บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 การทอดและการดูดซับน้ำมัน

การทอดเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารด้วยความร้อนซึ่งมีการส่งผ่านความร้อนจากตัวกลางให้ความร้อน ได้แก่ น้ำมันหรือไขมันไปยังชิ้นอาหาร ส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิวหน้าของอาหารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยความร้อนนี้จะช่วยถนอมอาหาร โดยทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ในอาหารรวมทั้งช่วยลดปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตีในตัวอาหารอีกด้วย

ในระหว่างการทอด มีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในอาหารดังนี้ (Joslyn, 1964)

1. เกิดการระเหยของน้ำในอาหาร
2. การที่อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์กรอบและมีสีน้ำตาล
3. มีการดูดซับน้ำมันเข้าไปในผลิตภัณฑ์
4. เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ขณะกำลังทอด ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการลอย หรือจมของชิ้นอาหาร

ในส่วนของการดูดซับน้ำมันนั้น Saguy และ Pinthus (1995) ได้สรุปสาเหตุของการดูดซับน้ำมันในระหว่างการทอด ไว้ดังนี้

1. เกิดจากการแทนที่ความชื้น เมื่ออุณหภูมิของน้ำในชิ้นอาหารที่ทอดมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดเดือดและเกิดการระเหยออกไป จะทำให้โครงสร้างของเซลล์ภายในชิ้นอาหารเกิดช่องว่างขึ้น น้ำมันจึงถูกดูดซับเข้าในช่องว่างดังกล่าวแทนที่น้ำ
2. การเกิด crust มีความสัมพันธ์กับการแพร่กระจายของน้ำมันมาก เนื่องจากพบว่าน้ำมันที่ถูกดูดซับเข้าไปในอาหารโดยส่วนใหญ่มักปรากฏอยู่ในของ crust
3. การเกิดแรงดึงระหว่างผิวหน้าของชิ้นอาหารกับน้ำมันที่ใช้ทอด (interfacial Tension) เกิดจากเมื่อจุ่มชิ้นอาหารลงในน้ำมัน น้ำมันที่เกาะที่ผิวหน้าของชิ้นอาหารมีแรงดึงระหว่างผิวหน้ากับน้ำมัน มากกว่าแรงดึงดูดระหว่างน้ำมันกับน้ำมัน เมื่อเวลาทอดผ่านไป แรงดึงระหว่างผิวหน้ากับน้ำมันจะลดลงจนต่ำกว่าแรงดึงดูดระหว่างน้ำมันกับน้ำมัน ทำให้น้ำมันที่ผิวหน้าของอาหารเคลื่อนที่เข้าไปภายในชิ้นอาหาร
4. ความพรุน เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมัน ความพรุนเริ่มต้นของอาหารมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับปริมาณน้ำมันในอาหาร และในระหว่างการทอดความพรุนและการดูดซับน้ำมันจะเพิ่มขึ้น และมีผลต่อกัน
5. Capillary Rise เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดึงระหว่างผิวหน้าของชิ้นอาหารและผกผันกับความพรุนของชิ้นอาหาร

สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันของอาหารทอด ได้แก่ (Sharma, 2000)

1. คุณภาพและองค์ประกอบของน้ำมัน โดยองค์ประกอบจะหมายถึงสิ่งตกค้างต่างๆที่ถูกดูดซับเข้าไป การดูดซับน้ำมันและการเสื่อมสภาพของน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการทอดมากขึ้น การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ได้สารที่ผิวหน้าของอาหารที่มีผลกับการดูดซับของน้ำมัน และสารลดแรงตึงผิวบางชนิดที่เกิดขึ้นในน้ำมันขณะร้อน มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนระหว่างอาหารและน้ำมัน โดยไปลดแรงตึงผิวของ Immiscible material แต่จะพบในน้ำมันที่เสื่อมคุณภาพแล้วเท่านั้น

2. เวลาและอุณหภูมิในการทอดโดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิของน้ำมันสูงขึ้น มีผลให้การดูดซับของน้ำมันลดลง แต่บางงานวิจัยรายงานว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันไม่มีผลกับปริมาณน้ำมันในผลิตภัณฑ์ การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อมวล ทำให้การดูดซับน้ำมันเพิ่มมากขึ้น ถ้าหากผิวหน้าของอาหารขรุขระ ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มีการดูดซับน้ำมันมากขึ้น

