

อิทธิพลของปริมาณอะไมโลส ที่มีต่อการดูดซับน้ำมันของโดทอดแบบจุ่ม

ถิรนนท์ คุณานพรัตน์¹ สุวิช ศิริวิวัฒน์โยธิน² และศักรินทร์ ภูมิรัตน์³
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของปริมาณอะไมโลสต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันในระหว่างการทอด และระหว่างการทำเย็นของโดทอดแบบจุ่มชิ้นใหญ่ และอิทธิพลของปริมาณอะไมโลสต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม (D_{eff}) กับความแข็งของโดก่อนและหลังทอด อัตราระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินที่ทดสอบแบ่งเป็น 5 ช่วงคือ 10/90, 20/80, 40/60, 60/40 และ 80/20 โดยทอดที่อุณหภูมิ 110 °ซ จากการทดลองพบว่ากลไกการดูดซับน้ำมันของโดเกิดจากการแทนที่ความชื้น ซึ่งโดที่มีอะไมโลสสูง คือ ที่อัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทิน 40/60 และ 60/40 จะเกิดเปลือกนอก (crust) ทำให้ค่า D_{eff} และการดูดซับน้ำมันน้อยที่สุด ตามลำดับ อย่างไรก็ตามถึงแม้โดที่มีอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทิน 80/20 จะเกิดเปลือกนอก แต่โดเกิดรอยแตก มีผลทำให้ค่า D_{eff} และการดูดซับน้ำมันมากที่สุด ส่วนที่อัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทิน 10/90 และ 20/80 โดไม่เกิดเปลือกนอก ทำให้ค่า D_{eff} และการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น ตามลำดับ

คำสำคัญ : การทอดแบบจุ่ม / แบ่ง / อะไมโลส / การดูดซับน้ำมัน / การแพร่

¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์

³ รองศาสตราจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Effect of Amylose Content on Oil Uptake of Deep Fat Fried Dough

Thiranan Kunanopparat¹ Suwit Siriwattanayotin²
and Sakarindr Bhumiratana³

King Mongkut's University of Technology Thonburi. Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Abstract

The objectives of this research were to study the effect of amylose content on oil absorption during frying and cooling of starch dough, and to study the effect of amylose content on effective water diffusivity (D_{eff}) and on the strength of pre- and post-fried starch dough. Samples were fried at 110 °C. The result showed that the mechanism of oil absorption is the moisture replacement mechanism. The samples containing more amylose (the ratio of amylose and amylopectin at 40/60 and 60/40) showed that the crust was formed which increasing the resistance of moisture and oil transfer in fried starch. However, at the ratio of amylose and amylopectin at 80/20, the surface of fried starch was cracked resulting to get more oil absorption and more moisture loss. Inversely, the starch containing more amylopectin (the ratio of amylose and amylopectin at 10/90 and 20/80) did not show the crust formation and it expanded during frying. This fried starch showed the faster moisture transfer rate and more oil absorption than the starch containing more amylose.

Keywords : Deep Fat Frying / Starch / Amylose / Oil Uptake / Diffusion

¹ Graduate Student, Department of Food Engineering.

² Assistant Professor, Department of Food Engineering.

³ Associate Professor.

1. บทนำ

ปริมาณน้ำมันในอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการยอมรับอาหารทอดของผู้บริโภค เนื่องจากปัจจุบันผู้บริโภคหันมาสนใจเรื่องสุขภาพมากขึ้น ทำให้อาหารไขมันต่ำเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค การเข้าใจถึงการดูดซับน้ำมันของแป้งทอด และคุณสมบัติของแป้งต่อการดูดซับน้ำมันของอาหารทอดสามารถนำไปสู่การเลือกแป้ง, แป้งที่ใช้เคลือบหรือชุบอาหารเพื่อให้อาหารมีการดูดซับน้ำมันได้ต่ำ

กระบวนการทอดเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนมีการถ่ายเทความร้อนและมวลพร้อมๆ กัน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ มีงานวิจัยที่ตรวจสอบกลไกการดูดซับน้ำมันของอาหารและให้ข้อสังเกตไว้ [1]-[5] อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยที่ผ่านมากลไกการดูดซับน้ำมันของอาหารยังไม่ชัดเจน มีงานวิจัยหลายงานได้เสนอกลไกการดูดซับน้ำมันว่าเกิดจากการแทนที่น้ำที่สูญเสียไประหว่างการทอด [1] [6]-[8] ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่พิจารณาว่ากลไกการดูดซับน้ำมันเกิดขึ้นในช่วงระหว่างการทอด แต่มีงานวิจัยบางงานซึ่งศึกษาการดูดซับน้ำมันในตัวอย่างอาหารที่เป็นชั้นบาง เมื่อทอดจะเกิดเปลือกนอก (crust) ขึ้นทั้งชั้น พบว่ากลไกการดูดซับน้ำมันเกิดขึ้นในช่วงทำให้เย็น เช่น Gamble, Rice และ Selman [1] ทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันกับการสูญเสียความชื้นระหว่างการทอดชิ้นมันฝรั่ง (potato slice) ได้เสนอว่าน้ำมันส่วนใหญ่เข้าสู่อาหารเมื่อนำอาหารออกจากเครื่องทอด เนื่องจากเกิดการควบแน่นของไอน้ำทำให้เกิดสุญญากาศ น้ำมันซึ่งเกาะอยู่ที่ผิวจึงซึมเข้าสู่อาหาร และ Moreira, Sun และ Chen [3] ทดสอบการดูดซับน้ำมันในชิ้นแผ่นข้าวโพด (tortilla chip) พบว่าในระหว่างการทอดมีน้ำมันเพียง 20 % ของน้ำมันทั้งหมดที่เข้าสู่ชิ้นแผ่นข้าวโพด ที่เหลือจะเกาะอยู่ที่ผิว เมื่อทำให้เย็นชิ้นอาหารจะดูดซับน้ำมัน 64% อีก 36% จะเกาะอยู่ที่ผิว เนื่องจากเมื่อนำอาหารออกจากเครื่องทอด อุณหภูมิของอาหารลดลง ทำให้เกิดความดันภายในช่องว่างของอาหาร (capillary) น้ำมัน ซึ่งเกาะที่ผิวจึงดูดซับเข้าสู่อาหาร

