การดูดซับน้ำมันในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม

Oil Uptake in Deep-Fat Frying Process

สิริมา ชินสาร*
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
Sirima Chinnasarn*
Department of Food Science, Faculty of Science, Burapha University

บทคัดย่อ

ในช่วงสิบปีที่ผ่านมา ความต้องการและความตื่นตัวในการลดปริมาณน้ำมันในอาหารของผู้บริโภคเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ดังนั้น นักวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์การอาหารจึงมุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับการดูดซับน้ำมันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม ในบทความนี้สามารถสรุปผลจากการศึกษาเหล่านั้นได้ว่า การดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอดแบบน้ำมันท่วมมี 2 กลไก คือ กลไกการควบแน่นและกลไกคาปิลลารี กลไกการควบแน่นเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำในอาหารภายหลังการทอดส่งผลให้ความดันไอลดต่ำลงและเกิดแรงดูดน้ำมันเข้าไปในอาหาร และกลไกคาปิลลารีที่ทำให้น้ำมันสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในอาหารได้โดยผ่านรูพรุนหรือท่อคาปิลลารีบริเวณเปลือกนอกของอาหาร ปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบการดูดซับน้ำมันคือ ขนาดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ปริมาณความชื้น ส่วนประกอบของอาหาร การเคลือบผิว ความแข็งแรงของโครงสร้างอาหาร และความเป็นรูพรุนของอาหาร

คำสำคัญ : อาหารทอด การทอดแบบน้ำมันท่วม การดูดซับน้ำมัน

Abstract

Over the past 10 years, the consumer demand for reducing fat content of fried foods is greatly growing. The food scientists spent on the issue of fat uptake, especially in deep-fat frying process. In this review, the results can be summarized that fat uptake during deep-fat frying is determined by two mechanisms: the condensation mechanism and the capillary mechanism. The condensation mechanism occurs by the condensation of vapor inside the food after frying resulting in lower vapor pressure and oil suction into the food. The capillary mechanism allows the oil penetrate into the food using the pores or capillary tubes of the crust. The main factors affecting oil uptake are product size and shape, moisture content, food product composition, surface coating, strength of food structure, and porosity of food.

Keywords: fried food, deep-fat frying, oil uptake

*E-mail : sirima@buu.ac.th

บทนำ

การทอด หมายถึง การนำชิ้นอาหารใส่ลงในน้ำมันขณะร้อน ผิวนอกของอาหารจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่เป็นส่วนประกอบหลักในอาหารระเหยกลายเป็นไอ ผิวนอกของอาหารจะแห้ง ซึ่งมีลักษณะคล้ายการอบหรือการย่าง การระเหยของน้ำจะค่อยๆ เคลื่อนที่เข้าไปด้านในของชิ้นอาหาร ทำให้ผิวนอกมีลักษณะเป็นเปลือกแห้งหุ้มชิ้นอาหารไว้ ผิวนอกของอาหารจะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนเท่าๆ กับน้ำมัน และอุณหภูมิภายในชิ้นอาหารก็เพิ่มขึ้นถึง 100 องศาเซลเซียส วัตถุประสงค์หลักของการทอดคือ เพื่อเปลี่ยนคุณภาพการบริโภคของอาหาร วัตถุประสงค์รองคือ การถนอมรักษาอาหารโดยการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เอนไซม์ และลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ที่ผิวอาหาร หรือตลอดชิ้นอาหาร (วิไล รังสาดทอง, 2546)

วิธีการทอดทางอุตสาหกรรมที่สำคัญซึ่งจำแนกโดยการถ่ายโอนความร้อนได้เป็น 2 วิธี คือ

1) การทอดแบบน้ำมันตื้น (shallow frying) เป็นการทอดที่ใช้ปริมาณน้ำมันน้อย หรือเพียงใช้น้ำมันเคลือบบนผิวกระทะป้องกันไม่ให้อาหารติดกระทะเท่านั้น วิธีนี้เหมาะสำหรับอาหารที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง เช่น เบคอน ไข่ เบอร์เกอร์ และพายชนิดต่างๆ

2) การทอดแบบน้ำมันท่วม (deep-fat frying) เป็นการทอดอาหารในน้ำมันปริมาณมาก โดยอาหารที่ทอดจะจมลงไปในน้ำมัน การทอดวิธีนี้เหมาะกับอาหารทุกรูปร่าง อาหารที่ได้จากการทอดแบบน้ำมันท่วมนี้จะมีลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างจากวิธีการทอดแบบแรก คือ มีลักษณะกรอบ ฟู มีสี กลิ่นและรสชาติเฉพาะตัวที่เกิดจากน้ำมันที่ใช้ในการทอด ทำให้อาหารน่ารับประทานมากขึ้น อย่างไรก็ตามหลังจากการทอดแล้วผลิตภัณฑ์มักจะดูดซับน้ำมัน เนื่องจากการถ่ายโอนความร้อนและมวลสารระหว่างน้ำมันกับชิ้นอาหารในขณะทอด โดยเมื่ออุณหภูมิของชิ้นอาหารสูงขึ้นในขณะทอดความชื้นที่มีอยู่ในชิ้นอาหารจะเคลื่อนที่ออกมาจากชิ้นอาหารในรูปของไอน้ำทำให้เกิดช่องว่างในอาหาร น้ำมันที่อยู่รอบชิ้นอาหารจะแทรกซึมเข้าไปอยู่ในช่องว่างทำให้เกิดการสะสมในอาหารทอด (Bouchon, 2002) หากร่างกายได้รับไขมันเข้าไปในปริมาณมากจนเกินความต้องการ ไขมันจะสะสมภายในหลอดเลือดมากกว่าปกติ และอาจส่งผลต่อการเกิดโรคไขมันอุดตันเส้นเลือดและหัวใจในอนาคตได้ (สมาคมแพทย์โรคหัวใจแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2550) ดังนั้น ข้อมูลและความเข้าใจถึงกลไกการดูดซับน้ำมันรวมทั้งปัจจัยในการดูดซับน้ำมันของอาหารทอดจึงมีความสำคัญที่จะนำไปสู่การศึกษาหาแนวทางในการลดการดูดซับน้ำมันในผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อลดปริมาณน้ำมันที่ผู้บริโภคจะได้รับจากการบริโภคอาหารทอด

กระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม

กระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นกระบวนการในการทำให้อาหารสุกด้วยการจุ่มอาหารลงในน้ำมันร้อนที่มีปริมาตรของน้ำมันมากจนท่วมชิ้นอาหาร โดยอุณหภูมิในการทอดต้องสูงกว่าจุดเดือดของน้ำ (Farkas, 1994) ซึ่งสามารถใช้ได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 130 ถึง 190 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการทอด คือ อุณหภูมิช่วง 170 ถึง 190 องศาเซลเซียส (Bouchon, 2002)

กระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วมเกี่ยวข้องทั้งกับการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลสาร การถ่ายโอนความร้อนในการทอดแบบน้ำมันท่วมเป็นทั้งการพาความร้อนในน้ำมันร้อนและการนำความร้อนสู่ภายในอาหาร เมื่อวางอาหารลงในน้ำมันร้อน อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและน้ำจะระเหยกลายเป็นไอ ผิวหน้าของอาหารจึงเริ่มแห้ง แนวระนาบการระเหยจะเคลื่อนที่เข้าไปในอาหารและเกิดเปลือกนอกขึ้น อุณหภูมิที่ผิวอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของน้ำมันร้อน และอุณหภูมิภายในจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ถึง 100 องศาเซลเซียส ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำมันร้อนและอาหาร และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนที่ผิวจะเป็นตัวควบคุมการถ่ายโอนความร้อน ค่าการนำความร้อนของอาหารเป็นตัวควบคุมอัตราการส่งผ่านความร้อนเข้าไปในอาหาร สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนก่อนเกิดการระเหยของน้ำในอาหารเท่ากับ 250-300 วัตต์/เมตร^{2}เคลวิน และเพิ่มขึ้นเป็น 800-1000 วัตต์/เมตร^{2}เคลวิน เนื่องจากเกิดการเคลื่อนที่แบบปั่นป่วน (turbulence) ของไอน้ำที่ระเหยออกจากอาหาร อย่างไรก็ตาม ถ้าอัตราการระเหยสูงเกินไปจะเกิดฟิล์มบางๆ ของไอน้ำอยู่บนผิวอาหารทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนลดลง (วิไล รังสาดทอง, 2546; Bouchon, 2002; Singh, 1995)

การทอดแบบน้ำมันท่วมทำให้อาหารมีลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสเฉพาะตัว คือ มีลักษณะกรอบนอก นุ่มใน ภายหลังการทอดโครงสร้างของอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจนสามารถแบ่งองค์ประกอบของชิ้นอาหารได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนเปลือกนอก

(crust) ซึ่งมีลักษณะแห้งกรอบ มีรูพรุน และมีน้ำมันเกาะอยู่ อีกส่วนหนึ่ง คือ ส่วนภายใน (core) จะมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่าและยังคงมีความชุ่มชื้นอยู่ การเกิดเปลือกนอกของผลิตภัณฑ์ทอดเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอาหารภายหลังจากการสัมผัสกับน้ำมันร้อนในขณะทอด ส่งผลให้องค์ประกอบต่างๆ เช่น สตาร์ชเกิดการเจลาติไนซ์ภายในเซลล์ โปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ ทำให้โครงสร้างเซลล์อ่อนตัวลง น้ำภายในเซลล์เปลี่ยนเป็นไอน้ำและระเหยออกไปจากอาหาร และเกิดการดูดซับน้ำมันเข้าไปแทนที่ (Pedreschi *et al*., 2001) เปลือกนอกของอาหารทอดที่มีลักษณะเป็นรูพรุนประกอบด้วยท่อคาปิลลารีขนาดต่างๆ น้ำและไอน้ำจะเคลื่อนที่ออกจากท่อคาปิลลารีช่องใหญ่ก่อนและถูกแทนที่ด้วยน้ำมันในระหว่างหรือภายหลังการทอด ความชื้นจะเคลื่อนที่ผ่านผิวอาหารและฟิล์มบางๆของน้ำมัน ความหนืดและความเร็วของการเคลื่อนที่ของน้ำมันเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์ม ซึ่งมีผลต่ออัตราการถ่ายโอนมวลและความร้อน ความแตกต่างของความดันไอระหว่างความชื้นภายในอาหารและน้ำมันจะเป็นตัวขับเคลื่อนความชื้นคล้ายกับในกรณีการทำแห้งด้วยลมร้อน (วิไล รังสาดทอง, 2546; Farkas, 1994)

Farkas (1994) ได้สร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการทำนายการถ่ายโอนความร้อนระหว่างการทอด ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในอาหารขณะทอดจะถูกจำกัดอยู่ที่ไม่เกินจุดเดือดของน้ำหรือสารละลายที่เป็นองค์ประกอบของอาหาร ในขณะที่อุณหภูมิของอาหารส่วนเปลือกนอกจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งสูงกว่าจุดเดือดของน้ำและใกล้เคียงกับอุณหภูมิของน้ำมัน จากข้อสังเกตนี้ Farkas จึงได้แบ่งช่วงของการทอดออกเป็น 4 ช่วง คือ

1) Initial heating ช่วงนี้จะเกิดขึ้นเพียงระยะเวลาสั้นๆ คือในช่วงตั้งแต่ผิวหน้าอาหารสัมผัสกับน้ำมันร้อนจนถึงเมื่ออุณหภูมิของอาหารเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดเดือดของน้ำ การถ่ายโอนความร้อนระหว่างน้ำมันทอดและอาหารเป็นแบบการพาความร้อนแบบธรรมชาติ ในช่วงนี้น้ำที่ผิวหน้าอาหารยังไม่เกิดการระเหยออกไปจากอาหาร

2) Surface boiling เป็นช่วงที่น้ำที่ผิวหน้าอาหารเกิดการระเหยออกไป ผิวหน้าอาหารเริ่มแห้งและเกิดเปลือกนอกขึ้น การถ่ายโอนความร้อนเป็นแบบ boiling convection เนื่องจากไอน้ำที่เกิดขึ้นทำให้น้ำมันบริเวณรอบๆ ชิ้นอาหารมีการเคลื่อนที่แบบปั่นป่วน

3) Falling rate ช่วงนี้จะมีระยะเวลานานที่สุด น้ำในอาหารจะเคลื่อนที่ออกมาจากอาหาร เพราะอุณหภูมิภายในอาหารเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดเดือดของน้ำและส่วนของชั้นเปลือกนอกมีความหนามากขึ้น

4) Bubble end-point เป็นขั้นสุดท้ายที่น้ำระเหยออกจากอาหารจนหมดและไม่มีฟองอากาศเกิดขึ้นในน้ำมันอีก แต่ในความเป็นจริงกระบวนการทอดจะหยุดก่อนที่จะถึงจุดนี้

กลไกการดูดซับน้ำมัน

ในระหว่างการทอดน้ำที่บริเวณผิวของอาหารจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอแล้วเคลื่อนที่ออกจากอาหาร การเคลื่อนที่ของไอน้ำอย่างต่อเนื่องจะช่วยดึงให้น้ำภายในอาหารสามารถเคลื่อนตัวจากภายในชิ้นอาหาร (core) ออกมาสู่ด้านนอกและระเหยเป็นไอต่อไป ทำให้เปลือกนอกของอาหารมีลักษณะแห้งและมีความหนาเพิ่มขึ้น การระเหยของน้ำยังทำให้เกิดรูพรุนที่บริเวณเปลือกนอก น้ำมันจึงสามารถผ่านเข้าไปในอาหารได้ ดังนั้นปริมาณการดูดซับน้ำมันของอาหารจึงมักพิจารณาควบคู่ไปกับปริมาณความชื้นในอาหาร (Lamberg *et al*., 1990; Saguy & Pinthus, 1995) น้ำมันจะเข้าไปในรูพรุนเมื่อความดันไอลดลง ความดันภายในชิ้นอาหารต่ำจึงดูดน้ำมันเข้าไปในรูพรุน ทำให้อาหารอุ้มน้ำมันไว้มาก ดังนั้นการดูดซับน้ำมันจึงเกิดขึ้นบริเวณที่น้ำระเหยกลายเป็นไอและมีรูพรุน นั่นคือในส่วนของเปลือกนอกของอาหารนั่นเอง เพราะฉะนั้นส่วนเปลือกนอกของอาหารจึงเป็นปัจจัยหลักในการดูดซับน้ำมัน โดย Aguilera & Gloria (1997) พบว่า ส่วนเปลือกนอกของมันฝรั่งทอดมีปริมาณน้ำมันมากกว่าภายในชิ้นมันฝรั่งทอดถึง 6 เท่า ในขณะเดียวกัน Bouchon *et al.* (2001) ได้ตรวจสอบโดยใช้ infrared microspectroscopy พบว่าน้ำมันสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในชิ้นมันฝรั่งทอดได้ลึกเพียง300-400 ไมโครเมตร เท่านั้น ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ในส่วนที่น้ำเกิดการระเหยออกไปจากผิวหน้าของอาหาร นอกจากการพิจารณาในเรื่องของสมดุลมวลสารแล้ว ปริมาณการดูดซับน้ำมันยังรวมถึงปริมาณไขมันแข็งที่อาจจะจับตัวบริเวณผิวหน้าของอาหารด้วย เพราะโดยทั่วไปน้ำมันทอดมีองค์ประกอบส่วนหนึ่งที่เป็นไขมันแข็ง (solid fat) ที่สามารถเกิดการแข็งตัวได้เมื่อได้รับความเย็น ถ้าไขมันส่วนนี้เกิดการแข็งตัวจับอยู่ที่ผิวหน้าของอาหารแล้วจะกำจัดออกจากผิวหน้าของอาหารได้ยาก ดังนั้นเมื่อพิจารณาปริมาณการดูดซับน้ำมันจากปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นในอาหารทั้งหมด ปริมาณการดูดซับน้ำมันของอาหารจึงเกิดจากน้ำมันสองส่วน คือ น้ำมันที่ถูกดูดซับบริเวณเปลือกนอก และไขมันที่แข็งตัวบนผิวหน้าของอาหาร

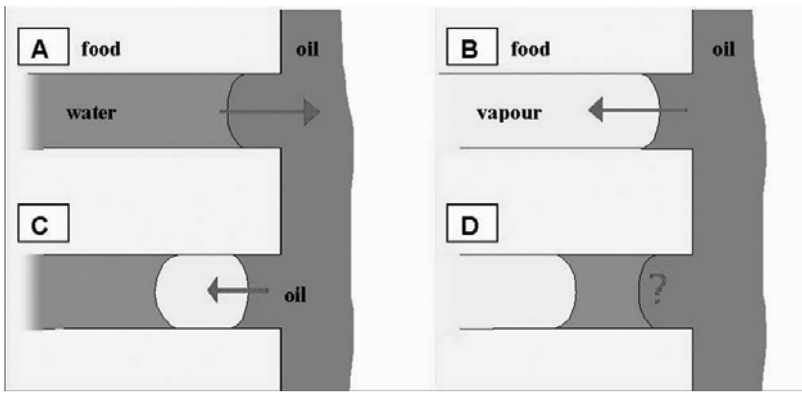
กลไกในการดูดซับน้ำมันของอาหารขณะทอดแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ กลไกการควบแน่น (condensation-mechanism) และกลไกคาปิลลารี (capillary-mechanism)

กลไกการควบแน่น

กลไกการควบแน่นเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อาหารเกิดการดูดซับน้ำมันภายหลังการทอด Ufheil & Escher (1996) พบว่าการดูดซับน้ำมันในมันฝรั่งทอด 80% จะเกิดขึ้นในช่วงของการทำให้เย็นภายหลังจากการนำมันฝรั่งขึ้นจากน้ำมันทอดแล้ว เช่นเดียวกับ Moreira *et al.* (1997) ที่ตรวจสอบปริมาณน้ำมันทันทีที่นำ tortilla ขึ้นจากน้ำมันทอด พบว่า tortilla ดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอดเพียง 20% เท่านั้น น้ำมันอีก 80% ยังคงเกาะอยู่ที่ผิวนอก และน้ำมันที่ผิวนอกจำนวนนี้จะถูกดูดซับเข้าไปภายในอาหารในช่วงของการทำให้เย็นถึง 64% ของปริมาณน้ำมันที่ผิวนอกทั้งหมด ปรากฏการณ์การดูดซับน้ำมันในช่วงการทำให้เย็นนี้สามารถอธิบายได้ด้วยกลไกการควบแน่น โดยระหว่างการทอดน้ำในอาหารจะเคลื่อนที่มาที่เปลือกนอกและกลายเป็นไอน้ำระเหยออกจากผิวอาหาร แรงดันไอที่เกิดจากไอน้ำจะทำให้ความดันภายในอาหารสูงกว่าภายนอกด้วยสาเหตุนี้น้ำมันจึงไม่สามารถซึมผ่านรูพรุนที่มีไอน้ำอยู่เข้าไปภายในอาหารในระหว่างการทอดได้ กลไกการป้องกันการซึมผ่านของน้ำมันนี้จะดำเนินต่อไปจนกระทั่งหลังจากนำอาหารขึ้นจากน้ำมันเป็นเวลา 2 ถึง 3 วินาที ที่สภาวะนี้อุณหภูมิของอาหารจะลดลงและไอน้ำเกิดการควบแน่น ความดันภายในท่อคาปิลลารีจะลดลงต่ำกว่าความดันบรรยากาศทำให้เกิดแรงดูดให้น้ำมันที่ผิวอาหารเคลื่อนที่เข้าสู่รูพรุนได้ดีขึ้น ดังนั้นสภาวะภายหลังการนำอาหารขึ้นจากน้ำมันจึงมีความสำคัญต่อการดูดซับน้ำมันในอาหาร ซึ่งการเขย่าหรือกำจัดน้ำมันส่วนเกินที่ผิวออกจะช่วยลดการดูดซึมของน้ำมันที่ผิวเข้าสู่รูพรุนได้ (Mehta & Swinburn, 2001; Rice & Gamble, 1989; Saguy & Pinthus, 1995)

กลไกคาปิลลารี (capillary-mechanism)

รูพรุนที่เปลือกนอกของอาหารประกอบไปด้วยท่อคาปิลลารีขนาดต่างๆ ซึ่งไอน้ำภายในอาหารและน้ำมันที่ผิวนอกของอาหารจะเคลื่อนที่ผ่านท่อคาปิลลารีเหล่านี้ ความสามารถในการดูดซับน้ำมันในระหว่างและภายหลังการทอดอาหารจึงขึ้นอยู่กับสภาวะของรูพรุนในขณะนั้น ซึ่งสภาวะของรูพรุนสามารถแบ่งได้เป็น 4 สภาวะดังภาพที่ 1 (a)-(d)