3. ปริมาณความชื้น โดยทั่วไปการดูดซับน้ำมันเกิดขึ้นเมื่อความชื้นเคลื่อนที่ออกจากอาหารในระหว่างการทอด อาหารที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้นสูงทำให้มีการดูดซับน้ำมันสูงในผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอด ปริมาณความชื้นที่สูญเสียไปมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับ (Gamble และคณะ, 1987) สำหรับผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น Potato slide เมื่อเติมสารในกลุ่ม คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose, CMC) กับผลิตภัณฑ์คือ potato Slices มีผลให้การดูดซับน้ำมันและการสูญเสียความชื้นลดลง (Berry และคณะ, 1999)

4. องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์บางชนิดที่มีไขมันเริ่มต้นสูงมีผลให้การดูดซับน้ำมันเข้าไปในผลิตภัณฑ์มาก ปริมาณโปรตีนสามารถลดปริมาณน้ำมันได้ เช่นการเติมโปรตีนจากถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์โดนัท สามารถลดปริมาณน้ำมันได้

5. การเตรียมตัวอย่างก่อนการทอด เช่น การลวกหรือการลดปริมาณความชื้นเริ่มต้นของอาหารก่อนการทอด เช่น การอบให้แห้งบางส่วน ทำให้การดูดซับน้ำมันลดลง Sukumar และคณะ (2003) ทดลองผลิตขนมขบเคี้ยวที่ทำจากแป้งถั่วเขียวผสมกับแป้งข้าวโพดที่ผ่านกระบวนการพรีเจลาติไนเซชัน (pre-gelatinization) และนำไปทำแห้งด้วยเครื่องเอ็กทรูดเดอร์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 เป็นเวลา 45 นาทีก่อนนำไปทอด พบว่าสามารถลดการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์ได้ร้อยละ 54

2.2 แป้งชุบทอด

แป้งชุบทอดหรือแป้งสำหรับประกอบอาหารทอดหมายถึงแป้งที่ผสมกับส่วนประกอบอื่นใช้ชุบอาหารก่อนนำไปทอด เพื่อทำให้กรอบ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2534) ส่วนผสมของแป้งชุบทอดประกอบด้วยส่วนผสมหลักคือแป้งและน้ำ และส่วนผสมรองเช่น นม เวย์ แป้งถั่วเหลือง ไข่ ผงฟู เกลือ น้ำตาล เป็นต้น แป้งชุบทอดที่ดีควรเกาะติดผิวอาหาร (adhesion) ได้ดี เมื่อทอดแล้วแป้งจะต้องกรอบ (cripsiness) มีสีน้ำตาลทอง และมีการดูดซับน้ำมัน (oil adsorption) ต่ำ ในส่วนของแป้งที่เป็นส่วนผสมนั้น พบว่าแป้งที่มีอะมิโลสสูงจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัวต่ำ ซึ่งจะทำให้มีการดูดซับน้ำมันน้อยลงแต่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ขาดความกรอบ ในขณะที่แป้งที่มีอะมิโลเพกตินสูงจะให้ผลิตภัณฑ์มีการพองตัวดี แต่จะทำให้มีการดูดซับน้ำมันได้มาก จากข้อจำกัดข้างต้น จึงทำให้มีการนำแป้งที่มีอยู่ในธรรมชาติมาดัดแปรเพื่อให้ได้แป้งที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งาน ซึ่งการดัดแปรแป้งมีทั้งวิธีทางกายภาพและเคมี สำหรับวิธีการดัด

แปรทางกายภาพได้แก่การทำให้เกิดพรีเจลาติไนเซชัน (pre-gelatinization) การลดขนาดเม็ดแป้งทางกล แอนนิลลิง (annealing) และการใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น ส่วนวิธีการดัดแปรแป้งทางเคมีได้แก่ การดัดแปรด้วยเอนไซม์ และการดัดแปรด้วยสารเคมี ผลของการดัดแปรจะทำให้แป้งมีคุณสมบัติการพองตัวและการละลายเปลี่ยนไป เช่นการดัดแปรด้วยกรดหรือการทำให้เกิดออกซิเดชันด้วยเกลือไฮโปคลอไรต์ (hyperchlorite) จะทำให้เกิดการแตกออกของพันธะภายในร่างแห ทำให้เม็ดแป้งกระจายเป็นชิ้นเล็ก ๆ ส่งผลให้เม็ดแป้งมีการละลายและการพองตัวสูงขึ้น ในขณะที่การดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน (esterification) หรืออีเทอริฟิเคชัน (etherification) จะทำให้เกิดการแทนที่ของหมู่อื่นภายในโมเลกุลแป้ง ทำให้พันธะภายในอ่อนแอลง แป้งจึงมีค่าการพองตัวสูงขึ้น ส่วนการดัดแปรโดยวิธีพันธะข้าม (cross linking) จะทำให้ความแข็งแรงของพันธะภายในเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการพองตัวและการละลายลดลง สำหรับตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของแป้งดัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร แสดงดังตารางที่ 2.1