อาหารทอดที่ทำจากแป้งเป็นที่นิยมอย่างมาก เนื่องจากมีกลิ่นรสเฉพาะตัว คุณสมบัติที่แตกต่างกันของแป้งอาจมีผลต่อการดูดซับน้ำมัน Pinthus, Weinderg และ Saguy [9] พบว่าความแข็งของเจล (gel strength) ที่ต่างกันมีผลต่อปริมาณน้ำมัน และการสูญเสียความชื้นของอาหาร Pinthus และคณะ [10] พบว่าความแข็งของเจลที่ต่างกัน มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม ทำให้อาหารดูดซับน้ำมันได้ต่างกัน เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของแป้งพบว่าอะไมโลสมีผลต่อความแข็งของแป้ง ดังนั้นอะไมโลสอาจมีผลต่อการดูดซับน้ำมัน และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมของแป้ง อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่มีการตรวจสอบผลของอะไมโลสต่อการดูดซับน้ำมันของอาหาร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทดลองหาผลของสัดส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินที่มีต่อการดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอด และทำให้เย็น โดยมีข้อสมมติฐานว่าองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ รูปร่าง และขนาดของเม็ดแป้งไม่ต่างกันหรือไม่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันที่แตกต่างกัน และเพื่อให้เข้าใจถึงกลไกการดูดซับน้ำมันมากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จึงเปรียบเทียบกับ การทอดตัวอย่างชิ้นหนา ซึ่งเมื่อทอดจะเกิดเปลือกนอก และเนื้อในส่วนกลาง (core) ขึ้น

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

1. วัสดุ

- แป้งไฮลอน 7 (Hylon7) เป็นแป้งข้าวโพดซึ่งมีอะไมโลสสูง จากบริษัทเนชั่นแนล สตาร์ช แอนด์ เคมิคัล (ไทยแลนด์) จำกัด
- แป้งข้าวเหนียว จากบริษัทไทยวา จำกัด (มหาชน)
- น้ำมันถั่วเหลืองตราอรุณ
- ปีโตรเลียมอีเทอร์

2. อุปกรณ์

- เครื่องทอด ที่ออกแบบและสร้างโดย วิจิตร คุรุบัญญัติมาตย์ [11]
- ตะกร้าทอด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 ซม. สูง 10 ซม. ทำจากแผ่นเหล็กไร้สนิมเจาะรู ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ซม. เคลือบเทฟลอน
- ที่ขึ้นรูปตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. สูง 1 ซม.
- ตู้อบสูญญากาศ ตรา Sanyo Gallenkamp รุ่น OM_09980
- เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ตรา Instron รุ่น 4301
- เครื่องระเหย (evaporator) ตรา Resona รุ่น Labo rota 300
- ชุดอุปกรณ์สกัดไขมัน (Soxhlet method-Soxtec system) ตรา Tecator รุ่น 1043
- เครื่องร่อน ตรา Retsch รุ่น AS 200 basic
- ตะแกรงร่อน ซึ่งมีขนาดช่องเปิด 150, 106, 75, 53 และ 38 ไมครอน
- เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ตรา Shimadzu รุ่น UV-2101 PC

3. วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 การเตรียมวัตถุดิบและการทอด

นำแป้งไฮลอน 7 และแป้งข้าวเหนียวมาร่อนด้วยเครื่องร่อน เพื่อเลือกขนาดของแป้งที่ใช้ เนื่องจากอนุภาคที่ต่างกันของแป้งมีผลต่อการดูดซับน้ำมัน [3] พบว่าช่วงอนุภาคที่มีมากที่สุดของแป้ง ทั้ง 2 ชนิด คือ 53-106 ไมครอน ดังนั้นจึงเลือกใช้แป้งเฉพาะช่วงดังกล่าว นำแป้งไปวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงตามที่อธิบายไว้ในเอกสารอ้างอิงใน มอก.639-2529: แป้งข้าวเหนียว [12] พบว่าแป้งไฮลอน 7 มีอะไมโลส 83.96% และแป้งข้าวเหนียว มีอะไมโลส 9.55%

ทำการผสมแบ่งทั้งสองชนิดให้ได้อัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินดังนี้ 10/90, 20/80, 40/60, 60/40 และ 80/20 เติมน้ำให้แบ่งผสมนั้นมีความชื้น 50% นำหนักเปียก ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาขึ้นรูปเป็นทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. สูง 1 ซม. ทำการทอดที่อุณหภูมิ 110 °ซ ในความดันบรรยากาศ โดยเปลี่ยนน้ำมันที่ใช้ทอดเมื่อครบ 15 ชั่วโมง

3.2 การวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์

• การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมัน

วิเคราะห์ปริมาณน้ำมันที่ผิว โดยจุ่มตัวอย่างทันทีหลังจากทอดในปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นเวลา 1 วินาที หลังจากนั้นนำปิโตรเลียมอีเทอร์ดังกล่าวไปหาปริมาณน้ำมันโดยระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกไป และคำนวณเป็นน้ำมันที่ผิวดังนี้

$$\text{น้ำมันที่ผิว (\% น้ำหนักแห้ง)} = [w_1 / (w_1 + w_2)] \times 100$$

เมื่อ w_1 คือ น้ำหนักของไขมันที่สกัดได้ (กรัม), w_2 คือ น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม) ทำการวิเคราะห์ในตัวอย่าง 12 ชิ้น หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่วิเคราะห์ปริมาณน้ำมันที่ผิวแล้วไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่ โดยวิธีการสกัดไขมัน (soxhlet extraction)

• การวิเคราะห์ค่าการแพร่ความชื้นโดยรวม

วิเคราะห์โดยการอบแห้งตัวอย่างในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 °ซ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วหาความชื้นที่เหลืออยู่โดยอบในตู้อบสุญญากาศที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ 1.325 กิโลปาสคาล อุณหภูมิ 50 °ซ การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมใช้วิธีหาจากความชัน (Slope Method) ระหว่างค่าที่วัดได้กับสมการคำตอบจากการถ่ายเทความชื้นในสภาวะที่ไม่คงที่สำหรับวัสดุทรงกระบอกที่มีความยาวจำกัด ดังนี้

$$\frac{X - X_s}{X_o - X_s} = \frac{32}{\pi^2 r^2} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{\beta_m^2 (2n+1)^2} \exp\left(-\left(\beta_m^2 + \frac{(2n+1)^2 \pi^2}{4L^2}\right) D_{eff} t\right)$$

เมื่อ X คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (กก.น้ำ/กก.ของแข็ง), X_o คือ ความชื้นเริ่มต้น (กก.น้ำ/กก.ของแข็ง), X_s คือ ความชื้นที่ผิว (กก.น้ำ/กก.ของแข็ง), D_{eff} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม (m^2 /วินาที), t คือ เวลา (วินาที), r คือ รัศมี (ม.) และ L คือ ความหนาทั้งหมด (ม.)

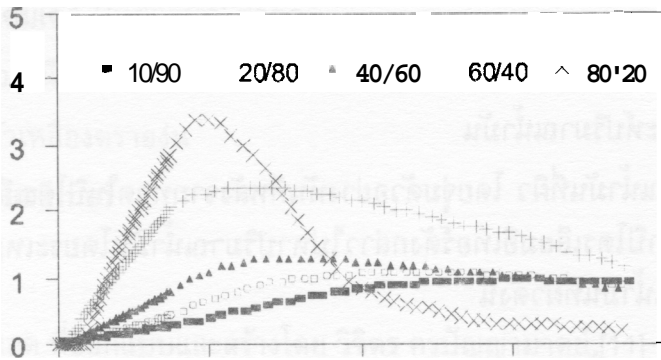
• การวิเคราะห์ความแข็ง

วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Instron โดยใช้หัวกดแบบหัวเจาะ (puncture) เส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 มม. กดตัวอย่างด้วยความเร็ว 18 มม./นาที เป็นระยะทาง 75 เปอร์เซ็นต์ของความสูงของตัวอย่าง และคำนวณค่าความแข็งดังนี้

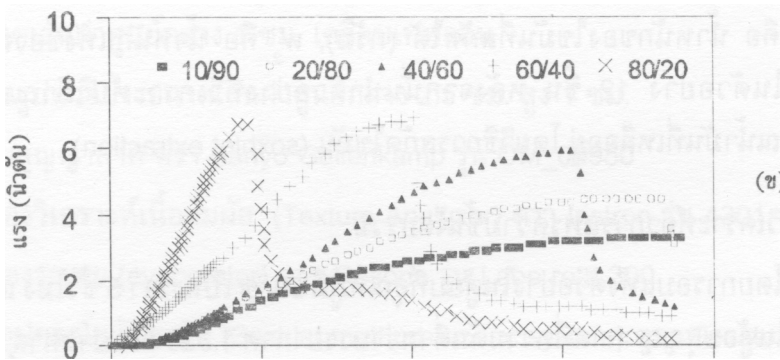
$$\text{ความแข็ง (ปาสคาล)} = \text{แรงสูงสุดที่ใช้ในการกด (นิวตัน) / พื้นที่ของหัวกด (ม.}^2\text{)}$$

• การวิเคราะห์ความชื้น

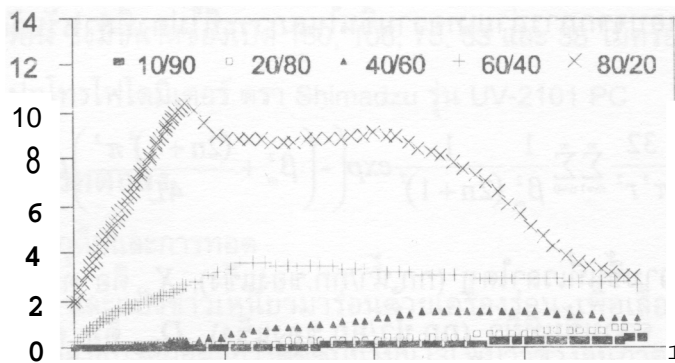
นำตัวอย่างไปบดให้ละเอียด และอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ นำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักเป็นช่วงๆ จนน้ำหนักคงที่



(ก)



