บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

การทอดเป็นการปรุงอาหารที่ทำได้ง่าย รวดเร็ว และเป็นกระบวนการประกอบอาหารที่มีมาช้านานแล้ว ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศมามาก แต่การศึกษาการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศยังมีไม่มากนัก การทอดเป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการประกอบอาหารทั้งในระดับครัวเรือน ธุรกิจขนาดเล็ก และโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ในหลาย ๆ ประเทศทั้งในยุโรป เอเชีย อเมริกาเหนือ และอเมริกาใต้ สามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์มากมายหลายชนิด ทั้งผลิตภัณฑ์ประเภทเนื้อสัตว์ แป้งและผักผลไม้ โดยส่วนใหญ่แล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทอดนั้นมักจะมีปริมาณแคลอรีสูง อันเนื่องมาจากส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์และปริมาณน้ำมันที่ผลิตภัณฑ์ดูดซึมไว้ และผลิตภัณฑ์ที่ได้มักมีสีสันที่เข้มหรือเกรียม อันเนื่องมาจากอุณหภูมิน้ำมันที่ใช้ในการทอดสูง โดยผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ได้แก่ เนื้อสัตว์ทอดกรอบ เช่น ไก่ทอด และปลาทอด หรืออาหารสำเร็จรูป เช่น ไส้กรอกและลูกชิ้น หรือขนมขบเคี้ยว เช่น มันฝรั่งแผ่น มันฝรั่งแท่ง และผักชุบแป้งทอด เป็นต้น จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคการทอดอาหารเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีขึ้น โดยพยายามลดปริมาณน้ำมันที่จะถูกดูดซึมไว้ในผลิตภัณฑ์ให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีแคลอรีต่ำ และพยายามคงสีสันของผลิตภัณฑ์ให้น่ารับประทานมากขึ้น ปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ในการทอด เวลาในการทอด ชนิดของการทอดทั้งแบบแบทช์ และแบบต่อเนื่อง รวมไปถึงคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอด และอาหารที่ใช้ทอดนั้น ล้วนมีผลกระทบต่อกระบวนการทอดทั้งสิ้น นอกจากนี้อัตราส่วนของน้ำหนักของอาหารต่อปริมาณของน้ำมันที่ใช้ทอด และอัตราส่วนของพื้นที่ผิวของอาหารต่อปริมาณน้ำมันที่ใช้ทอดก็มีผลต่อปริมาณน้ำมันในอาหาร ในกระบวนการทอดซึ่งมีกระบวนการการถ่ายโอนมวลสารและการถ่ายโอนความร้อนเกิดขึ้น ภายใต้สภาวะที่ความดันเปลี่ยนไปต่ำกว่าความดันบรรยากาศปกติ และอุณหภูมิน้ำมันในการทอดต่ำกว่าที่ใช้ในการทอดภายใต้สภาวะปกตินั้น ย่อมมีผลต่อกระบวนการในการทอดอาหาร ภายใต้สภาวะที่ความดันต่ำนั้นจุดเดือดทั้งของน้ำมันและน้ำในผลิตภัณฑ์จะมีค่าต่ำลงกว่าภายใต้สภาวะบรรยากาศ การทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศจึงสามารถลดปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์ สามารถคงสีสันธรรมชาติและรสชาติของอาหาร และยังมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำมันน้อย (Shyu, Hau and Hwang, 1998 อ้างโดย Garayo and

Moreira, 2002) ดังนั้นการทอดอาหารภายใต้สภาวะสุญญากาศจึงน่าจะเป็นแนวทางใหม่ในการพัฒนากระบวนการทอดอาหารให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีมากยิ่งขึ้นทั้งในด้านการลดปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซึมไว้ในผลิตภัณฑ์ และสีสันของผลิตภัณฑ์ที่สดใสขึ้น ช่วยในการประหยัดพลังงานในกระบวนการทอดและปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการทอดอีกด้วย

ตรวจเอกสาร

ทฤษฎีและหลักการ

1. การทอด

1.1 ชนิดของการทอด

การทอดเป็นการใช้ไขมันหรือน้ำมันเป็นตัวนำความร้อนที่จะทำให้อาหารสุก โดยไขมันหรือน้ำมันช่วยหล่อลื่นมิให้อาหารติดภาชนะที่ใช้ทอด ให้สีและเพิ่มรสชาติ การทอดแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การทอดในน้ำมันน้อย (shallow fat fry) และการทอดในน้ำมันมาก (deep fat fry) (อมร ภูมิรัตน์, 2519 อ้างโดย ชุติมา และดารารัตน์, 2544; Hoffman, et al., 1994)

1.2 การถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลสารในการทอด

ในการทอดจะเกิดกระบวนการ 2 ประการ คือ การถ่ายโอนความร้อน (heat transfer) และการถ่ายโอนมวลสาร (mass transfer)

การถ่ายโอนความร้อนจะเกิดในลักษณะสำคัญ 2 ประการ คือ การพาความร้อน (convection) จะเกิดขึ้นในขณะที่น้ำมันซึ่งมีอุณหภูมิสูงถ่ายโอนความร้อนให้แก่ผิวของชิ้นอาหาร และการนำความร้อน (conduction) ซึ่งจะเกิดในช่วงที่ความร้อนจากผิวของชิ้นอาหารซึ่งได้รับความร้อนจากน้ำมันนั้นถ่ายโอนความร้อนให้แก่เนื้อผิวภายในของชิ้นอาหาร (Moreira and Barrufet, 1998; Garayo and Moreira, 2002; ณัฐพร และ ธีรภาพ, 2544)

การถ่ายโอนมวลสารจะเกิดขึ้นเมื่อขณะทำการทอดและขณะที่ตั้งที่ไว้ให้เย็นตัว โดยจะเป็นการถ่ายโอนมวลของน้ำ อากาศและน้ำมัน (Moreira and Barrufet, 1998; Garayo and Moreira, 2002; ณัฐพร และธีรภาพ, 2544)