2.3 อนุพันธ์ของเซลลูโลส

อนุพันธ์ของเซลลูโลสเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาการแทนที่ไฮโดรเจนอะตอมที่หมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสด้วยหมู่เมทิล คาร์บอกซีเมทิล ไฮดรอกซีเอทิล และไฮดรอกซีโพรพิล (BeMiller และ Whistler 1996) อนุพันธ์ของเซลลูโลสได้ถูกนำมาใช้ในอาหารอย่างต่อเนื่อง เช่นในอาหารแช่แข็ง เครื่องดื่ม ขนมอบ ผลิตภัณฑ์นม และมันฝรั่งทอด เป็นต้น โดยอนุพันธ์ของเซลลูโลสจะทำหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้ในอาหาร คือเป็นสารให้ความหนืด ทำให้เกิดเจล เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) และเป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัว เป็นต้น (นิธิยา รัตนาปนนท์ 2549)

สำหรับคุณสมบัติในด้านการลดการดูดซับน้ำมันของไฮโดรคอลลอยด์นั้น เนื่องจากอนุพันธ์ของเซลลูโลสบางตัว เช่น เมทิลเซลลูโลส และ ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสสามารถเกิดเจลได้เมื่อได้รับความร้อน (thermogelling) และจะกลับเป็นของเหลวที่มีความข้นหนืดเมื่อปล่อยให้เย็นลง ดังนั้นจึงน่าจะสามารถช่วยกันไม่ให้น้ำมันจากภายนอกถูกดูดซับเข้าไปในอาหาร โดยจากงานวิจัยของ Rimac-Brnčić และคณะ (2003) พบว่ามันฝรั่งแผ่นที่ผ่านการลวกในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.5% และจุ่มลงในสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้น 1% ก่อนนำมาทอดที่ 180°C มีการดูดซับน้ำมันลดลงถึง 54% ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Mallikarjunan และ คณะ (1997) ซึ่งพบว่า เมทิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสช่วยลดการดูดซับน้ำมันในก้อนมันฝรั่งบดได้ถึง 83.6% และ 61.4% ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของแป้งดัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร

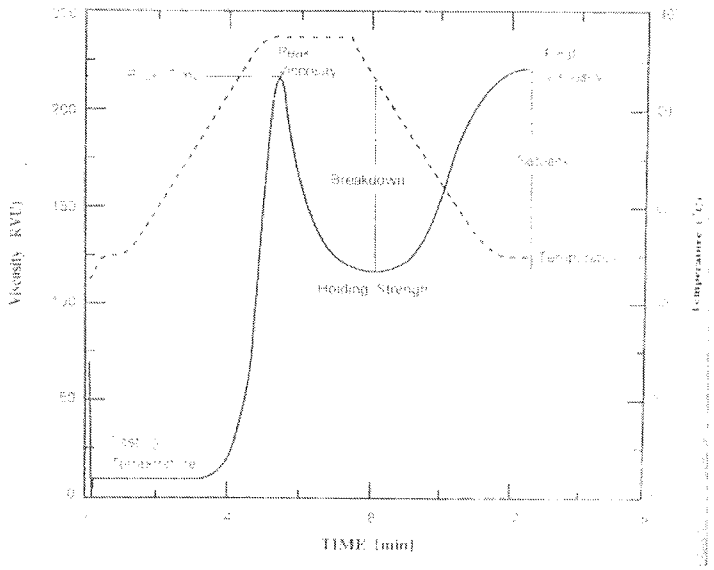
ประเภท	ชื่อแป้งดัดแปร	ตัวอย่างการใช้
1. แป้งที่เกิดเจลในน้ำที่อุณหภูมิห้องหรือต่ำกว่า	พรีเจลาทิไนซ์สตาร์ช (pregelatinized starch)	- ทำไส้กึ่งสำเร็จรูปสำหรับอาหารประเภทพาย
2. แป้งที่ละลายได้ในน้ำ	เดกซ์ตริน (dextrin)	- ครีมเทียม ลูกกวาด ทอฟฟี่ ซุปกึ่งสำเร็จรูป
3. แป้งที่มีความหนืดต่ำกว่าแป้งธรรมชาติ	ทินบอยลิงสตาร์ช (thin-boiling starch)	- ลูกกวาด ทอฟฟี่ ช็อกโกแลต - ใช้ในซุปกึ่งสำเร็จรูป
4. ออกซิไดซ์สตาร์ช(oxidized starch)	บลีชด์สตาร์ช (bleached starch)	- ใช้ในอาหารประเภทเหลวที่ต้องการความข้น
	ออกซิไดซ์สตาร์ (oxidized starch)	- ใช้อาหารที่มีความเป็นกรดสูง เช่น ซอส
5. ครอสส์- ลิงก์สตาร์ช (cross-linked starch)	ไดสตาร์ชฟอตเฟต(distarch phosphate)	- ใช้ในอาหารที่ต้องใช้ความร้อนเป็นเวลานาน เช่น ใช้ในอาหารกระป๋องที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 40 ถึง 60 นาที
	สตาร์ชซักซิเนต (starch succinate)	- ใช้ในอาหารแช่เย็นหรือแช่เยือกแข็งที่บริโภคในขณะที่เย็นอยู่
6. ซับสติทิวเตดสตาร์ช (substituted starch)	ไฮดรอกซี-โพรพิลสตาร์ช (hydroxypropyl starch)	- ใช้ในอาหารแช่เย็นหรือแช่เยือกแข็ง - ใช้ในอาหารที่ไม่เป็นกรด
	สตาร์ชแอซีเทต (starch acetate)	- ใช้ในอาหารที่ต้องใช้ความร้อนเป็นเวลานาน เช่น ใช้ในอาหารกระป๋องที่ผ่านการฆ่าเชื้อ 121 องศาเซลเซียส นาน 40 ถึง 60 นาที
	โมโนสตาร์ชฟอตเฟต (monostarch phosphate)	

(ที่มา : มอก. 1073-2535)

2.4 คุณสมบัติทางรีโอโลจีของแป้ง

ความหนืดเป็นคุณสมบัติทางรีโอโลจีที่สำคัญของแป้ง โดยเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนกับน้ำแป้ง เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำและพองตัวขึ้น ทำให้น้ำบริเวณรอบเม็ดสตาร์ชเหลือน้อยลง ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชเคลื่อนไหวได้ยาก เกิดเป็นความหนืดขึ้น สำหรับการตรวจวัดความหนืดของแป้งอาจทำโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว หรือ Rapid Visco Analyzer (RVA)

เครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็วเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาจากความหนืดของตัวอย่างขณะที่ให้ความร้อน ซึ่งผลการวิเคราะห์จะแสดงผลในรูปกราฟที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (รูปที่ 2.1) ซึ่งมีความหมายดังนี้



รูปที่ 2.1 ลักษณะกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA
(ที่มา : Newport Scientific Pty, / Ltd. ,1995)

(1) peak time : เวลาที่เกิดจุดสูงสุด (peak) ของความหนืด มีหน่วยเป็นนาที

(2) pasting temperature : อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าหวามหนืด หรือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

(3) peak temperature : อุณหภูมิที่เกิดจุดสูงสุด (peak) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

(4) peak viscosity : ความหนืดที่ความหนืดที่จุดสูงสุด มีหน่วยเป็น RVU

(5) holding strength : ความหนืดที่คงอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียสไว้ระยะหนึ่งแสดงถึงความคงทนต่อการกวน มีหน่วยเป็น RVU

(6) breakdown : ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด(ความหนืดเมื่อคงอุณหภูมิไว้ที่ 95 องศาเซลเซียส ไว้ระยะหนึ่ง) มีหน่วยเป็น RVU

(7) final viscosity : ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง มีหน่วยเป็น RVU

(8) setback from peak : ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุดสูงสุด (peak) มีหน่วยเป็น RVU

setback from trough : ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU