน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันเป็นไปอย่างช้าๆ เมื่อจำนวนวันของการทอดเพิ่มขึ้น ส่วนการเติมน้ำมันใหม่โดยมีการเติมระหว่างวันด้วย คือ หลังจากเริ่มใช้งาน

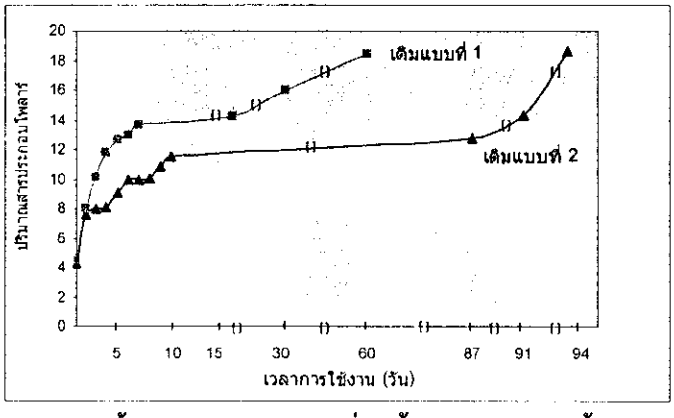
ของแต่ละวันไปแล้วประมาณ1.5 ชั่วโมงเติมน้ำมันใหม่ในสัดส่วนน้ำมันเดิม:น้ำมันใหม่ 9:1 เพื่อให้มีปริมาณน้ำมันใกล้เคียงกับน้ำมันเริ่มต้น เมื่อสิ้นสุดการใช้งาน(3 ชั่วโมง) กรองน้ำมันเก็บไว้แล้วเติมน้ำมันใหม่อีกก่อนการใช้งานของวันใหม่ในสัดส่วนน้ำมันเดิม:น้ำมันใหม่ ประมาณ2 :1เพื่อให้มีปริมาณน้ำมันใกล้เคียงกับน้ำมันเริ่มต้น พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำมันเช่นเดียวกับการเติมน้ำมันใหม่ทุกวันก่อนใช้งานเพียงอย่างเดียว แต่จะเกิดด้วยอัตราที่ต่ำกว่า นอกจากนี้อัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพลาร์ของน้ำมันทอดซ้ำที่มีการเติมน้ำมันระหว่างวันร่วมด้วยนั้นก็ต่ำกว่าเช่นกัน (ภาพที่15) อย่างไรก็ดีทั้งสองกรณีตรวจพบค่าโพลาร์ไม่ถึง 20% เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาที่ทำการศึกษาครั้งนี้

ตารางที่21 ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ ค่า *p*-anisidineและค่าโพลาร์ของน้ำมันทอดวันละ 3 ชั่วโมงเป็นเวลา 5 วัน

เวลาใช้งาน (วัน)	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%palmitic acid)*	ค่าเพอร์ออกไซด์ (mg O_2/kg fat)*	ค่า *p*-anisidine *	ปริมาณโพลาร์ (%w/w)
0	0.07 ± 0.00^{a}	1.04 ± 0.13^{a}	1.49 ± 0.03^{a}	4.34 ± 0.14^{a}
1	0.33 ± 0.02^{b}	5.09 ± 0.28^{b}	10.80 ± 0.13^{a}	7.28 ± 0.21^{b}
2	0.36 ± 0.00^{b}	5.65 ± 0.25^{bc}	14.84 ± 0.24^{b}	11.19 ± 0.31^{c}
3	0.55 ± 0.01^{c}	6.41 ± 0.26^{c}	15.47 ± 0.12^{c}	15.94 ± 1.01^{d}
4	0.67 ± 0.01^{d}	7.87 ± 0.22^{d}	17.24 ± 0.01^{c}	18.29 ± 0.65^{e}
5	0.74 ± 0.01^{e}	9.29 ± 0.20^{e}	22.41 ± 0.07^{d}	24.25 ± 0.42^{f}

* Mean value ± standard deviation (SD).