ภาพที่ 1 การซึมผ่านของน้ำมันในรูพรุนที่มี (a) น้ำอยู่ภายใน (b) ไอน้ำอยู่ภายใน (c) และ (d) น้ำและไอน้ำอยู่ภายใน (Mellema, 2003)

กลไกคาปิลลารี (capillary-mechanism)

รูพรุนที่เปลือกนอกของอาหารประกอบไปด้วยท่อคาปิลลารีขนาดต่างๆ ซึ่งไอน้ำภายในอาหารและน้ำมันที่ผิวนอกของอาหารจะเคลื่อนที่ผ่านท่อคาปิลลารีเหล่านี้ ความสามารถในการดูดซับน้ำมันในระหว่างและภายหลังการทอดอาหารจึงขึ้นอยู่กับสภาวะของรูพรุนในขณะนั้น ซึ่งสภาวะของรูพรุนสามารถแบ่งได้เป็น 4 สภาวะดังภาพที่ 1 (a)-(d)

โดยภาพ 1(a) คือ สภาวะที่รูพรุนมีน้ำอยู่ น้ำมันจะไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปได้เพราะน้ำทำให้รูพรุนมีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) ภาพ 1(b) เป็นสภาวะที่น้ำในรูพรุนเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ซึ่งไอน้ำจะทำให้ในรูพรุนมีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) น้ำมันจึงซึมผ่านเข้าไปได้บางส่วนเพราะน้ำมันสามารถเปียก (wetting) บนผิวของรูพรุนได้ดีกว่าไอน้ำ ซึ่งความสามารถในการเปียกผิวของน้ำมันขึ้นอยู่กับแรงตึงผิว

(surface tension) ระหว่างน้ำมันกับอาหาร หากมีแรงตึงผิวมากจะลดการดูดซับน้ำมันได้ ภาพ 1(c) และ 1(d) เป็นสภาวะที่รูพรุนมีทั้งน้ำและไอน้ำอยู่รวมกัน โดยภาพ 1(c) ลักษณะการซึมผ่านของน้ำมันยังคงมีลักษณะเช่นเดียวกับสภาวะ 1(b) ในขณะที่ภาพ 1(d) เป็นสภาวะที่อาหารเกิดการดูดซับน้ำมันเนื่องจากการควบแน่นของไอน้ำ (Mellema, 2003)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเกิดการควบแน่นของไอน้ำภายในรูพรุนจะเป็นแรงขับให้อาหารเกิดการดูดซับน้ำมันได้มากขึ้น และกลไกการควบแน่นเป็นสาเหตุหลักของการดูดซับน้ำมันในอาหารภายหลังการทอด

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับน้ำมัน

ผลงานวิจัยฉบับต่างๆ ได้รายงานถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซับน้ำมันในอาหาร ซึ่งสามารถสรุปปัจจัยหลักๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. คุณภาพและองค์ประกอบของน้ำมัน

ถึงแม้ว่าชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการทอดจะมีผลต่อการดูดซับน้ำมันของอาหารทอดน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการเกิดการดูดซับน้ำมันจากกลไกการควบแน่นและการเกิดเปลือกนอก แต่สมบัติของตัวกลางที่ใช้ในการทอด เช่น องค์ประกอบของน้ำมัน ความหนืด และสมบัติการเปียกผิว ก็มีผลต่อกลไกการเกิดแรงดันแบบคาปิลลารี่ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น Kita *et al.* (2007) ได้รายงานว่าที่อุณหภูมิการทอดเดียวกัน ชนิดของน้ำมันมีผลต่อปริมาณการดูดซับน้ำมันในมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ การเพิ่มแรงตึงระหว่างผิวระหว่างน้ำมันและมันฝรั่งขึ้นรูปจะช่วยลดการดูดซับน้ำมันได้ นอกจากนี้ การสลายตัวของน้ำมันในระหว่างการทอดยังทำให้เกิดสารที่ช่วยลดแรงตึงผิวขึ้นในน้ำมันซึ่งจะทำให้น้ำมันมีคุณสมบัติเปียกผิวที่ดีขึ้นส่งผลให้การดูดซับน้ำมันมากขึ้น (Pinthus & Saguy, 1994)

2. อุณหภูมิในการทอด

การทอดมันฝรั่งแผ่นที่อุณหภูมิในช่วง 150-190 องศาเซลเซียสมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบจะมีปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับลดลง 3% โดยเฉลี่ยเมื่ออุณหภูมิในการทอดสูงขึ้น 20 องศาเซลเซียส (Kita *et al.*, 2007) แบบจำลองของการดูดซับน้ำมันของ Baumann & Escher (1995) แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการทอดจะทำให้น้ำระเหยออกไปจากมันฝรั่งเร็วขึ้น ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการทอดให้สั้นลงและลดปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับให้น้อยลง อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองนี้ขัดแย้งกับผลการทดลองของ Garayo & Moreira (2002) ซึ่งพบว่า มันฝรั่งแผ่นที่ทอดในสภาวะความดันต่ำกว่าบรรยากาศจะมีการดูดซับน้ำมันมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทอดสูงขึ้น

3. ขนาดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์

รูปร่างของผลิตภัณฑ์ซึ่งได้แก่ อัตราส่วนของพื้นที่ผิวของผลิตภัณฑ์ต่อปริมาตรเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดูดซับน้ำมัน เช่น มันฝรั่งแท่งจะมีปริมาณน้ำมันภายหลังการทอดโดยเฉลี่ยเพียง 13.5% ในขณะที่มันฝรั่งแผ่นทอดจะมีปริมาณน้ำมันถึง 40% ทั้งนี้เนื่องจากมันฝรั่งแผ่นทอดมีพื้นที่ผิวมากกว่ามันฝรั่งแท่ง 10 ถึง 15 เท่า และปริมาณการดูดซับน้ำมันของมันฝรั่งแท่งขึ้นรูปลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมันฝรั่งแท่งมีความหนามากขึ้น (Bouchon & Pyle, 2004) นอกจากนั้น ความขรุขระบนผิวของอาหารก็ยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้พื้นที่ผิวของอาหารโดยรวมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณการดูดซับน้ำมันในอาหารทอดเพิ่มมากขึ้นด้วย (Saguy & Pinthus, 1995)

4. ปริมาณความชื้น

ผลการวิจัยหลายฉบับได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาในการทอด เช่น Gamble et al. (1987) แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำที่สูญเสียไปในระหว่างการทอดกับเวลาในการทอดว่าปริมาณน้ำที่สูญเสียไปมีค่าเท่ากับรากที่สองของเวลาในการทอด และภายหลังจากที่น้ำได้ระเหยออกจากอาหารการดูดซับน้ำมันก็เริ่มเกิดขึ้น โดยอาหารที่มีปริมาณน้ำเริ่มต้นสูงจะมีปริมาณการดูดซับน้ำมันที่สูงด้วย (Saguy & Pinthus, 1995) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากน้ำมันจะเข้ามาแทนที่ในช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการที่น้ำได้ระเหยออกไปจากอาหาร โดยน้ำมันส่วนใหญ่จะถูกดูดซับภายหลังจากที่นำอาหารขึ้นจากน้ำมันทอดแล้ว เนื่องจากการเกิดการควบแน่นของไอน้ำทำให้ช่องว่างภายในอาหารมีสภาวะเป็นสุญญากาศ (Gamble *et al.*, 1987) นอกจากนี้ ยังพบว่า ปริมาณน้ำที่สูญเสียไประหว่างการทอดและปริมาณการดูดซับน้ำมันยังขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของโครงสร้างผลิตภัณฑ์ด้วย (Pinthus *et al.*, 1992)

5. องค์ประกอบของอาหาร

อาหารบางประเภท เช่น พายกรอบ และโดนัท ถ้าอาหารมีปริมาณน้ำมันเริ่มต้นสูงจะทำให้ปริมาณการดูดซับน้ำมันสูงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม สำหรับอาหารบางประเภท เช่น เนื้อสัตว์และปลา ผลที่ได้กลับตรงกันข้าม (Saguy & Pinthus, 1995) การเติมสารที่มีสมบัติเป็นคอลลอยด์หรือไฮโดรคอลลอยด์ เช่น โปรตีนถั่วเหลือง เซลลูโลส และอนุพันธ์ของเซลลูโลสลงในอาหารสามารถช่วยลดการดูดซับน้ำมันในอาหารได้ มีรายงานว่าเมทิลเซลลูโลสมีประสิทธิภาพในการช่วยลดการดูดซับน้ำมัน

ในโดนัทได้ดีกว่าเซลลูโลส (Pinthus *et al*., 1992; Mohamed *et al.,* 1995; Funami *et al.,* 1999) และชนิดของแป้งที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์มันฝรั่งแท่งขึ้นรูปก็มีผลต่อการดูดซับน้ำมันของผลิตภัณฑ์เช่นกัน โดยมันฝรั่งแท่งที่ทำจาก native potato starch จะมีปริมาณการดูดซับน้ำมันมากกว่ามันฝรั่งแท่งที่ทำจาก potato flake (Bouchon & Pyle, 2004)

6. การเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นก่อนการทอด

การเตรียมวัตถุดิบขั้นต้นก่อนจะนำไปทอดสามารถลดการดูดซับน้ำมันได้ เช่น การทำให้วัตถุดิบแห้งด้วยไมโครเวฟหรือลมร้อนก่อนนำไปทอดสามารถช่วยลดการดูดซับน้ำมันในอาหารลงได้ เพราะการทำแห้งจะช่วยลดปริมาณความชื้นเริ่มต้นในอาหารลง แต่การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) กลับทำให้ปริมาณการดูดซับน้ำมันมากขึ้น เพราะการทำแห้งด้วยวิธีนี้จะทำให้อาหารเกิดรูพรุนมากยิ่งขึ้น จึงทำให้มีช่องว่างภายในอาหารที่น้ำมันสามารถเข้ามาแทนที่ได้เพิ่มขึ้น (Gamble & Rice, 1987) นอกจากนั้น ยังพบว่าการนำอาหารเข้าตู้อบลมร้อนภายหลังการทอดก็สามารถช่วยลดปริมาณการดูดซับน้ำมันได้ด้วยเช่นกัน (Nonaka *et al*., 1977)

7. การเคลือบผิว (coating)

สารที่ใช้เคลือบอาหารจะทำให้อาหารมีสมบัติต่างๆ ได้แก่ มีปริมาณความชื้นต่ำ มีการเคลื่อนที่ของความชื้นต่ำ สามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิสูง (thermogelling) หรือมีการเกิดพันธะเชื่อมข้าม (crosslinks) ซึ่งล้วนเป็นสมบัติหลักในการลดการดูดซับน้ำมันโดยการลดการสูญเสียความชื้น และ/หรือการปรับปรุงโครงสร้างที่ผิวหน้าในระหว่างการทอด สารเคลือบที่เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่นิยมใช้ในทางการค้าคือสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ สามารถลดการสูญเสียน้ำออกจากอาหารในระหว่างการทอด จึงช่วยลดการดูดซับน้ำมันได้ สารเคลือบบางชนิดทำให้เกิดความแข็งแรง (firm) โดยทำให้เกิดเจลที่อุณหภูมิสูงหรือการเกิดพันธะเชื่อมข้าม มีผลให้เกิดการระเหยและการแพร่ผ่านของน้ำลดลง และยังทำให้เกิดรูที่มีขนาดใหญ่ จึงช่วยลดการดูดซับน้ำมันเนื่องจากการเกิดแรงดันคาปิลลารี่ได้ ส่วนการเคลือบแบบหนา (thick coating or batter) สามารถทำได้ง่ายและลดปัญหาการเกิดรูรั่วที่มักพบในการเคลือบแบบบาง (thin coatings) (Ateba & Mittal, 1994, Balasubramaniam *et al*., 1995; Balasubramaniam *et al*., 1996) Akdeniz *et al.* (2006) ได้ศึกษาการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ในการเคลือบผิวแบบหนาในผลิตภัณฑ์แครอทแผ่นทอด และพบว่าการใช้สารเคลือบที่เป็นส่วนผสมระหว่างกัวร์กัมและแซนแทนกัมในการเคลือบผิวแครอทแผ่น จะสามารถเคลือบผิวได้หนากว่าการใช้กัมเพียงชนิดเดียวและยังช่วยลดปริมาณน้ำที่สูญเสียไปในระหว่างการทอดและปริมาณการดูดซับน้ำมันของแครอทลงได้มากกว่าด้วย

8. ความแข็งแรงของโครงสร้างอาหาร

ความแข็งแรงของโครงสร้างอาหารเป็นสิ่งสำคัญต่อทั้งการสูญเสียน้ำในระหว่างการทอดและการดูดซับน้ำมันในอาหาร โดยเฉพาะอาหารประเภทขึ้นรูป Pinthus *et al.* (1992) ได้ศึกษาผลของความแข็งแรงของเจลในมันฝรั่งขึ้นรูปต่อปริมาณการดูดซับน้ำมัน พบว่า ทั้งปริมาณน้ำที่สูญเสียไประหว่างการทอดที่ 170 องศาเซลเซียสและปริมาณการดูดซับน้ำมันจะมีปริมาณลดลงเมื่อความแข็งแรงของเจลสูงขึ้น เช่นเดียวกับ Gazmuri & Bouchon (2009) ที่พบว่าการเติมกลูเตนลงในโดที่ทำจากแป้งข้าวสาลีจะช่วยให้โครงสร้างของโดมีความแข็งแรงมากขึ้น ส่งผลให้การดูดซับน้ำมันลดลง ถึงแม้ว่าโดนั้นจะมีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงกว่าโดที่ไม่มีการเติมกลูเตนก็ตาม แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของผลิตภัณฑ์มีผลต่อการดูดซับน้ำมันมากกว่าปริมาณความชื้นเริ่มต้น

9. ความเป็นรูพรุน

ความเป็นรูพรุนในส่วนเปลือกนอกของอาหารเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดูดซับน้ำมันทั้งในมันฝรั่งแท่งและมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ โดยมีการระเหยของน้ำเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดรูพรุนบนเปลือกนอกของมันฝรั่ง ทำให้น้ำมันสามารถซึมซับเข้าไปภายในได้ง่ายขึ้นภายหลังจากที่นำมันฝรั่งขึ้นจากน้ำมันทอดแล้ว (Bouchon, 2002)

10. เปลือกนอกของอาหาร

เปลือกนอกของอาหารสามารถช่วยป้องกันการเคลื่อนที่ของน้ำมันเข้าไปภายในตัวอาหารได้ เมื่อมันมีความแข็งเพิ่มขึ้นถึง 210-240 kPa. (Pinthus *et al*., 1995) อย่างไรก็ตาม น้ำมันยังคงสามารถเกาะอยู่ที่ผิวนอกได้ และอาจจะซึมผ่านเข้าไปภายในอาหารได้หากเกิดรอยแตกขึ้นที่บริเวณเปลือกนอกนั้น (Saguy & Pinthus, 1995).

สรุป

การดูดซับน้ำมันในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วมมีกลไกในการดูดซับ 2 กระบวนการ คือ กลไกการควบแน่นและกลไกคาปิลลารี กลไกการควบแน่นเป็นสาเหตุหลักของการดูดซับน้ำมันในอาหาร ซึ่งการดูดซับนี้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายหลังการทอดหรือหลังจากที่นำอาหารขึ้นจากน้ำมันทอดแล้ว น้ำมันจะเคลื่อนที่ผ่านรูพรุนหรือท่อคาปิลลารีเล็กๆ ที่เกิดขึ้นในส่วน

เปลือกนอกของอาหารโดยอาศัยกลไกคาปิลลารี ปัจจัยในการดูดซับน้ำมันที่สำคัญคือ ขนาดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ปริมาณความชื้น องค์ประกอบของอาหาร การเคลือบผิว ความแข็งแรงของโครงสร้างอาหาร และความเป็นรูพรุนของอาหาร

เอกสารอ้างอิง

วิไล รังสาดทอง. (2546). *เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร*. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สมาคมแพทย์โรคหัวใจแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. (2550). โรคไขมันอุดตันเส้นเลือดและหัวใจ. วันที่สืบค้นข้อมูล 4 กันยายน 2550, เข้าถึงได้จาก http:// www.thaiheart.org

Aguilera, J., & Gloria, H. (1997). Determination of oil in fried potato products by differential scanning calorimetry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *45*, 781-785.