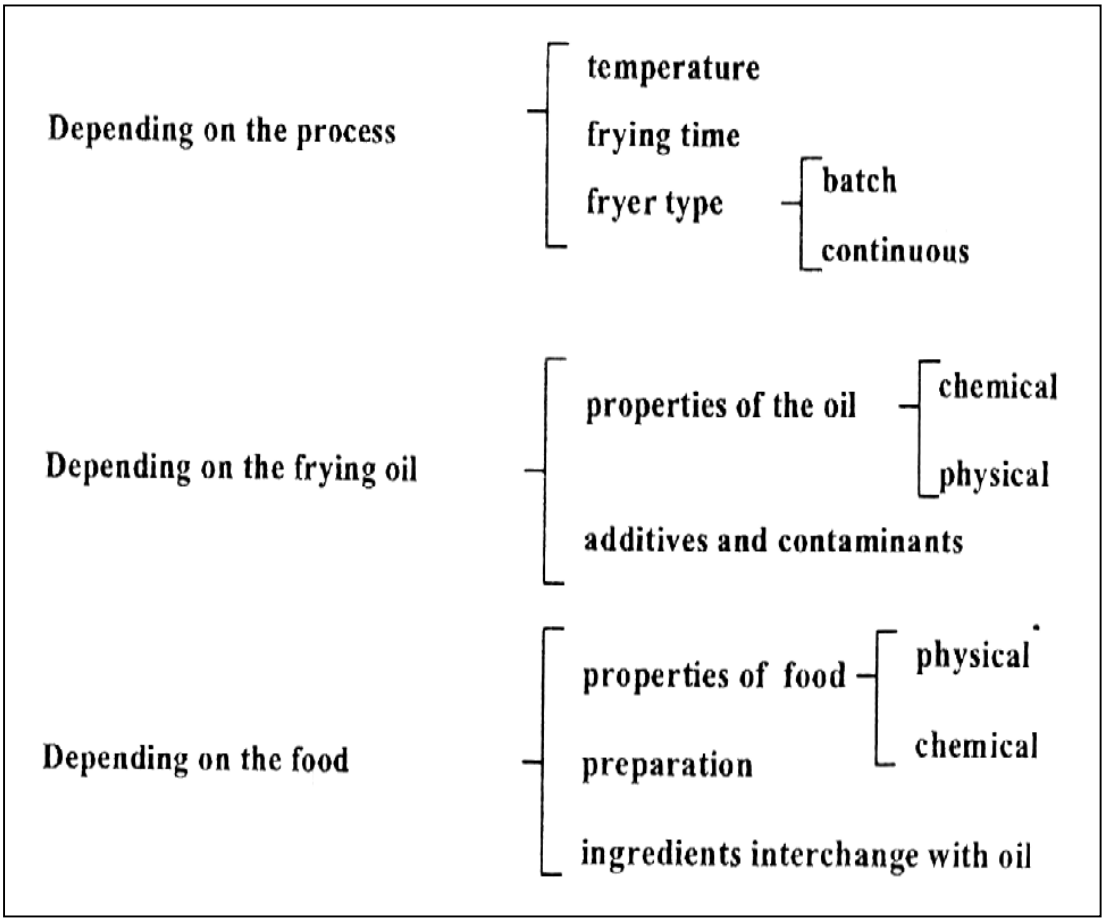
1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทอด

การทอดเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน มีปัจจัยมากมายที่มีผลต่อกระบวนการทอดอาหาร ได้แก่ (Varela et al., 1988 อ้างโดย Moreira et al., 1999; Yamsaengsung, 2002)

1. ปัจจัยที่ขึ้นกับกระบวนการ (process) ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ทอด (temperature), เวลาในการทอด (frying time) และชนิดของการทอด (fryer type) ได้แก่ แบบแบทช์ (batch) หรือแบบต่อเนื่อง (continuous)

2. ปัจจัยที่ขึ้นกับน้ำมันที่ใช้ในการทอด (frying oil) ได้แก่ คุณสมบัติของน้ำมัน (properties of oil) ทั้งเชิงกายภาพ (physical) และเชิงเคมี (chemical)) สารเติมแต่ง (additives) และสิ่งปนเปื้อน (contaminants)

3. ปัจจัยที่ขึ้นกับอาหาร (food) ได้แก่ คุณสมบัติของอาหาร (properties of food) ทั้งเชิงกายภาพ (physical) และเชิงเคมี (chemical), การเตรียม (preparation) และส่วนประกอบที่มีการแลกเปลี่ยนกับน้ำมัน (ingredients interchange with oil)



ภาพประกอบที่ 1-1 ภาพแสดงปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทอด

ที่มา : Yamsaengsung, 2002

2. น้ำในอาหารและกระบวนการถ่ายโอนมวลของน้ำ

2.1 น้ำในอาหาร

น้ำที่อยู่ในอาหาร มี 3 รูป ได้แก่ bound water คือ น้ำที่รวมอยู่กับสารประกอบในอาหารด้วยพันธะทางเคมี (chemically bound) เป็นน้ำที่รวมอยู่ในผลึก (water of crystallization หรือ hydrated) adsorbed water คือ น้ำที่ถูกดูดซับอยู่เป็นชั้นที่ผิวนอกของส่วนประกอบในอาหารเป็นการรวมกันทางกายภาพ (physically bound) และ bulk or free water คือ น้ำที่เป็นส่วนประกอบในอาหารที่แยกอยู่เป็นอิสระและระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายเมื่อนำอาหารไปอบหรือทำให้แห้ง โดยทั่วไปแล้วอาหารทุกชนิดจะประกอบด้วยส่วนประกอบทางเคมีต่าง ๆ กัน เป็น heterogeneous mixture และมีน้ำทั้ง 3 รูป เป็นส่วนประกอบอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน (ลักขณา และนิธิยา, 2533)

2.2 บทบาทของน้ำในอาหาร

ในอาหารต่าง ๆ แต่ละชนิดนั้นจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบทั้งสิ้น ซึ่งน้ำในอาหารส่วนใหญ่มีความสำคัญต่อคุณสมบัติของอาหาร เช่น โครงสร้าง ความเต่งตึง คุณค่าทางโภชนาการ ผลที่อาจเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำน้อยในอาหารหรือผลิตภัณฑ์ จะมีความสมดุลระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ปริมาณน้ำระดับหนึ่ง โดยไม่เกี่ยวข้องกับรูปแบบของน้ำที่จับกับสารต่าง ๆ สภาวะดังกล่าวจะเปลี่ยนไปทันทีที่น้ำถูกดึงออกไปจากอาหารหรือผลิตภัณฑ์ และโดยเฉพาะจะเกิดขึ้นรุนแรงกับอาหารหรือผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำน้อย ระหว่างที่น้ำถูกดึงออกไปนั้น ความเข้มข้นของสสารที่ละลายอยู่ในน้ำมันจะเพิ่มขึ้น ซึ่งการจะนำไปสู่การกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบของน้ำภายในผลิตภัณฑ์ขึ้น สารละลายเข้มข้นอิเล็กโทรไลด์นี้จะมีอันตรายต่อเส้นใยกล้ามเนื้อ เพราะสารนี้จะทำให้โปรตีนเสียโครงสร้างไปและเมื่อน้ำออกไปมากพอคุณสมบัติการเป็นบัฟเฟอร์จะหมดไป และค่าพีเอชจะเปลี่ยนไป โดยปกติค่าพีเอชจะลดลงเมื่อค่าพีเอชลดลงถึงจุดไอโซอิเล็กตริก การตกตะกอนของคอลลอยด์จะเกิดขึ้น เช่น การจับตัวของโปรตีนที่มีสาเหตุสำคัญที่ทำให้เสียโครงสร้าง และจะเกิดขึ้นต่อ ๆ ไปในระหว่างการเก็บรักษา

2.3 กระบวนการถ่ายโอนมวลของน้ำ

โดยปกติแล้วในกระบวนการการทอดนั้น กระบวนการถ่ายโอนมวลของน้ำ (drying process) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการทอดทั้งแบบภายใต้สภาวะบรรยากาศและภายใต้สภาวะสุญญากาศนั้น สามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วง initial heating (the initial heating

period) ช่วง constant drying (the constant drying period) ช่วง falling rate (the falling rate period) (Yamsaengsung, 2003)

ช่วงแรกจะเริ่มจากการที่นำชิ้นอาหารไปทอดในน้ำมันซึ่งมีอุณหภูมิสูง ความร้อนก็จะเกิดการถ่ายโอนจากน้ำมันไปสู่ผิวของชิ้นอาหารทำให้อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้น และจะถ่ายโอนความร้อนจากชิ้นอาหารสู่น้ำในอาหารจนน้ำในอาหารมีอุณหภูมิถึงจุดเดือดของน้ำ และเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอแพร่ออกสู่ภายนอก ในช่วงแรกนี้น้ำในรูป bulk or free water ที่บริเวณผิวหรือน้ำที่อยู่ภายในเนื้ออาหารซึ่งอยู่ในลักษณะที่เป็นโมเลกุลอิสระจะระเหยออกมาได้ง่าย อัตราการลดลงของความชื้นในอาหารที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (ณัฐพร และธีรภาพ, 2544) แต่สำหรับการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศนั้นช่วง initial heating นี้จะสั้น และเกิดขึ้นปริมาณน้อย เนื่องมาจากจุดเดือดของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความดัน ดังแสดงในตารางที่ 1-1 จุดเดือดของน้ำภายใต้สภาวะสุญญากาศจึงมีค่าลดลงจากที่จุดเดือด 100 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะบรรยากาศ การเปลี่ยนสถานะของน้ำกลายเป็นไอภายใต้สภาวะสุญญากาศจึงสามารถเกิดได้รวดเร็วกว่าและมีช่วงสั้นกว่าภายใต้สภาวะบรรยากาศ จากนั้นจะเข้าสู่ช่วงที่สองซึ่งเป็นช่วงที่มีอัตราการระเหยของน้ำที่ลดลงและดำเนินไปแบบคงที่ เนื่องมาจากเมื่ออาหารได้รับความร้อนขึ้นก็จะทำให้ผิวของชิ้นอาหารเกิดการแข็งตัวหรือเกิดการเกรียมขึ้น (crust) ทำให้รูพรุนที่ผิวของชิ้นอาหารที่มีน้ำอยู่มีขนาดเล็กลง น้ำที่อยู่ภายในอาหารจึงระเหยออกมาได้น้อยลง และน้ำที่ระเหยออกมาในช่วงหลังนี้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำที่เกาะยึดอยู่กับชิ้นอาหารที่ยังเหลือค้างอยู่จากช่วงแรกจึงทำให้อัตราการระเหยของน้ำในช่วงหลังนี้มีค่าลดลง และในช่วงที่สองนี้เองที่เป็นส่วนที่ทำให้เกิดการพองตัวของชิ้นอาหารเพราะน้ำไม่สามารถระเหยออกมาได้หรือระเหยออกมาได้น้อยลงจึงทำให้น้ำภายในเกิดการดันตัวผิวของชิ้นอาหารเนื่องจากความดันที่เกิดจากไอน้ำในอาหารเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดการพองตัวของชิ้นอาหารขึ้น ช่วงที่สองนี้จะเกิดขึ้นยาวนานหากว่าผิวของอาหารยังคงเปียกหรือมีน้ำอยู่ สุดท้ายจะเข้าสู่ช่วง falling rate เมื่ออัตราการถ่ายโอนมวลในช่วง constant drying มีค่าลดลงและผิวของอาหารแห้ง อัตราการถ่ายโอนมวลของน้ำซึ่งถูกควบคุมโดยกลไกการแพร่ของน้ำ (the moisture diffusion mechanism) ดำเนินสู่ช่วงสุดท้ายจนกระทั่งถึง equilibrium moisture content (the equilibrium moisture content, EMC) (ณัฐพร และธีรภาพ, 2544; Garayo and Moreira, 2002; Yamsaengsung, 2003)

ตารางที่ 1-1 ตารางแสดงอุณหภูมิและความดันที่สภาวะต่าง ๆ

Temperature Sat.		Pressure Sat.				Pressure Gauge
^{o}F	^{o}C	psia	kPa	bar	mm Hg	cm Hg
60.00	15.56	0.25	1.73	0.02	13.00	74.70
70.00	21.11	0.37	2.53	0.03	19.00	74.10
80.00	26.76	0.50	3.47	0.03	26.00	73.40
90.00	32.22	0.70	4.80	0.05	36.00	72.40
100.0	37.78	0.95	6.53	0.07	49.00	71.10
106.52	41.40	1.16	8.00	0.08	60.00	70.00
110.00	43.33	1.28	8.80	0.09	66.00	69.40
120.00	48.89	1.70	11.73	0.12	88.00	67.20
130.00	54.44	2.22	15.33	0.15	115.00	64.50
140.00	60.00	2.88	19.87	0.20	149.00	61.10
142.70	61.50	3.09	21.33	0.21	160.00	60.00
150.00	65.56	3.71	25.60	0.26	192.00	56.80
160.00	71.11	4.74	32.66	0.33	245.00	51.50
162.32	72.40	5.03	34.66	0.35	260.00	50.00
170.00	76.67	6.00	41.33	0.41	310.00	45.00
180.00	82.22	7.50	51.73	0.52	388.00	37.20
200.00	93.33	11.53	79.46	0.79	596.00	16.40
212.00	100.00	14.70	101.33	1.01	760.00	0.00

ที่มา : ดัดแปลงจากตารางเทอร์โมไดนามิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, 2545

3. ไขมันในอาหารและกระบวนการการถ่ายโอนมวลของน้ำมัน

3.1 ไขมันในอาหาร

ไขมันที่อยู่ในอาหารซึ่งมีทั้งไขมันอิสระ (free lipid) และไขมันที่รวมอยู่กับโปรตีนหรือคาร์โบไฮเดรต (bound lipid) (ลักขณา และนิธิยา, 2533) ดังนั้นในช่วง constant drying เมื่อน้ำไม่สามารถระเหยออกมาได้หรือระเหยออกมาได้น้อยลง จะส่งผลให้น้ำมันที่อยู่ภายนอกของชิ้นอาหารเข้าไปแทนที่น้ำในอาหารได้น้อยลง โดยประกอบไปด้วยไขมันหรือไตรกลีเซอร์ไรด์และมีกรด

ไขมันอิสระบ้างเล็กน้อย ซึ่งสามารถทำการสกัดได้โดยตรงด้วยตัวทำละลายอินทรีย์โดยต้องเลือกวิธีการสกัดที่เหมาะสม เนื่องจากส่วนที่เป็น bound lipid อาจถูกทำให้สลายตัวได้โดยการไฮโดรไลสิสหรือปฏิกิริยาทางเคมีกลายเป็นไขมันอิสระออกมาด้วย ปริมาณน้ำมันในอาหารที่ทอดภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศจะมีค่าประมาณร้อยละ 30 (ณัฐพร และธีรภาพ, 2544) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ น้ำมันที่เข้าไปในระหว่างทำการทอด และในขณะที่อาหารเย็นตัว ซึ่งน้ำมัน 20 เปอร์เซนต์ ของน้ำมันที่สะสมในอาหารทั้งหมด จะถูกดูดซึมในขณะทำการทอด ส่วนน้ำมันอีก 80 เปอร์เซนต์ ของน้ำมันที่สะสมในอาหารนั้น จะยังคงอยู่บนผิวหน้าของอาหาร จนกระทั่งอาหารเย็นตัว น้ำมัน 64 เปอร์เซนต์ ของปริมาณน้ำมันที่ผิวอาหารจะถูกดูดซึมซึ่งเกิดภายหลังจากการทอดเสร็จสิ้นแล้ว โดยยังคงเหลือน้ำมันอีก 36 เปอร์เซนต์ ค้างอยู่ที่ผิวของอาหาร (Moreira, et al., 1997) ดังนั้นน้ำมันส่วนใหญ่ที่อยู่ในอาหารไม่ได้เข้าสู่อาหารในระหว่างการทอดหรือถ้ามีก็น้อยมาก

3.2 บทบาทของน้ำมันในการประกอบอาหาร

น้ำมันที่ใช้ในการประกอบอาหารมีความสำคัญดังนี้ (ศศิเกษม ทองยงค์ และพรรณี เดชคำแหง, 2530 อ้างโดย ชุติมา และดาราวัตน์, 2544)

1. ช่วยเพิ่มรสชาติของอาหารให้ดีขึ้น

2. เป็นตัวนำความร้อนที่ทำให้อาหารสุก ช่วยหล่อลื่นไม่ให้อาหารติดภาชนะที่ใช้ทอด และทำให้อาหารมีสีสวย อาหารที่ทอดด้วยน้ำมันส่วนใหญ่จะมีสีน้ำตาล และต้องทอดด้วยอุณหภูมิสูง จึงต้องเลือกชนิดของน้ำมันให้เหมาะสม โดยพิจารณาจุดที่เป็นควันของน้ำมันด้วย น้ำมันต่างชนิดกันจะทำให้อาหารมีรสชาติต่างกัน ข้อสำคัญที่สุดน้ำมันที่ใช้ต้องไม่มีกลิ่นหืน และอาหารต้องไม่อมน้ำมันมาก เพราะอาจจะทำให้อาหารทอดมีความเลี่ยนเสียรสชาติ

3. ไขมันทำให้แป้งนุ่ม และร่วนเป็นชั้น อาหารที่ทำด้วยแป้ง เช่น ขนมเค้ก โรตี และพาย ถ้าไม่ใส่ไขมัน เส้นใยกลูเตนซึ่งเกิดจากโปรตีนในแป้งสาลีกับน้ำจะเกาะกันเหนียวและแน่น ไขมันในขนมเค้กถูกตีเป็นหยดเล็ก ๆ แทรกอยู่ทั่วไปทำให้เนื้อขนมนุ่ม ในขนมประเภทกะหรี่ปั๊บ และพายไขมันที่แทรกอยู่เป็นหยดใหญ่ระหว่างชั้นของเส้นใยกลูเตนทำให้ขนมนุ่มและร่วนเป็นชิ้น

3.3 กระบวนการถ่ายโอนมวลของน้ำมัน

การถ่ายโอนมวลของน้ำมันภายใต้สภาวะบรรยากาศ ประกอบด้วย 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงการทอด (the frying period) ช่วงการเย็นตัว (the cooling period) แต่ในการถ่ายโอนมวลของน้ำมันภายใต้สภาวะสุญญากาศนั้นจะประกอบด้วย ช่วงการทอด (the frying period) ช่วงการ

เปลี่ยนแปลงความดัน (the pressurization period) ช่วงการเย็นตัว (the cooling period) (Garayo and Moreira, 2002)

น้ำมันที่ถูกดูดซึมในอาหารโดยส่วนใหญ่ คือ น้ำมันที่เกิดจากการถ่ายโอนในระหว่างการตั้งทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำมันหรือในช่วงของการเปลี่ยนแปลงความดัน (the pressurization period) และช่วงเวลาในการเย็นตัวลงของอาหาร (the cooling period) โดยในช่วงการทอด (the frying period) นั้นเป็นช่วงที่มีคุณสมบัติแบบเดียวกับช่วง initial heating นั่นเอง ภายใต้สภาวะบรรยากาศนั้น ในช่วงการทอดเมื่ออาหารได้รับความร้อนจากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ และน้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอออกไปจากรูพรุนของอาหารพร้อม ๆ กับอากาศในรูพรุนนั้น อาหารในช่วงดังกล่าวมีอุณหภูมิและความดันภายในรูพรุนของอาหารเพิ่มสูงขึ้นในอัตราที่เร็วมาก ในระหว่างสภาวะดังกล่าวนี้ ความดันของรูพรุน (capillary pressure) ของอาหารมีค่าน้อยมาก ดังนั้นในช่วงดังกล่าวจึงไม่มีแรงขับดันน้ำมันเข้าสู่อาหาร แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงการเย็นตัวแรงขับดันน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากความดันภายในรูพรุนของอาหารลดลง ทำให้น้ำมันสามารถเข้าสู่รูพรุนของเนื้ออาหารได้ ในขณะที่การทอดภายสภาวะสุญญากาศนั้น ช่วงการทอดปรากฏการณ์ต่าง ๆ จะเกิดขึ้นเช่นเดียวกัน แต่ในช่วงการเปลี่ยนแปลงความดันนั้น เมื่ออาหารขึ้นสู่อากาศในสภาวะที่ความดันยังคงต่ำอยู่นั้น อากาศสามารถแพร่เข้าไปแทนที่ในรูพรุนของเนื้ออาหารได้เร็วกว่าน้ำมันที่เกาะอยู่ที่ผิวอาหาร ส่งผลทำให้น้ำมันสามารถแพร่เข้าสู่อาหารได้น้อยลง เมื่อเข้าสู่ช่วงการเย็นตัวจึงมีน้ำมันที่ผิวอาหารอีกเพียงส่วนน้อยที่สามารถแพร่เข้าสู่อาหารได้ ดังนั้นจึงมีการดูดซึมน้ำมันเกิดขึ้นน้อยในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (Garayo and Moreira, 2002; ณัฐพรและธีรภาพ, 2544; Moreira and Barrufet, 1998)

4. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอด

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอด เป็นผลสืบเนื่องจากการใช้งานอย่างต่อเนื่องของน้ำมันที่ใช้ในการทอด โดยน้ำมันที่ใช้ในการทอดนั้นจะได้รับปัจจัยที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาและมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ได้แก่ (Moreira et al., 1999; Yamsaengsung, 2002)

1. ความชื้นจากอาหาร (moisture from food)
2. ออกซิเจนในอากาศ (atmospheric oxygen)
3. อุณหภูมิที่ใช้ในการทอด (high temperature)
4. สิ่งปนเปื้อนที่เกิดจากส่วนประกอบในอาหาร (contamination by food ingredients)