$^{a-e}$ Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($P < 0.05$)



ภาพที่ 15 ปริมาณโพลาร์ของน้ำมันทอดปาท่องโก๋ที่ใช้ซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่

แบบที่ 1 เติมน้ำมันก่อนการใช้งานใหม่ของทุกวัน

แบบที่ 2 เติมน้ำมันใหม่ระหว่างวันและเติมเพิ่มใหม่อีกก่อนการใช้งานใหม่ของทุกวัน

ตารางที่22 ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine ของน้ำมันทอดซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวัน

วันที่ทอด	ตัวอย่างน้ำมัน	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%palmitic acid)*	ค่าเพอร์ออกไซด์ (mg O_2/kg fat)*	ค่า *p*-anisidine *
1	เริ่มต้น	**0.07 ± 0.00^{a}**	**1.24 ± 1.33^{a}**	**1.24 ± 0.31^{a}**
	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.15 ± 0.005^{b}**	**7.88 ± 0.25^{b}**	**12.34 ± 0.79^{b}**
2	หลังเติมน้ำมันใหม่	0.16 ± 0.004	9.83 ± 0.37	1.17 ± 0.21
	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.19 ± 0.00^{c}**	**9.90 ± 0.09^{c}**	**13.36 ± 0.98^{cd}**
3	หลังเติมน้ำมันใหม่	0.17 ± 0.05	7.91 ± 0.11	9.11 ± 0.24
	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.20 ± 0.002^{d}**	**10.10 ± 0.01^{c}**	**14.05 ± 0.72^{d}**
4	หลังเติมน้ำมันใหม่	0.17 ± 0.005	7.66 ± 0.05	11.07 ± 0.006
	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.26 ± 0.00^{e}**	**10.86 ± 0.11^{d}**	**14.96 ± 0.01^{d}**
5	หลังเติมน้ำมันใหม่	0.22 ± 0.006	7.87 ± 0.26	22.41 ± 2.71
	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.29 ± 0.001^{f}**	**11.08 ± 0.003^{d}**	**15.36 ± 0.89^{d}**
6	หลังเติมน้ำมันใหม่	0.24 ± 0.00	9.29 ± 0.125	5.95 ± 1.38
	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.31 ± 0.005^{g}**	**12.18 ± 0.25^{e}**	**19.18 ± 0.31^{e}**
17	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.42 ± 0.007^{j}**	**12.56 ± 0.15^{e}**	**20.06 ± 0.02^{e}**
30	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.33 ± 0.005^{h}**	**15.35 ± 0.02^{f}**	**25.56 ± 0.19^{f}**
60	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.36 ± 0.01^{i}**	**18.89 ± 0.31^{g}**	**40.27 ± 0.61^{g}**

* Mean value ± standard deviation (SD).

$^{a\ j}$ Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p < 0.05$)

ตารางที่23 ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ และค่า *p*-anisidine ของน้ำมันทอดซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ระหว่างวันและเมื่อเริ่มวันใหม่ทุกวัน

วันที่ทอด	ตัวอย่างน้ำมัน	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%palmitic acid)*	ค่าเพอร์ออกไซด์ (mg O_2/kg fat)*	ค่า *p*-anisidine *
1	เริ่มต้น	**0.13 ± 0.00^{a}**	**1.03 ± 0.09^{a}**	**1.28 ± 0.19^{a}**
	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.17 ± 0.01^{b}**	**6.85 ± 0.49^{b}**	**4.45 ± 0.72^{b}**
2	หลังเติมน้ำมันใหม่	0.16 ± 0.004	9.83 ± 0.37	1.17 ± 0.21
	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.20 ± 0.01^{c}**	**8.39 ± 0.17^{cd}**	**7.94 ± 0.64^{c}**
3	หลังเติมน้ำมันใหม่	0.18 ± 0.008	9.16 ± 0.54	5.01 ± 0.44
	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.28 ± 0.02^{d}**	**9.10 ± 0.52^{e}**	**6.18 ± 0.02^{bc}**
4	หลังเติมน้ำมันใหม่	0.25 ± 0.008	3.52 ± 0.40	3.82 ± 0.06
	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.31 ± 0.03^{e}**	**6.44 ± 0.70^{b}**	**5.78 ± 1.04^{bc}**
5	หลังเติมน้ำมันใหม่	0.22 ± 0.009	7.29 ± 0.01	5.58 ± 0.29
	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.31 ± 0.02^{a}**	**6.24 ± 0.39^{b}**	**14.67 ± 0.82^{e}**
6	หลังเติมน้ำมันใหม่	0.26 ± 0.018	8.44 ± 0.22	10.40 ± 0.14
	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.36 ± 0.00^{fg}**	**7.83 ± 0.21^{c}**	**13.13 ± 0.24^{de}**
7	หลังเติมน้ำมันใหม่	0.29 ± 0.003	6.02 ± 0.09	11.53 ± 0.23
	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.36 ± 0.00^{fg}**	**8.23 ± 0.15^{cd}**	**12.78 ± 0.17^{de}**
8	หลังเติมน้ำมันใหม่	0.30 ± 0.004	5.73 ± 0.11	13.80 ± 0.31
	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.30 ± 0.01^{de}**	**6.44 ± 0.06^{b}**	**15.12 ± 0.75^{e}**
9	หลังเติมน้ำมันใหม่	0.32 ± 0.008	6.77 ± 0.09	10.73 ± 0.21
	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.31 ± 0.00^{e}**	**6.77 ± 0.00^{b}**	**11.89 ± 0.38^{d}**
90	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.52 ± 0.007^{j}**	**11.56 ± 0.20^{t}**	**48.86 ± 2.19^{h}**
94	สิ้นสุดการใช้งาน	**0.38 ± 0.005^{g}**	**12.48 ± 0.29^{h}**	**72.75 ± 0.23^{k}**

* Mean value ± standard deviation (SD).

$^{a-k}$ Means in a column followed by different subscripts are significantly different ($p< 0.05$)

4. ผลการวิเคราะห์กรดไขมันของน้ำมันก่อนทอดและน้ำมันทอดซ้ำ

ผลการวิเคราะห์กรดไขมันของน้ำมันก่อนและการทอด(ตารางที่ 24) พบว่าเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนจากการทอดมีการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมัน โดยสัดส่วน C18:2 /C16:0 ของน้ำมันทอดไก่ที่เวลาทอด 4 วันมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเริ่มต้น เนื่องจากมีผลกระทบจากน้ำมันที่เป็นองค์ประกอบในชิ้นไก่ ขณะที่สัดส่วน C18:2 /C16:0 ของน้ำมันทอดปาท่องโก๋เป็น0.17 ซึ่งมีค่าลดลงจากน้ำมันก่อนทอด(0.27) เนื่องจากการเสื่อมเสียของน้ำมันทอด ในกรณีนี้ให้ผลสอดคล้องกับการลดลงของสัดส่วน C18:2 /C16:0 ของน้ำมันทอดแผ่นมันฝรั่งที่เวลาทอด0 2 4 และ6 วันจาก 0.29 0.26 0.21 และ 0.17 ตามลำดับ (Che Man and Jaswir,2000) และพบการลดลงของสัดส่วน C18:2 /C16:0 ของน้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้ทอดแผ่นมันฝรั่งเมื่อเวลาการทอดเพิ่มขึ้นโดยที่เวลา 0 10 20 30 40 และ50 ชั่วโมงสัดส่วน C18:2 /C16:0 มีค่า 5.08 4.34 3.76 3.11 2.68 และ 2.48 ตามลำดับ (Sanibal and Mancini-Filho,2004)

ตารางที่ 24 ชนิดและปริมาณ(% area)กรดไขมันของน้ำมันก่อนทอดและหลังทอดซ้ำ

กรดไขมัน	น้ำมันเริ่มต้น	น้ำมันทอด(ไก่)ซ้ำวันที่ 4	น้ำมันทอด(ปาท่องโก๋)ซ้ำวันที่ 5
C 12:0	0.24262	0.32939	0.37154
C 14:0	0.87174	0.79685	1.00304
C 16:0	38.43158	28.40470	42.22640
C 18:0	4.20617	4.92457	4.57962
C 18:1	42.13400	41.56575	39.81072
C 18:2	10.24275	15.60594	7.12056
C 18:2 /C16:0	**0.27**	**0.55**	**0.17**

5. ผลการวิเคราะห์ปริมาณอะคริลาไมด์ในไก่ทอดและปาท่องโก๋

จากตารางที่25 ปรากฏว่าไม่พบสารอะคริลาไมด์ ในไก่ทอดที่ทุกสภาวะการทอดที่ได้ศึกษา ส่วนผลการทดลองในกรณีของปาท่องโก๋ที่ทอดที่อุณหภูมิ 170°C เป็นเวลา 5 วัน พบปริมาณอะคริลาไมด์เพิ่มขึ้นตามจำนวนวันทอด โดยมีค่าสูงสุด108 μg /Kg ซึ่งผลการทดลองทั้งสองกรณีนี้แตกต่างจากงานวิจัยของ Pedreschiและคณะ(2006) ในการทอดแท่งมันฝรั่ง พบปริมาณสารอะคริลาไมด์เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการทอดเพิ่มขึ้นจาก150°Cถึง190°C และผลการวิจัยของ Taubert และคณะ(2004) พบปริมาณอะคริลาไมด์ในแผ่นมันฝรั่งทอด >1000 μg /Kg โดยเฉพาะเมื่อทอดที่อุณหภูมิเกิน 120°C

นอกจากนี้มีรายงานการพบอะคริลาไมด์ในผลิตภัณฑ์ธัญชาติหลายชนิดได้แก่ คุกกี้ ข้าวโพดคั่วและขนมปังกรอบ แต่มีปริมาณน้อยกว่าที่พบในมันฝรั่งทอด (Murkovic,2004)

ตารางที่ 25 ปริมาณอะคริลาไมด์ในไก่ทอดและปาท่องโก๋

ตัวอย่าง	ปริมาณอะคริลาไมด์ (μg /Kg)
ไก่ทอดที่อุณหภูมิ 175 °C โดยใช้น้ำมันทอดต่อเนื่องครั้งที่ 12 (ชั่วโมงที่3) **(ร้านที่ 1)**	ไม่พบ
ไก่ทอดที่อุณหภูมิ 180 °C โดยใช้น้ำมันทอดต่อเนื่องครั้งที่ 30(ชั่วโมงที่6) **(ร้านที่ 2)**	ไม่พบ
ไก่ทอดที่อุณหภูมิ 190 °C โดยใช้น้ำมันทอดต่อเนื่องครั้งที่ 10 (ชั่วโมงที่3) **(ร้านที่ 3)**	ไม่พบ
ไก่ทอดที่อุณหภูมิ 175 °C โดยใช้น้ำมันทอดซ้ำครั้งสุดท้ายของวันที่4 **(ร้านที่ 1)**	ไม่พบ
ไก่ทอดที่อุณหภูมิ 180 °C โดยใช้น้ำมันทอดซ้ำครั้งสุดท้ายวันที่4 **(ร้านที่ 2)**	ไม่พบ
ไก่ทอดที่อุณหภูมิ 190 °C โดยใช้น้ำมันทอดซ้ำครั้งสุดท้ายวันที่4 **(ร้านที่ 3)**	ไม่พบ
ปาท่องโก๋ทอดที่อุณหภูมิ 170°C โดยใช้น้ำมันทอดต่อเนื่องชั่วโมงที่ 10	30
ปาท่องโก๋ทอดที่อุณหภูมิ 170 °C โดยใช้น้ำมันทอดครั้งสุดท้ายของวันที่3	79
ปาท่องโก๋ทอดที่อุณหภูมิ 170 °C โดยใช้น้ำมันทอดครั้งสุดท้ายของวันที่4	102
ปาท่องโก๋ทอดที่อุณหภูมิ 170 °C โดยใช้น้ำมันทอดครั้งสุดท้ายของวันที่5	108
ปาท่องโก๋ทอดที่อุณหภูมิ 175 °C โดยใช้น้ำมันทอดที่มีการเติมน้ำมันใหม่และทอดซ้ำ160 วัน	20