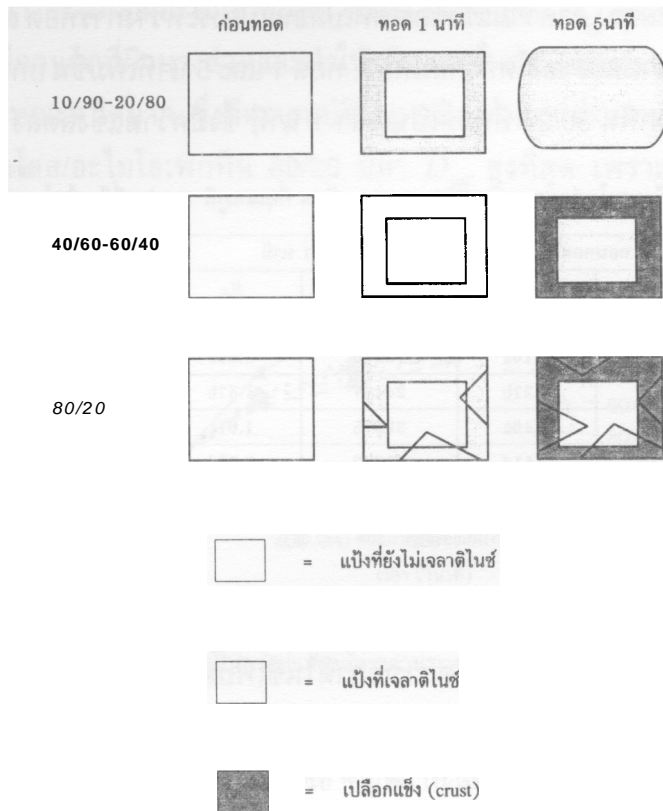
(ข)



(ค)

ระยะทาง (ม.)

รูปที่ 1 ระยะทางกับแรงที่ใช้กดโดที่มีอะไมโลสต่างกัน
(ก) ก่อนทอด (ข) ทอด 1 นาที (ค) ทอด 5 นาที
(สัญลักษณ์ในกราฟแสดงอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโพลเททิน)



รูปที่ 2 ลักษณะของโดก่อนทอด,ทอด 1 นาที และทอด 5 นาที ที่มีอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินต่างกัน

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ผลของอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม

ผลของสัดส่วนของอะไมโลสที่มีต่อความแข็งของโดก่อนทอด, โดทอด 1 และ 5 นาที แสดงดังรูปที่ 1 ด้วยกราฟระหว่างแรงที่ตัวอย่างได้รับกับระยะเจาะ จากกราฟรูปที่ 1 (ก) และ (ข) จะเห็นว่าโดที่มีอะไมโลสสูงกว่ามีค่าแรงสูงสุดมากกว่า แต่ระยะเจาะก่อนถึงค่าแรงสูงสุดต่ำกว่าโดที่อะไมโลสต่ำ ซึ่งค่าแรงสูงสุด คือ ค่าความแข็งของโด ส่วนระยะเจาะก่อนตัวอย่างได้รับค่าแรงสูงสุด คือ ระยะก่อนที่หัวเจาะจะทำให้ตัวอย่างแตก และแยกออกจากกัน ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการยึดเกาะระหว่างแป้งกับน้ำ แสดงว่าอะไมโลสที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้โดมีความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการยึดเกาะลดลง ส่วนรูปที่ 1 (ค) แบ่งกราฟได้เป็น 2 แบบ คือ แบบแรกเป็นผลของโดที่มีอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทิน 10/90 และ 20/80 พบว่าตัวอย่างรับแรงได้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากโดทอดที่ได้มีลักษณะยืดหยุ่น และไม่เกิดเปลือกนอก เนื่องจากอะไมโลเพกทินไม่มีลักษณะที่จะเกิดเปลือกนอกได้ แบบที่ 2 เป็นผลของโดที่มีอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทิน 40/60, 60/40 และ 80/20 พบว่าโดที่มีอะไมโลสสูงมีค่าแรงสูงสุดมากกว่า แต่ระยะเจาะก่อนถึงค่าแรงสูงสุดต่ำกว่าโดที่มีอะไมโลสต่ำแสดงว่าเมื่ออะไมโลสเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เปลือกนอกมีความแข็งเพิ่มขึ้น

แต่ความยืดหยุ่น และยืดเกาะลดลง ค่าความแข็งของโดที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการทอด แสดงในตารางที่ 1 พบว่า อะไมโลสเพิ่มขึ้น ความแข็งของโดทั้งก่อนทอด, ทอด 1 และ 5 นาทีเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่อัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทิน 80/20 ที่ทอดเป็นเวลา 1 นาที ซึ่งมีความแข็งลดลง