ปัจจัยต่าง ๆ ดังกล่าวจะมีผลเกิดขึ้นใน 3 ช่วง ของการใช้งานน้ำมันซึ่งมีความแตกต่างกันของสภาวะแวดล้อม ได้แก่ (Moreira et al., 1999; Yamsaengsung, 2002)

1. ช่วงการเก็บรักษา (the storage period) ในช่วงนี้เป็นช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มต้นไปจนกระทั่งถึงช่วงที่น้ำมันอยู่ในเครื่องทอด โดยในช่วงดังกล่าวนี้น้ำมันจะมีการสัมผัสกับอากาศ

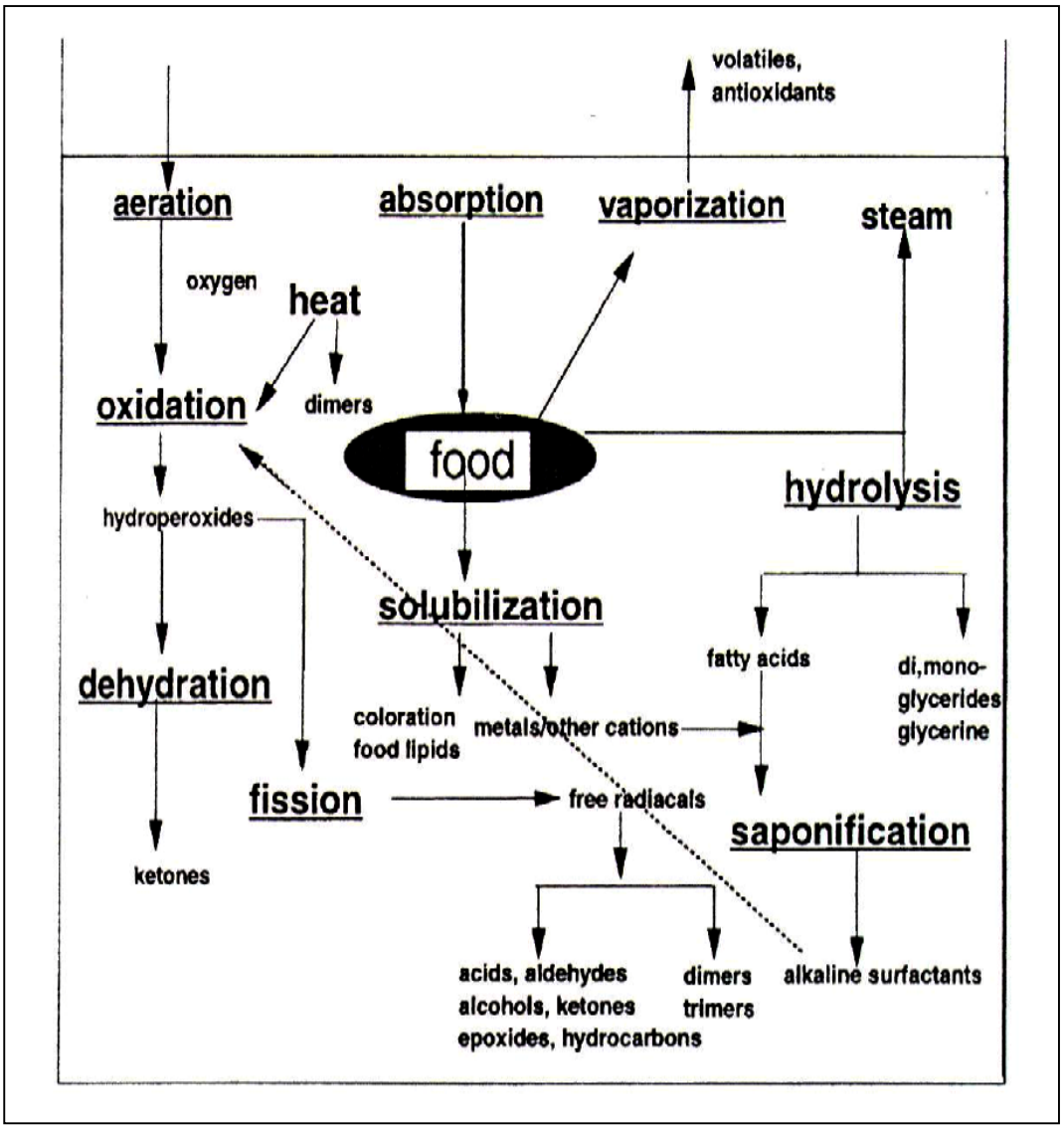
2. ช่วงการเตรียมการ (the standby period) ในช่วงนี้เป็นช่วงที่ประกอบไปด้วย ช่วงเวลาเมื่อน้ำมันได้รับความร้อนในขณะที่อยู่ในเครื่องทอดก่อนทำการทอด และช่วงเวลาในการเย็นตัวของน้ำมันเมื่อการทอดนั้นสิ้นสุดลง โดยในช่วงดังกล่าวนี้น้ำมันจะมีการสัมผัสกับอากาศและอุณหภูมิสูง

3. ช่วงการทอด (the frying period) ในช่วงนี้เป็นช่วงที่มีการใช้งานน้ำมันในขณะทำการทอด โดยในช่วงดังกล่าวนี้น้ำมันจะมีการสัมผัสกับอากาศ อุณหภูมิสูง ไอน้ำ และอาหาร

ตารางที่ 1-2 ตารางแสดงช่วงเวลา ปัจจัยและปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน

Period	Temperature	Factor	Reaction	Speed
storage	cold	air	oxidation	slow
standby	hot	air	oxidation	fast
			isomerization	fast
			polymerization	slow
			pyrolysis	slow
frying	hot	air, water, food	oxidation	fast
			isomerization	fast
			polymerization	slow
			pyrolysis	slow
			hydrolysis	fast

ที่มา : E.A. Mcgill, 1980 อ้างโดย Moreira et al., 1999



ภาพประกอบ 1-2 ภาพแสดงปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทอด
ที่มา : S. Stevenson, M. Vaisey-Genser, and N.A.H. Eskin, 1984 อ้างโดย Moreira et al., 1999

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอดนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมัน การเปลี่ยนแปลงทางเคมีนั้นจะเป็นผลจากปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการทอด ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของเปอร์ออกไซด์ การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระ เป็นต้น ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพนั้นมักจะเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงไปทางเคมีของน้ำมันนั่นเอง ได้แก่ สีที่เข้มขึ้นของน้ำมันที่ใช้ในการทอด ความหนืดของน้ำมันสูงขึ้น เป็นต้น

ตารางที่ 1-3 ตารางแสดงชนิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

Type of alteration	Causing agent	Resulting compound
hydrolic	moisture	fatty acids monoglycerides diglycerides glycerol
oxidative	air	oxidized monomers oxidative dimers and polymers non-polar dimers and polymers volatile compounds (hydrocarbons, aldehydes, ketones, alcohol, acids, etc.
thermal	temperature	cyclic monomers dimers and polymers
solubilization	food	colored compounds food lipids

ที่มา : Yamsaengsung, 2002

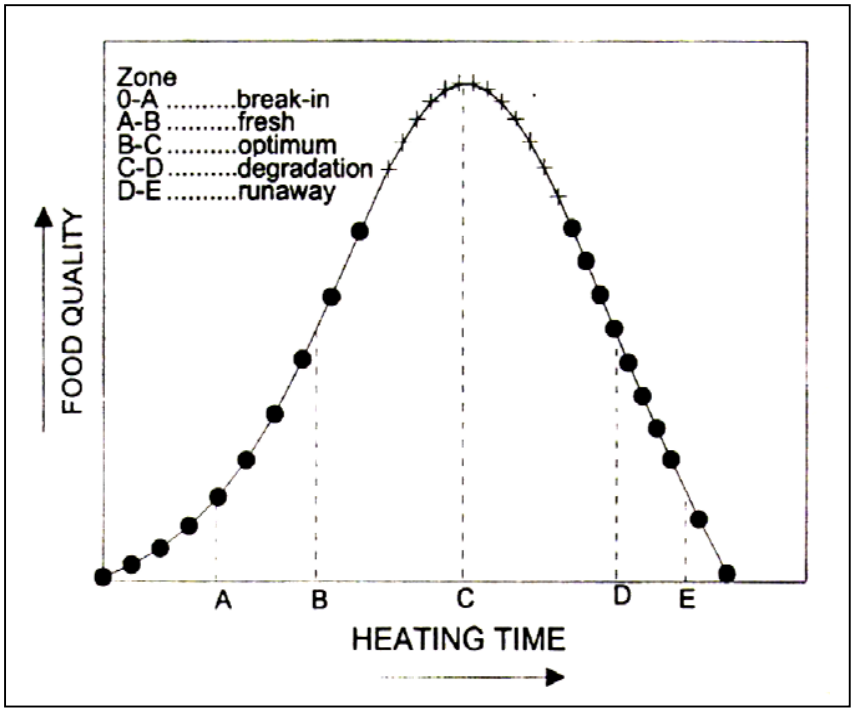
5. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันซึ่งเป็นตัวกลางในกระบวนการทอดและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารในน้ำมันระหว่างการทอดนั้นมีความสัมพันธ์กัน สามารถอธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ 5 ช่วง ได้แก่ (ชุติมา และดารารัตน์, 2544; Moreira et al., 1999; Yamsaengsung, 2002)

1. New and Break-In oil เป็นระยะที่ผลิตภัณฑ์มีสีขาว อาหารยังดิบ ไม่เกิดการย่อยเจลาตินในแป้ง ไม่มีกลิ่นอาหารสุก ผิวไม่กรอบ การดูดซึมน้ำมันมีมาก
2. Fresh oil เป็นระยะที่บริเวณขอบของอาหารมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาลเล็กน้อย ส่วนกลางของอาหารเริ่มสุก ผิวเริ่มกรอบ การดูดซึมน้ำมันมีมากขึ้น

3. Optimum oil เป็นระยะที่อาหารมีสีน้ำตาลทอง (golden brown) กรอบ ผิวนอกแข็ง มีกลิ่นหอมของน้ำมัน ใจกลางอาหารสุกเต็มที่ มีการดูดซับน้ำมันอย่างเหมาะสม
4. Degrading oil เป็นระยะที่อาหารมีผิวดำและเป็นจุด ๆ มีการดูดซับน้ำมันมากเกินไป ผิวแข็ง

5. Runaway oil เป็นระยะที่อาหารมีสีดำแข็ง อาหารมีน้ำมันมากเกินไป ผิวบุ๋มเข้าข้างใน มีกลิ่นและรสไหม้



ภาพประกอบ 1-3 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันกับคุณภาพของอาหาร

ที่มา : M.M. Blumenthal and R.F. Stier, 1991 อ้างโดย Moreira et al., 1999

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยทางด้านการทอดอาหารภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ผ่านมานั้น วิจิตรและศักรินทร์ (2537) ได้ทำการศึกษาทดลองผลกระทบของสภาวะกับฟักทองสไลส์ขนาด 25 × 55 × 1 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องทอดสุญญากาศ ทำการศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความดันที่ใช้ทอด อุณหภูมิน้ำมัน และเวลาทอดในช่วงต่างๆ จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ผลจากการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการทอดฟักทองสไลส์

คือ ที่อุณหภูมิน้ำมัน 140 องศาเซลเซียส ความดัน 150 มิลลิเมตรปรอท เวลา 2.5 นาที ปัจจัยของอุณหภูมิน้ำมันมีผลกระทบโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงของสี คือ เมื่อทอดที่อุณหภูมิสูง จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้มกว่าการทอดที่อุณหภูมิต่ำ ปัจจัยความดันระหว่างการทอดมีผลต่อการสุกของชิ้นอาหารคือ เมื่อทอดอาหารที่มีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์สุกเร็วขึ้น ปริมาณความชื้นและน้ำมันในผลิตภัณฑ์น้อยลง แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการทอดอาหารที่ความดันและอุณหภูมิต่ำกว่าการทอดปกติจะช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะและคุณภาพดีขึ้นโดยเฉพาะในด้านสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ (วิจิตร และศักรินทร์, 2537)

ณัฐพร และ ธีรภาพ (2544) ได้ทำการศึกษาการทอดมันฝรั่งด้วยระบบสุญญากาศโดยศึกษาปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์ ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่บริเวณกึ่งกลางและผิวของชิ้นอาหาร ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 120, 140 และ160 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 260 และ 360 มิลลิเมตรปรอท จากการศึกษาพบว่า ปริมาณความชื้นในมันฝรั่งหลังทอดจะมีค่าต่ำกว่า เมื่อความดันในการทอดต่ำ และปริมาณความชื้นจะต่ำกว่า เมื่ออุณหภูมิในการทอดสูง ที่ความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ น้ำมันจะเข้าไปในเนื้อมันฝรั่งในช่วงแรก จากนั้นจะปรับตัวลดลงจนกระทั่งคงที่ โดยขึ้นอยู่กับความดัน แต่ที่ความดันบรรยากาศปริมาณน้ำมันในเนื้อมันฝรั่งจะเพิ่มขึ้นตามเวลา

Shyu และ Hwang (2001) ศึกษาผลกระทบการรักษาสภาพและสภาวะต่างๆ ต่อคุณภาพของการทอดแอปเปิลภายใต้สภาวะสุญญากาศ ชิ้นแอปเปิลที่ผ่านการฟอกแล้วถูกรักษาสภาพโดยสารละลายน้ำตาลฟรุกโทส และแช่แข็งก่อนทำการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษารูที่ผิวหน้าตัดของตัวอย่างโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการทอดแอปเปิล คือ ที่ความดัน 3.115 กิโลปาสคาล, อุณหภูมิในการทอด 100–110 องศาเซลเซียส เวลาในการทอด 20-25 นาที และความเข้มข้นของสารละลายฟรุกโทส 30-40 เปอร์เซ็นต์ และทำการเหวี่ยงแยกน้ำมันที่ผิวแอปเปิลที่ผ่านการทอด ที่ 350 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 30 นาที ระหว่างการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ ความชื้นในตัวอย่างและแรงแตกหักของแอปเปิลมีค่าลดลง แม้ว่าอุณหภูมิในการทอดและเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำมันมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นด้วย จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่าปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำมัน สี และแรงแตกหักของแอปเปิลจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิในการทอด และเวลาในการทอดเพิ่มขึ้น