สรุปผลการทดลอง

สภาวะที่เหมาะสมในการทอดไก่คือ ใช้อุณหภูมิ 180 °C เวลา 15 นาที อัตราส่วนน้ำมัน : ไก่ 10:2 และสภาวะที่เหมาะสมในการทอดปาท่องโก๋คือ ใช้อุณหภูมิ 170°C เวลา 5 นาที อัตราส่วนน้ำมัน:แป้งโด 16:1.5 ส่วนระยะเวลาการใช้น้ำมันทอดพบว่าน้ำมันทอดไก่ที่ใช้งาน 9 ชั่วโมง และเวลาการใช้งานทอดปาท่องโก๋ที่ 10 ชั่วโมง ทั้งสองกรณีมีปริมาณโพลาร์ประมาณ 20 % ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ แต่สีของน้ำมันมีสีดำ (ค่า L^* ลดลง ค่า a^*และ b^* เพิ่มขึ้น) ความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้น และสีของผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีสีคล้ำ เมื่อทอดไก่โดยใช้น้ำมันเดิมทอดซ้ำใช้ได้ไม่เกิน 4 วัน และการใช้น้ำมันทอดซ้ำโดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวันสามารถใช้งานได้ถึง 8 วัน ส่วนการทอดปาท่องโก๋ โดยใช้น้ำมันเดิมทอดซ้ำใช้ได้ไม่เกิน 5 วัน และการใช้น้ำมันทอดซ้ำ โดยมีการเติมน้ำมันใหม่ทุกวันสามารถใช้งานได้มากกว่า 60 วันซึ่งปริมาณโพลาร์ของน้ำมันยังไม่เกิน 25%

สัดส่วน C18:2 /C16:0 ของน้ำมันทอดไก่ที่เวลาทอด 4 วัน มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเริ่มต้น ขณะที่สัดส่วน C18:2 /C16:0 ของน้ำมันทอดปาท่องโก๋ มีค่า 0.17 ซึ่งลดลงจากน้ำมันก่อนทอด(0.27)

ไม่พบสารอะคริลาไมด์ ในไก่ทอดที่ทุกสภาวะการทอด ส่วนในปาท่องโก๋ที่ทอดที่อุณหภูมิ 170 °C เป็นเวลา 5 วันมีอะคริลาไมด์ เพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่ทอดโดยมีค่าสูงสุด108 μg /Kg

ข้อเสนอแนะ

1. การทอดอาหารควรใช้อุณหภูมิในช่วง160-190 °C โดยต้องคิดเสมอว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดของการทอด กล่าวคือ ต้องใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมกับชนิดของอาหาร การใช้อุณหภูมิสูงมีผลให้เกิดการเสื่อมเสียของน้ำมัน ซึ่งเป็นการเสื่อมเสียแบบไม่คืนกลับและมีการสะสมของสารอันตรายที่เกิดจากปฏิกิริยาการเสื่อมเสียนั้น แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำเกินไปจะเกิดการดูดซับน้ำมันในอาหารมาก(เพราะต้องใช้เวลาทอดนานทำให้มีการสัมผัสของอาหารกับน้ำมันมาก) ส่วนเวลาที่ใช้ทอดขึ้นกับชนิด ส่วนประกอบ และขนาดชิ้นอาหารเป็นสำคัญ

2. การใช้น้ำมันทอดอาหารต่อเนื่องรอบเดียวภายในเวลาการใช้งาน 8-10 ชั่วโมง(สำหรับการทอดขนาดใหญ่)แล้วไม่ควรนำมาใช้ซ้ำ

3. ไม่ควรเติมน้ำมันใหม่ในน้ำมันทอดที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพแล้วโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเจือจางการเสื่อมเสียหรือยืดเวลาการใช้งานน้ำมันทอดซ้ำ

4. เนื่องจากสีของน้ำมันทอดแปรปรวนตามชนิดของอาหาร แต่ผู้ประกอบการส่วนใหญ่มักใช้การสังเกตสีของน้ำมันทอดเป็นเกณฑ์ตัดสินใจหยุดการใช้งานน้ำมันทอด ดังนั้นควรมีการสำรวจและวิจัยค่าสีของน้ำมันหลังทอดอาหารชนิดต่างๆที่มีการบริโภคอย่างแพร่หลาย เพื่อใช้เป็นดัชนีในการกำหนดเกณฑ์คุณภาพน้ำมันทอดด้วย

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. 2547. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 283) พ.ศ. 2547 เรื่อง กำหนดปริมาณสารโพลาร์ในน้ำมันที่ใช้ทอดหรือประกอบอาหารเพื่อจำหน่าย. ประกาศ ณ วันที่ 13 ตุลาคม พ.ศ. 2547.