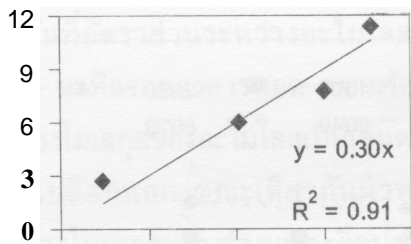
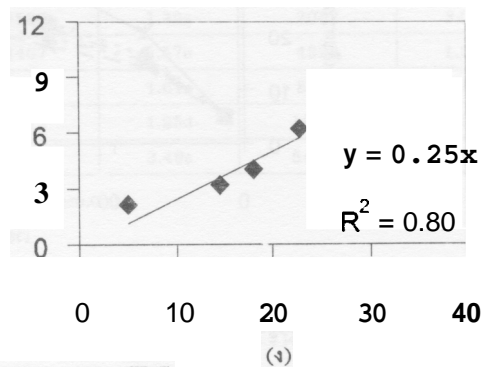
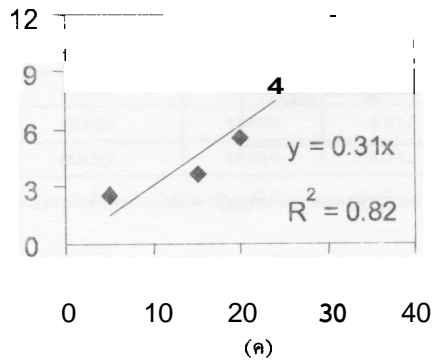
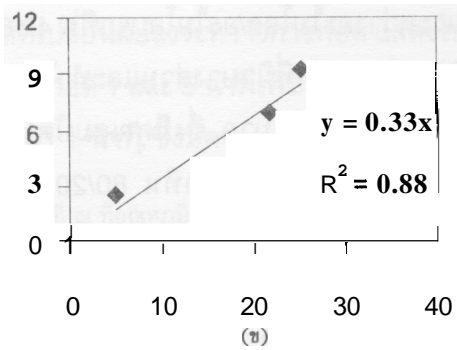
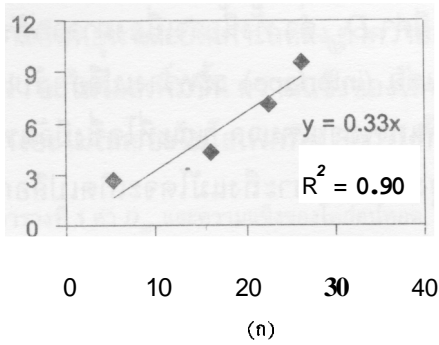
ตารางที่ 1 ค่า D_{eff} และความแข็งของโดก่อนทอด, ทอด 1 และ 5 นาที ณ ที่อุณหภูมิ 110 °ซ ที่มีอะไมโลสต่างกัน

อะไมโลส/ อะไมโลเพกทิน	ก่อนทอด		ทอด 1 นาที		ทอด 5 นาที	
	ความแข็ง (Pa)	D_{eff} ($10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$)	ความแข็ง (Pa)	D_{eff} ($10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$)	ความแข็ง (Pa)	D_{eff} ($10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$)
10/90	5316	4.16a	18560	1.39a	2062	2.07a
20/80	5899	4.27b	24467	1.57b	4228	1.91b
40/60	7139	4.46c	32675	1.61c	8565	1.42c
60/40	13439	4.51d	37772	1.95d	19708	1.31d
80/20	18846	4.71e	37070	3.49e	54553	2.55e

ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงลักษณะของโดระหว่างการทอดเป็นดังนี้ เมื่อทอดโดผ่านช่วง 1 นาทีแรก ความร้อน และน้ำในแป้งทำให้แป้งเกิดการเจลาติไนซ์เพียงบางส่วนลึกจากผิวหน้าประมาณ 2 มม. ดังแสดงในรูปที่ 2 ยกเว้นที่อัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทิน 80/20 ตัวอย่างเกิดรอยแตก หลังจากผ่านช่วง 1 นาทีแรกของการทอด ความร้อนที่โดได้รับจะทำให้หน้าบริเวณที่ผิวระเหยออกไป โครงสร้างการจัดเรียงโมเลกุลของอะไมโลสเป็นเส้นตรงไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ดีนัก ทำให้น้ำระเหยออกไป จึงกลายเป็นเปลือกนอก ขณะเดียวกันผิวหน้าของแป้งที่มีอะไมโลเพกทินสูง หลังจากเจลาติไนซ์แล้วโครงสร้างโมเลกุลแบบร่างแหจะยึดน้ำไว้ได้ดีจนกระทั่งความร้อนที่ได้รับไม่สามารถดึงน้ำออกจนเป็นเปลือกนอกได้ ดังนั้นเมื่อทอดโดเป็นเวลา 5 นาที พบว่าลักษณะของโดแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ แบบแรก ที่อัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทิน 10/90 และ 20/80 ตัวอย่างไม่เกิดเปลือกนอก และโดเกิดการขยายตัวเล็กน้อยเนื่องจากการพองตัวของอะไมโลเพกทินระหว่างการทอด แบบที่ 2 ที่อัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทิน 40/60 และ 60/40 ตัวอย่างเกิดเปลือกนอก และแบบที่ 3 ที่อัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทิน 80/20 ตัวอย่างเกิดเปลือกนอกและรอยแตก

ผลของอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินที่มีต่อค่า D_{eff} พบว่าโดที่มีอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินสูง มีค่า D_{eff} สูงกว่าโดที่มีอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งในโดก่อนทอดและทอด 1 นาที เนื่องจากอะไมโลสและอะไมโลเพกทินมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน โดยอะไมโลเพกทินมีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านทำให้แป้งสามารถอุ้มน้ำได้ดี ส่วนอะไมโลสมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงทำให้แป้งอุ้มน้ำได้ไม่ดี ดังนั้นทำให้โดก่อนทอดและทอด 1 นาทีที่มีอะไมโลสสูงมีค่า D_{eff} สูง แต่เมื่อทอดโดเป็นเวลา 5 นาที พบว่าโดที่มีอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินสูง มีค่า D_{eff} ต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นที่อัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทิน 80/20 พบว่าโดมีค่า D_{eff} สูงที่สุดเนื่องจาก อะไมโลเพกทินไม่มีคุณสมบัติในการทำให้โดเกิดเปลือกนอก จึงทำให้โดที่มีอัตราส่วนระหว่าง อะไมโลส/อะไมโลเพกทิน 10/90-20/80 มีค่า D_{eff} สูง เพราะโดไม่เกิดเปลือกนอก ส่วนที่