Garayo และ Moreira (2002) ได้ศึกษาการทอดแผ่นมันฝรั่งภายใต้สภาวะสุญญากาศ เพื่อลดปริมาณน้ำมันในแผ่นมันฝรั่ง โดยทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิน้ำมันที่ใช้ทอดต่างกัน (118, 132 และ 144 องศาเซลเซียส) และความดันต่างกัน (16.661, 9.888 และ 3.115 กิโลปาสคาล) ที่มีต่ออัตราการดูดซึมน้ำมันของแผ่นมันฝรั่งและศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้แก่ ผิวสัมผัส สี โครงสร้าง และศึกษาการทอดแผ่นมันฝรั่งภายใต้สภาวะสุญญากาศ (144 องศาเซลเซียส และความดัน 3.115 กิโลปาสคาล) เปรียบเทียบกับการทอดที่สภาวะบรรยากาศ (165 องศาเซลเซียส) จากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิน้ำมันและความดันที่สภาวะต่ำกว่าบรรยากาศ มีผลต่ออัตราการสูญเสียน้ำ และอัตราการดูดซึมน้ำมันของแผ่นมันฝรั่ง แผ่นมันฝรั่งที่ได้จากการทอดที่ความดันต่ำและอุณหภูมิในการทอดสูงจะมีปริมาตรหรือขนาดของชิ้นมันฝรั่งเล็กลง โดยสีของผลิตภัณฑ์ไม่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิของน้ำมันและความดันอย่างชัดเจนนัก ค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันและลดความดันลง นอกจากนี้การทอดแผ่นมันฝรั่งภายใต้สภาวะสุญญากาศ ทำให้ปริมาณน้ำมันในแผ่นมันฝรั่งต่ำกว่าการทอดที่สภาวะบรรยากาศ ค่าความแข็งของแผ่นมันฝรั่งที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศต่ำกว่า และสีที่ได้ดูสดใสกว่าแผ่นมันฝรั่งที่ทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ

ปฐมวงศ์ และ สาลิกา (2546) ได้ศึกษาการทอดปลากะตักโดยใช้เครื่องทอดสุญญากาศ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทอด ศึกษาอัตราการระเหยของน้ำของปลากะตักและปริมาณการดูดซึมน้ำมันในระหว่างการทอด คำนวณค่าใช้จ่ายของเครื่องทอดสุญญากาศ ตลอดจนออกแบบเครื่องทอดสุญญากาศและเครื่องเหวี่ยงแยกน้ำมันที่สามารถรองรับปริมาณการผลิตในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมได้ โดยใช้ปลากะตัก 2 ชนิด คือ ปลาขาว และปลาดำ เป็นวัตถุดิบในการทอด ซึ่งได้สภาวะที่เหมาะสม คือใช้อุณหภูมิน้ำมัน 120 องศาเซลเซียส เวลาในการทอด 20 นาที สำหรับปลาขาว และใช้อุณหภูมิน้ำมัน 140 องศาเซลเซียส เวลาในการทอด 15 นาที สำหรับปลาดำ โดยใช้ความดันสุญญากาศในการทอดปลาทั้งสองชนิดที่ 70 เซนติเมตรปรอท เท่ากัน อัตราการระเหยของน้ำและปริมาณการดูดซึมน้ำมันในระหว่างการทอด พบว่าในช่วงแรกของการทอดอัตราการระเหยของน้ำจะค่อนข้างคงที่และจะลดลงเมื่อใช้เวลาในการทอดนานขึ้น ในส่วนของปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซึมไว้จะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรก และจะค่อย ๆ คงที่ เมื่อใช้เวลาในการทอดนานขึ้น ส่วนค่าใช้จ่ายนั้น ได้แบ่งออกเป็นค่าใช้จ่ายในด้านการผลิตและค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างเครื่องทอดสุญญากาศ โดยเครื่องทอดสุญญากาศที่ได้นั้น มีขนาดบรรจุ 360 ลิตร ใช้ปริมาณน้ำมันในการทอด 180 ลิตร ใช้ปริมาณวัตถุดิบปลากระตักในการทอดต่อครั้ง

จำนวน 12 กิโลกรัม สรุปได้ว่าจะได้กำไรจากการจำหน่ายปลากะตักทอดเดือนละประมาณ 110,000 บาท และต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดสร้างประมาณ 300,000บาท

Moreira et al. (1997) ได้ทำการศึกษาการทอดผลิตภัณฑ์ tortilla chips แบบ น้ำมันท่วมโดยศึกษาผลกระทบของ ความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ เวลาที่ใช้ในการอบก่อนทำการทอด อุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ทอด ขนาดของอนุภาคของแป้งที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ และคุณภาพน้ำมันที่ใช้ในการทอดระหว่างน้ำมันใหม่และน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว ที่มีต่อปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์ เพื่ออธิบายอัตราการดูดซึมน้ำมันในผลิตภัณฑ์ระหว่างการทอด และพยายามควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่าปริมาณน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นผลมาจากค่าความชื้นเริ่มต้นสูงและอนุภาคของแป้งที่เล็ก รวมถึงขนาดของรูพรุนที่กระจายอยู่ทั่วไปบนเนื้อผลิตภัณฑ์ และมวลของอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการทอดมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจาก capillary pressure สูงที่เกิดในระหว่างการเย็นตัวลง นอกจากนี้พบว่าอัตราส่วนของปริมาณน้ำมันต่อการสูญเสียน้ำของผลิตภัณฑ์ไม่ได้ขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำมันในการทอด และปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์นั้นไม่ได้มีผลมาจากคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอด แต่พบว่าคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ทอดนั้นมีผลต่อการแพร่ของน้ำมันในผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน โดยผลิตภัณฑ์ที่ทอดในน้ำมันที่ผ่านการใช้งานแล้ว จะมีน้ำมันที่ผิวมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทอดในน้ำมันใหม่ เนื่องจากความหนืดของน้ำมันที่สูงกว่าทำให้มีการเกาะที่ผิวของผลิตภัณฑ์มากขึ้นและถูกดูดซึมโดยผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นในระหว่างการเย็นตัว นอกจากนี้พบว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำมันในอาหารทั้งหมดถูกดูดซึมในระหว่างทำการทอด ส่วนน้ำมันอีก 64 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำมันที่ผิวอาหารจะถูกดูดซึมในขณะอาหารเย็นตัว โดยยังคงเหลือน้ำมันอีก 36 เปอร์เซ็นต์ ค้างอยู่ที่ผิวของอาหาร