Abdulkarim, S. M., Long, K., Lai, O. M., Muhammad, S. K. S., & Ghazali, H. M. (2007). Frying quality and stability of high-oleic *Moringa oleifera* seed oil in comparison with other vegetable oils. *Food Chemistry, 93*, 253–263.

A.O.A.C. 1999. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 16th ed. The Association of Official Analytical Chemists.

Balavi Natural Health Center. 2005. Dangers from Cooking Oil Reuse. (On line) Avaiable: http://www.balavi.com/eng/content_article/a000030.html[2005,July 7]

Blumenthal, M. M. 1991. A new look at the chemistry and physic of deep-fat frying. *Food Technol.* 49 : 134-137.

Carabasa, M., & Ibarz, A. (2000). Kinetics of colour development in aqueous glucose systems at high temperatures. *Journal of Food Engineering, 44*, 81–189.

Che Man, Y. B., Liu, J. L., Jamilah, B. and Rahman, R. A. 1999. Quality changes of refined-bleached–deodorized (RBD) palm olein, soybean oil and their blends during deep-fat frying. *J. Food Lipids*, 6 : 181–193.

Che Man, Y. B., and Jaswir,I. 2000. Effect of rosemary and sage extracts on frying performance of refined,bleached,and deodorized(RBD) palm olein during deep-fat frying. *Food Chem*, 69 : 301–307.

Choe, E. & Min, D. B. (2007). Chemistry of Deep-Fat Frying Oils. *Journal of Food Science, 72*, 77-86.

Danowska-Oziewicz, M. and Karpinska-Tymoszczyk, M. 2005. Quality changes in selected frying fats during heating in a model system. *J. Food Lipids*, 12 : 159-168.

Dobarganes, M.C.,Velasco, J. and Dieffenbacher, A. 2000. Determination of polar compounds,polymerized and oxidized triacylglycerols, and diacylglycerols in oils and fats. Pure Applied Chemistry. 72 : 1563-1575.

Dunford, N. 2004. Deep-fat frying basics for food services. (Online) Avaiable: http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-977/FAPC-126web.pdf[2006,October 23]

Houhoula, D. P., Oreopoulou, V. & Tzia, C. (2002). A kinetic study of oil deterioration during frying and a comparison with heating. *Journal of the American Oil Chemist Society, 79*, 133-137

IUPAC (1979). Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives. International Union of Pure and Applied Chemistry (6th ed), Paquot. Oxford, UK: Pergamon Press.

Jaswir,I., CheMan,Y.B. and Kitts,D.D. 2000. Use of natural antioxidants in refined palm olein during repeated deep-fat frying. *Food Res Inter.* 33 : 501-508.

Kassama, L. S. and Ngadi, M. O. 2004. Pore development in chicken meat during deep-fat frying. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 37 : 841–847.

Lawson, H. W. 1985. Standards for Fats and Oils. AVI Publishing Company, Inc. Westport.

Mackay, S. 2000. Techniques and Types of Fat Used in Deep-fat Frying. The Heart Foundation of New Zealand.

Mellema, M. 2003. Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Sci & Technol.* 14 : 364-373.

Murkovic, M.2004. Acrylamide in Austrian foods. *J. Biochem.Biophys.Methods.* 61 : 161-167.

Ngadi, M.,Li,Y. and Oluka, S. 2007. Quality changes in chicken nuggets fried in oils with different degrees of hydrogenation. *LWT.* 40 : 1784–1791.

Naz, S., Sheikh, H., Siddiqi, R. and Sayeed, S.A. 2004. Oxidative stability of olive, corn and soybean oil under different conditions. *Food Chem.* 88 : 253–259.

Naz, S., Sheikh, H., Siddiqi, R. and Sayeed, S.A. 2005. Deterioration of olive, corn and soybean oils due to air, light, heat and deep-frying. *Food Res Inter.* 38 : 127–134.

Paul, S., and Mittal, G. S. (1996). Dynamics of fat/oil degradation during frying based on optical properties. *Journal of Food Engineering, 19*, 201–221.

Pedreschi, F., Kaack, K., and Granby, K. 2006. Acrylamide content and color development in fried potato strips. *Food Reseach International.* 39 : 40–46.

Sanibal, E.A.A. and Mancini-Filho, J. 2004. Frying oil and fat quality measured by chemical, physical, and Test Kit analyses. *JAOCS.* 81 :847-852.

Saguy, I.S. and Dana, D. 2003. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and Consumer aspects. *J Food Eng.* 56 :143-152.

Sanchez-Gimeno, A. C., Negueruela, A. I., Benito, M., Vercet, A. & Oria, R. (2008). Some physical changes in Bajo Aragon extra virgin olive oil during the frying process. *Food Chemistry, 110,* 654-658.

Schwarcz, J. 2003. 4-Hydroxy-trans-2-Nonenal. (Online) Avaiable: http://oss.mcgill.ca/everyday/hne.pdf[2006, December .

Seppanen C. M. and Saari C. A. 2004. Incorporation of the toxic aldehyde 4-hydroxy-2-trans-nonenal into food fried in thermally oxidized soybean oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 81: 1137-1141.

Shahidi, F., and Wanasundara, U. N. (2002). *Methods for measuring oxidative rancidity in fats and oils.* (2nd ed.). New York: Marcel Dekker.

Singh, R. P. 1995. Heat and mass transfer in food during deep-fat frying. *Food Technol.* 45 : 68-71.

Sosa-Morales, M., Orzuna-Espiritu, R. and Velez-Ruiz, J. 2006. Mass, thermal and quality aspects of deep-fat frying of pork meat. *J Food Eng.* 77 : 731-738.

Taubert, D., Harlfinger, S., Henkes, L. Berkels, R., and Schomig, E. 2004. Influence of processing parameters on acrylamide formation during frying of potatoes. *J Agri.Food Chem.* 52 : 2735–2739.

ภาคผนวก

การหาค่า ปริมาณสารโพลาร์ ในน้ำมันทอด (Dobarganes *et al.*,2000)

วัสดุอุปกรณ์

1. คอลัมน์แก้ว
2. ขวดก้นกลม, บีกเกอร์, แท่งแก้วคน
3. ขวดสเปรย์, ขวดวัดปริมาตร, TLC plate20x20 cm, layer thickness = 0.25 mm

สารเคมี

1. Silica gel
2. Petroleum ether
3. Ether
4. Silica gel 60, Particle size 0.063 – 0.200 mm 70-230 mesh ASTM, Merck No. 7734
5. Sea-sand, Purified by acid
6. Molybdophosphoric acid, 10% in alcohol

การทดสอบ (เตรียม)

- เตรียม mix solvent Petroleum ether + ether (87:13)
- ละลาย silica gel ด้วย mix solvent Pack ลงคอลัมน์ สูง ~ 10 cm
- Spray reagent ชั่ง Molybdo. 2.5g ละลายด้วย ethanolปรับเป็น 25 ml

ขั้นตอนการทดลอง

เตรียมตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างน้ำมันทอด 2.5 ± 0.1 g (+0.0.001 g)

↓

ละลายตัวอย่างด้วย mixed solvent อุ่นและทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

↓

ละลายตัวอย่างและปรับปริมาตร 50ml โดย Volumetric flask

↓

ใช้ Volumetric pipette ดูดตัวอย่างมา 20 ml ปล่อย ลงคอลัมน์ที่ pack ไว้

↓

ปล่อย solventโดยใช้อัตราการไหล ~ 2.5 ml/min

↓

Fraction ที่ 1 เป็นการชะnonpolar components ด้วย mixed solvent 150 ml

ใช้เวลา ~ 60 -70 min รับ fraction ด้วยก้นกลมที่อบแห้งและชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว

Fraction ที่ 2 ส่วน polar components ชะด้วย ether 150 ml ใช้อัตราการไหลเช่นเดียวกับ (f1)

↓

ระเหย solvent โดย rotary evaporator $\leq 60^{\circ}$ C

↓

ชั่งน้ำหนักและคำนวณ

Calculation

คำนวณ polar components เป็น % w/v

$$\% \text{ polar components} = \frac{E - A}{E} \times 100$$

A = g non polar fraction , E = g sample ใน 20 ml ของสารละลายตัวอย่าง (~ 1g)