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่สูญเสีย กับปริมาณน้ำมันในโดที่มีอะไมโลสต่างกัน
(ก) 10/90 (ข) 20/80 (ค) 40/60 (ง) 60/40 (จ) 80/20

ผลของอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำมัน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นที่สูญเสียไปในระหว่างการทอดของโดที่มีอะไมโลสต่างกันที่เวลาต่างๆ แสดงในรูปที่ 3 จากกราฟพบว่า การสูญเสียความชื้นลดลงเมื่ออะไมโลสเพิ่มขึ้น ยกเว้นที่อัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทิน 80/20 ซึ่งมีการสูญเสียความชื้นมากที่สุด เนื่องจากตัวอย่างเกิดการรอยแตก

การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันที่ผิวในระหว่างการทอด และระหว่างการทำให้เย็นของโดทอดที่มีปริมาณอะไมโลสต่างกัน แสดงในรูปที่ 4 (ก) พบว่าปริมาณน้ำมันที่ผิวของโดที่มีอะไมโลสต่างกันเมื่อทอดนาน 1 นาทีที่มีปริมาณใกล้เคียงกัน เนื่องจากโดเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพไม่ต่างกันมากนัก ยกเว้นที่อัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทิน 80/20 พบว่าปริมาณน้ำมันที่ผิว

ที่ทอดเป็นเวลา 1 นาทีที่มีปริมาณมากที่สุด เนื่องจากแป้งเกิดรอยแยกอาจทำให้น้ำมันที่เข้าสู่ตัวอย่างถูกชะออกมามากกว่า 1 นาที มีปรากฏการณ์ที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันที่ผิวของโดได้เป็น 3 แบบ คือ แบบแรกคืออัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทิน 10/90 และ 20/80 ปริมาณน้ำมันที่ผิวเพิ่มขึ้น เนื่องจากในระหว่างการทอดโดเกิดการพองตัว ทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มแบบที่ 2 ที่อัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทิน 40/60 และ 60/40 ปริมาณน้ำมันที่ผิวลดลง อาจเนื่องจากโครงสร้างที่ผิวหน้าของโดไม่เหมาะกับการจับน้ำมัน เนื่องจากมีเปลือกนอกเกิดขึ้น และดูดซับน้ำมันไว้ แบบที่ 3 ที่อัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทิน 80/20 ปริมาณน้ำมันที่ผิวเพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวอย่างเกิดรอยแยกอาจทำให้น้ำมันที่เปลือกนอก และเนื้อในส่วนกลางถูกชะออกมามาก ในช่วงทำให้เย็นพบว่าน้ำมันที่ผิวบางส่วนเข้าสู่โด ทำให้ปริมาณน้ำมันในเนื้อในส่วนกลาง ในช่วงทำให้เย็นเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อนำโดออกจากเครื่องทอด อุณหภูมิของโดลดลง เกิดการควบแน่นของไอน้ำในโด น้ำมันที่ผิวเข้าจึงเข้าสู่โด [1]

การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมันทั้งปริมาณน้ำมันที่ผิวและเนื้อในส่วนกลาง ระหว่างการทอด และทำให้เย็นของโดทอดที่มีปริมาณอะไมโลสต่างกัน แสดงในรูปที่ 4 (ข) พบว่าทุกตัวอย่างมีแนวโน้มเหมือนกัน คือ ปริมาณน้ำมันส่วนใหญ่ประมาณ 95.0-97.5% ดูดซับเข้าไปในโดระหว่างการทอด และอยู่ที่ผิวประมาณ 2.5-5.0% เมื่อทำให้เย็นพบว่าน้ำมันที่เกาะอยู่ที่ผิวขณะทอดบางส่วนเข้าสู่โดขณะทำให้เย็น ดังรูปที่ 4 (ก) ซึ่งหลังจากทำให้เย็น พบว่าปริมาณน้ำมันในเนื้อในส่วนกลาง มีประมาณ 98.0-99.5% ของน้ำมันทั้งหมด และอยู่ที่ผิวประมาณ 0.5-2.0%

ผลการทดลองที่ได้ต่างจาก Moreira และคณะ [3] ซึ่งพบว่าน้ำมันส่วนใหญ่ถูกดูดซับเข้าไปในอาหารในระหว่างการทำให้เย็น โดยในระหว่างการทอดน้ำมันถูกดูดซับเข้าไปในอาหารเพียง 20% ของปริมาณน้ำมันทั้งหมด อีก 80 % จะเกาะอยู่ที่ผิว และในระหว่างทำให้เย็นน้ำมันจะถูกดูดซับเข้าไปในอาหาร 64% ที่เหลืออีก 36 % จะคงเกาะอยู่ที่ผิว อาจเป็นเนื่องจากขนาดของตัวอย่างที่ใช้แตกต่างกัน โดย [3] ใช้ตัวอย่างเป็นชิ้นแผ่นข้าวโพด ซึ่งมีความหนา 1 มม. ซึ่งมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงกว่า ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนี้ที่เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. สูง 1 ซม. และตัวอย่างที่ใช้ทอดนี้ไม่เป็นเปลือกนอกทั้งหมด ในขณะที่ตัวอย่างของ [3] เกิดเป็นเปลือกนอกทั้งหมด

ในขณะที่ผลจากการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาโดยใช้ตัวอย่างอาหารชิ้นใหญ่ เช่นงานวิจัยของ Farkas และคณะ [13] ใช้ตัวอย่างหนา 2.5 ซม. กับ Pinthus และคณะ [14] ซึ่งใช้ตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ซม. สูง 3 ซม. โดยพบว่ามีปริมาณน้ำมันที่เปลือกนอก ประมาณ 35-38% และ 60-85 % เมื่อทอดที่ 1 และ 5 นาที ตามลำดับ

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันกับการสูญเสียความชื้น

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความชื้นกับปริมาณน้ำมันของโดที่มีอัตราส่วนของอะไมโลส/อะไมโลเพกทินต่างกัน พบว่าการสูญเสียความชื้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันแบบเส้นตรง ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ากลไกการดูดซับน้ำมันเกิดจากการแทนที่ความชื้น และพบว่าเมื่ออะไมโลสเพิ่มขึ้น ความชื้นจะลดลง ยกเว้นที่อัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินเท่ากับ 80/

20 อาจเกิดจากตัวอย่างเกิดรอยแตกทำให้ผลของการสูญเสียความชื้นกับปริมาณน้ำมันแตกต่างกันไป ความแตกต่างที่เกิดขึ้นเนื่องจากอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินเท่ากับ 10/90 และ 20/80 ตัวอย่างไม่เกิดเปลือกนอก และแป้งเกิดการพองตัวขณะทอดทำให้ตัวอย่างเกิดการสูญเสียความชื้นได้เร็ว ทำให้น้ำมันเข้าสู่ตัวอย่างได้มาก ส่วนที่อัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินเท่ากับ 40/60 และ 60/40 ตัวอย่างเกิดเปลือกนอก ซึ่งบริเวณส่วนต่อระหว่างเปลือกนอก และเนื้อในส่วนกลาง อาจเป็นตัวกั้นการเคลื่อนที่ของน้ำ ทำให้ตัวอย่างเกิดการสูญเสียความชื้นได้ช้า น้ำมันจึงเข้าสู่ตัวอย่างได้น้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mittelman และ คณะ [15] ซึ่งศึกษาการถ่ายเทมวลในระหว่างการทอดโดยใช้โฟมยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (urea-formaldehyde foam) เป็นตัวแทนของอาหารแข็งที่เป็นรูพรุน ซึ่งไม่เกิดเปลือกนอกในระหว่างการทอด และใช้มันฝรั่งซึ่งเป็นตัวแทนของวัสดุที่เกิดเปลือกนอกในระหว่างการทอด พบว่าเปลือกนอกมีบทบาทต่ออัตราการระเหยของน้ำ โดยมันฝรั่งมีอัตราการระเหยของน้ำต่ำกว่าโฟมยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์

เนื่องจากกลไกการดูดซับน้ำมันเกิดจากการแทนที่ความชื้น ดังนั้นอาหารทอดควรมีความชื้นเริ่มต้นต่ำ และอาหารควรเกิดเปลือกนอกขึ้นได้เร็ว เพื่อให้ส่วนต่อระหว่างเปลือกนอก และเนื้อในส่วนกลางมีสัดส่วนที่ต่ำ และไม่ควรถูกเปลือกนอกทั้งหมด เนื่องจากเป็นที่สะสมของน้ำมัน การเลือกใช้แป้งที่ทำอาหารทอดและแป้งที่เคลือบหรือชุบอาหาร ควรมีปริมาณอะไมโลสสูง เช่น แป้งข้าวโพดอะไมโลสสูง (amylomaize) โดยแป้งควรมีอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินอยู่ในช่วง 40/60-60/40 เพื่อให้ทำให้อาหารเกิดเปลือกนอก และอาหารที่เคลือบหรือชุบด้วยแป้ง ควรทอดให้เกิดเปลือกนอกเฉพาะบริเวณที่เป็นแป้งเท่านั้น ซึ่งสามารถทำได้โดยกำหนดความหนาของอาหารและแป้งที่ชุบให้เหมาะสม เพื่อให้เกิดเปลือกนอกเฉพาะที่แป้งและอาหารภายในสุกพอดี เพื่อให้ทำให้อาหารดูดซับน้ำมันได้ต่ำ

4. สรุปผลการทดลอง

ปริมาณน้ำมันส่วนใหญ่ประมาณ 95.0-97.5% ถูกดูดซับเข้าสู่เนื้อในส่วนกลางระหว่างการทอด และอยู่ที่ผิวประมาณ 2.5-5.0% หลังจากทำให้เย็นพบว่าปริมาณน้ำมันในเนื้อในส่วนกลาง มีประมาณ 98.0-99.5% และอยู่ที่ผิวประมาณ 0.5-2.0% โดยกลไกการดูดซับน้ำมันสำหรับการทอดอาหาร ขึ้นใหญ่เกิดจากการแทนที่ความชื้น ซึ่งอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินมีผลต่อการดูดซับน้ำมันของอาหาร เนื่องจากอะไมโลสทำให้อาหารทอดเกิดเปลือกนอก ทำให้ค่า D_{eff} ลดลง ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะบริเวณส่วนต่อระหว่างเปลือกนอกกับเนื้อในส่วนกลางมีลักษณะหนืดมาก ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันการถ่ายเทมวล มีผลทำให้การดูดซับน้ำมันลดลง อย่างไรก็ตามปริมาณอะไมโลสที่มากเกินไป มีผลทำให้ค่า D_{eff} และการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น เนื่องจากอาหารเกิดรอยแตก ส่วนอะไมโลเพกทินทำให้อาหารทอดไม่เกิด crust มีผลทำให้ค่า D_{eff} และการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น

อาหารทอดควรมีความชื้นเริ่มต้นต่ำ และอาหารควรเกิดเปลือกนอกเร็ว เพื่อเป็นตัวกั้นการเคลื่อนที่ของน้ำ แต่สัดส่วนของเปลือกนอกต่อเนื้อในส่วนกลางของอาหารควรต่ำ และไม่ควรถูกเปลือกนอกทั้งหมด เนื่องจากเป็นที่สะสมของน้ำมัน การเลือกใช้แป้งที่ทำอาหารทอดและแป้ง

ที่เคลือบหรือซุบอาหาร แบ่งที่ใช้ควรมีปริมาณอะไมโลสสูง โดยแบ่งควรมีอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินอยู่ในช่วง 40/60 ถึง 60/40 เพื่อให้อาหารเกิดเปลือกนอก และอาหารที่เคลือบหรือซุบด้วยแป้งควรทอดให้เกิดเปลือกนอกเฉพาะบริเวณที่เป็นแป้งเท่านั้น เพื่อให้อาหารดูดซับน้ำมันได้ต่ำ

อย่างไรก็ดี งานวิจัยนี้ทำการทอดที่อุณหภูมิ 110 °ซ ซึ่งยังไม่ตรงกับความเป็นจริงนัก เนื่องจากการทอดโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิ 160-200 °ซ แต่งานวิจัยนี้ใช้อุณหภูมิ 110 °ซ เนื่องจากหากทอดที่อุณหภูมิสูงกว่านี้จะทำให้โดที่มีอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินต่ำกว่า 60/40 เกิดการพองตัวทำให้รูปทรงของตัวอย่างผิดไปจากเดิมมาก ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบผลของโดที่มีอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินต่างๆ ได้ ดังนั้นในงานครั้งต่อไปควรทอดที่อุณหภูมิ 160-200 °ซ โดยศึกษาอัตราส่วนของอะไมโลส/อะไมโลเพกทินในช่วง 60/40-80/20 เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างอะไมโลส/อะไมโลเพกทินที่เหมาะสม เพื่อให้อาหารดูดซับน้ำมันได้ต่ำซึ่งตรงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Gamble, M. H., Rice, P., and Selman, J. D. 1987, "Relationship between Oil Uptake and Moisture Loss during Frying of Potato Slices from C.V. Record U.K. Tubers," *international Journal of Food Science and Technology*, Vol. 22. No. 3, pp. 233-241.
2. Pinthus, E. J., Weinberg, P., and Saguy, I. S., 1994, "Initial Interfacial Tension and Oil Uptake by Deep-fat Frying," *Journal of Food Science*, Vol. 59, No. 4, pp. 804-807, 823.
3. Moreira, R. G., Sun, X., and Chen, Y., 1997, "Factor Affecting Oil Uptake in Tortilla Chips in Deep-fat Frying," *Journal of Food Engineering*, Vol. 31, No. 4, pp. 485-498.
4. Matz, S. A., 1993, *Snack Food Technology*, 3rd ed., New York, AVI Publishing, pp. 211-224.
5. McDonough, C., Gomez, M. H., and Lee, J. K., 1993, "Environmental Scanning Electron Microscopy Evaluation of Tortilla Chip Microstructure during Deep-fat Frying," *Journal of Food Science*, Vol. 58, No. 1, pp. 199-203.
6. Ashkenazi, N., Mizrahi, S., and Berk, Z., 1984, "Heat and Mass Transfer in Frying," in *Engineering and Food Vol. 1 : Engineering Science in the Food Industry*, Edited by Brian, M., Mckenna, Elsevier Applied Science Publisher, pp. 109-116.
7. Manlius, Y. L., Bretch, E. E., and Bath, C. L., 1988, Process for Preparing Low Oil Potato Chips, *U.S. patent 4,721,625*.
8. Kozempel, M. F., Tomasula, P. M., and Craig J. C., 1991, "Correlation of Moisture and Oil Concentration in French Fries," *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, Vol. 24, No. 5, pp. 445-448.

9. Pinthus, E. J., Weinberg, P., and Saguy, I. S., 1992, "Gel-strength in Restructured Potato Products Affects Oil Uptake during Deep-fat Frying," *Journal of Food Science*, Vol. 57, No. 6, pp. 1359-1360.
10. Pinthus, E. J., Singh, R. P., Moshe, R., and Saguy, I. S., 1997, "Effective Water Diffusivity in Deep-fat Fried Restructured Potato Product," *International Journal of Food Science and Technology*, Vol. 32, No. 3, pp. 235-240.
11. วิจิตร คุรุปัญญามาตรย์, 2537, การศึกษาสภาวะที่มีผลกระทบต่อผักทอดกรอบด้วยเครื่องทอดสุญญากาศ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
12. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529, มอก.639-2529: แป้งข้าวเหนียว, โรงพิมพ์โพสท์พับลิชซิง จำกัด, หน้า 11-13.
13. Farkas, B. E., Singh, R. P., and Rumsey, T. R., 1996, "Modelling Heat and Mass Transfer in Immersion Frying I: Model Development," *Journal of Food Engineering*, Vol. 29, No. 2, pp. 211-226.
14. Pinthus, E. J., Weinberg, P., and Saguy, I. S., 1993, "Deep-fat Fried Product Oil Uptake as Affected by Crust Physical Properties," *Journal of Food Science*, Vol. 58, No. 1, pp. 204-205, 222.
15. Mittelman, N., Mizrahi, Sh., and Berk, Z., 1982, "Heat and Mass Transfer in Frying," *Engineering and Foods*, Edited by NcKeena, B. M., London, Elsevier Applied Science, pp. 109-116.