Krokida et al. (2000) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่สูญเสียไปของแท่งมันฝรั่ง และการดูดซึมน้ำมันของแท่งมันฝรั่ง กับเวลาที่ใช้ในการทอดแท่งมันฝรั่ง โดยพิจารณาสมการทาง kinetic จากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของน้ำมันและความหนาของแท่งมันฝรั่งมีผลกระทบอย่างชัดเจนต่อปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น และปริมาณความชื้นที่สูญเสียไปจากแท่งมันฝรั่งปรากฏการณ์การถ่ายโอนมวลที่เกิดแทนที่กันระหว่างน้ำที่อยู่ภายในอาหารกับน้ำมันที่ใช้ทอดสามารถอธิบายโดยสมการดังกล่าวได้ อุณหภูมิน้ำมันและความหนาของตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวแปรที่มีผลกระทบอย่างมากต่อสมดุลของน้ำและน้ำมัน การสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำมันจะเกิดอย่างชัดเจนมากที่อุณหภูมิสูงและความหนาของตัวอย่างน้อย

Moreira และ Barrufet (1998) ได้ทำการศึกษากลไกการดูดซึมน้ำมันของ tortilla chips ระหว่างช่วงเวลาในการเย็นตัวโดยการใช้ทฤษฎี capillary pressure ในการอธิบาย จากการ

ทดลองและการประยุกต์ใช้ทฤษฎีพบว่าสามารถใช้สมการทำนายกลไกได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ การทำนายผลด้วยคอมพิวเตอร์สามารถแสดงผลกระทบของสภาวะที่ต่างกันในการดำเนินการที่มีต่อผลิตภัณฑ์ โดยแสดงให้ทราบว่าปริมาณน้ำมันใน tortilla chips จะมีค่าสูงเมื่อความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์มีค่าสูง ขนาดรัศมีของรูมีค่าน้อย อุณหภูมิของอากาศในการเย็นตัวมีค่าต่ำ และค่า interfacial tension มีค่าสูง

ในระหว่างการทอดอาหาร น้ำมันจะมีอุณหภูมิสูงถึง 175 - 200 องศาเซลเซียส และมีการสัมผัสกับอากาศและน้ำ สภาวะดังกล่าวนี้นำไปสู่การสลายตัวของน้ำมันเนื่องจากความร้อน การออกซิไดซ์ และไฮโดรไลซ์ โดยความร้อนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและพอลิเมอไรเซชัน ทำให้น้ำมันมีคุณภาพต่ำลง และสารบางอย่างซึ่งเกิดจากสภาวะดังกล่าวนั้นมีผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ (Handel et al., 1990 อ้างโดย ชุติมา และดารารัตน์, 2544)

ชุติมา และ ดารารัตน์ (2544) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันทอดมันฝรั่งแท่ง โดยทำการวิเคราะห์ทางเคมี 3 ค่า คือ ค่าเปอร์ออกไซด์ ค่ากรด และTBA ทางกายภาพ คือ ค่าสี และศึกษาการใช้น้ำมันที่เหมาะสม จากการศึกษาพบว่า น้ำมันที่ผ่านการทอดอย่างต่อเนื่อง 15 ครั้ง และน้ำมันจากการสุ่มจากร้านค้าในครั้งที่ 3 มีคุณภาพต่ำไม่เหมาะสำหรับการบริโภค และการใช้น้ำมันที่เหมาะสมต่อการทอดมันฝรั่งแท่งนั้น การเติมน้ำมันใหม่ให้ได้ปริมาตรเท่ากับปริมาตรเริ่มต้นทุกครั้งที่ 3 เหมาะสมทั้งในเรื่องคุณภาพของน้ำมันและค่าใช้จ่ายมากว่าการนำน้ำมันออกครึ่งหนึ่งของปริมาตรที่เหลือแล้วทำการเติมน้ำมันใหม่ให้ได้เท่ากับปริมาตรเริ่มต้นทุกครั้งที่ 3

นอกจากนี้ Hoffman et al. (1994) ได้มีการศึกษาปริมาณกรดไขมันและปริมาณแร่ธาตุในเนื้อปลาแผ่นจากวิธีการประกอบอาหาร 5 รูปแบบ คือ การทอดแบบใช้น้ำมันน้อย (Shallow Fat Fry), การทอดแบบน้ำมันท่วม (Deep Fat Fry), การอบโดยมีแผ่นอลูมิเนียมห่อหุ้ม (Aluminium Foil Covered), การอบโดยปราศจากการห่อหุ้ม (No Covered) และการอบด้วยไมโครเวฟ (Microwave) จากการศึกษาพบว่า การสูญเสียความชื้นขณะทอดมีผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณไขมันรวมในเนื้อปลาแผ่น การดูดซึมน้ำมันและปริมาณน้ำมันภายในผลิตภัณฑ์จากวิธีการทอดทั้งสองวิธีมีค่าเพิ่มขึ้น และมีปริมาณกรดไขมันในปริมาณสูงเช่นกัน ความชื้นที่สูญเสียไปในระหว่างการทอดและการดูดซึมน้ำมันระหว่างการทอดมีผลต่อความเข้มข้นของแร่ธาตุที่เพิ่มขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณน้ำมันที่ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาดูดซึมไว้หลังจากการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเปรียบเทียบกับหลังการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ
2. เพื่อศึกษาคุณภาพของน้ำมันหลังทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเปรียบเทียบกับน้ำมันหลังทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ
3. ประยุกต์ใช้สมการทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงการดูดซึมน้ำมันของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปริมาณน้ำมันที่ผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาดูดซึมไว้ในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเปรียบเทียบกับการดูดซึมน้ำมันของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาที่ทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศได้
2. ทราบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมันที่ใช้ในการทอดหลังการใช้งานภายใต้ระยะเวลาและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่กำหนดในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศเปรียบเทียบกับการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศได้
3. ประยุกต์ใช้สมการทางคณิตศาสตร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่แสดงการดูดซึมน้ำมันของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาหลังการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ สำหรับไว้ใช้ในการพัฒนากระบวนการประกอบอาหารด้วยวิธีการทอดสุญญากาศต่อไปได้

ขอบเขตของการวิจัย

ทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดเต้าหู้ปลาภายใต้สภาวะสุญญากาศ จากสภาวะต่างกัน ได้แก่ ที่อุณหภูมิน้ำมันที่ใช้ทอด 100, 120 และ140 องศาเซลเซียส, ความดันสุญญากาศ 50, 60, และ 70 มิลลิเมตรปรอท และเวลาในการทอด 0, 30, 60, 90, 120 และ 150 วินาที โดยใช้เครื่องทอดสุญญากาศ ศึกษาเปรียบเทียบการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศกับการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ ที่ 165 องศาเซลเซียส ด้วยเวลาในการทอดเท่ากัน จากนั้นทำการศึกษาคุณภาพน้ำมันเปรียบเทียบระหว่างการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศกับการทอดภายใต้สภาวะบรรยากาศ จากตัวแปร ได้แก่ free fatty acids (FFA), peroxide values (PV), thiobarbaturic acid (TBA) values และ color index พร้อมทั้งประยุกต์ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ (2-D Finite Element Model) และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Matlab 6.1) แสดงการดูดซึมน้ำมันของผลิตภัณฑ์เต้าหู้ปลาในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