Akdeniz, N., Sahin, S., & Sumnu, G. (2006). Functionality of batters containing different gums for deep-fat frying of carrot slices. *Journal of Food Engineering*, *75*, 522-526.

Ateba, P., & Mittal, G.S. (1994). Modelling the deep-fat frying of beef meatballs. *International Journal of Food Science and Technology*, *29*, 429-440.

Balasubramaniam, V.M., Chinnan, M.S., & Mallikarjunan, P. (1995). Deep-fat frying of edible film coated products: experimentation and modeling. *Food Processing Automation*, *4*, 486-493.

Balasubramaniam, V.M., Chinnan, M.S., Mallikarjunan, P., & Phillips, R.D. (1996). The effect of edible film on oil uptake and moisture retention of a deep-fat fried poultry product. *Journal of Food Process Engineering*, *20*, 17-29.

Baumann, B., & Escher, F. (1995). Mass and heat transfer during deep-fat frying of potato slices, rate of drying and oil uptake. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 28*, 395-403.

Bouchon, P., Hollins, P., Pearson, M., Pyle, D.L., & Tobin, M.J. (2001). Oil distribution in fried potatoes monitored by infrared microspectroscopy. *Journal of Food Science*, *66,* 918-923.

Bouchon, P.A. (2002). *Modelling oil uptake during frying*. Ph.D. Dissertation, The University of Reading, Reading, UK.

Bouchon, P.A., & Pyle, D.L. (2004). Studying oil absorption in restructured potato chips. *Journal of Food Science*, *69*(3), 115-122.

Farkas, B.E. (1994). *Modeling immersion frying as a moving boundary problem*. Ph.D. dissertation, University of California, Davis. Cited in Singh, R.P. 1995. Heat and mass transfer in foods during deep-fat frying. Food Technology, *49*, 134-137.

Funami, T., Funami, M. Tawada, T., & Nakao, Y. (1999). Decreasing oil uptake of doughnuts during deep-fat frying using curdlan. *Journal of Food Science*, *64*(5), 883-888.

Gamble, M.H., Rice, P., & 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*, *22*, 233-241.

Garayo, J., & Moreira, R. (2002). Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*, *55*, 181-191.

Gazmuri, A.M., & Bouchon, P. (2009). Analysis of wheat gluten and starch matrices during deep-fat frying. *Food Chemistry*, *115,* 999-1005.

Kita, A. Lisinska, G., & Golubowska, G. (2007). The effects of oils and frying temperatures on the texture and fat content of potato crisps. *Food Chemistry*, *102*, 1-5.

Lamberg, I., Hallstrom, B., & Olsson, H. (1990). Fat uptake in a potato drying/ frying process. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technology*, *23*, 295-300.

Mehta, U., & Swinburn, B. (2001) A review of factors affecting fat absorption in hot chips. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *41*, 133-154.

Mellema, M. (2003). Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried food. *Trends in Food Science & Technology*, *14,* 364-373.

Mohamed, S., Lajis, S.M.M., & Hamid, N.A. (1995). Effects of protein from different sources on the characteristics of sponge cakes, rice cakes (apam), doughnuts and frying batters. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *68*, 271-277.

Moreira, R.G., Sun, X., & Chen, Y. (1997). Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. *Journal of Food Engineering*, *31*, 485-498.

Nonaka, M., Sayre, R.N., & Weaver, M.L. (1977). Oil content of french fried as affected by blanch temperatures, fry temperatures and melting point of frying oils. *American Potato Journal*, *54,* 151-159. Cited in Bouchon, P.A. 2002. Modelling oil uptake during frying. Ph.D. dissertation. The University of Reading.

Pedreschi, F., Aguilera, J.M., & Pyle, L. (2001). Texture characterization and kinetics of potato strips during frying. *Journal of Food Science*, *66*(2), 314-318.

Pinthus, E.J., & Saguy, I.S. (1994). Initial interfacial tension and oil uptake by deep-fat fried foods. *Journal of Food Science*, *59*(4), 804-807.

Pinthus, E.J., Weinberg, P., & Saguy, I.S. (1992). Gel-strength in restructured potato product affects oil uptake during deep-fat frying. *Journal of Food Science*, *57*(6), 1359-1360.

Rice, P., & Gamble, M.H. (1989). Modeling moisture loss during potato slice frying. *International Journal of Food Science and Technology*, *24*, 183-187.

Saguy, I.S., & Pinthus, E.J. (1995). Oil uptake during deep-fat frying: factors and mechanism. *Food Technology*, *49*, 142-145.

Singh, R.P. (1995). Heat and mass transfer in foods during deep-fat frying. *Food Technology*, *49*, 134-137.

Ufheil, G., & Escher, F. (1996). Dynamics of oil uptake during deep-fat frying of potato slices. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie*, *29*, 640-644.