

บทที่ 1

บทนำและวารสารปริทัศน์

1.1 บทนำ

มะเขือเทศ เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งในการส่งออก โดยส่งออกในรูปมะเขือเทศสดแช่เย็น มะเขือเทศกระป๋องเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งในปี 2543 นั้น มีปริมาณส่งออกมะเขือเทศสดแช่เย็น 1,350 เมตริกตัน มีมูลค่า 7.0 ล้านบาท และปริมาณการส่งออกมะเขือเทศกระป๋อง 9,685 เมตริกตัน มีมูลค่า 221.7 ล้านบาท (ศูนย์สารสนเทศเศรษฐกิจการค้า, 2544) ในการผลิตมะเขือเทศเข้มข้นในภาชนะบรรจุนั้น ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตซอสมะเขือเทศ และใช้เป็นส่วนผสมในการทำปลากระป๋อง อาจกล่าวได้ว่า การผลิตมะเขือเทศเข้มข้นขยายตัวขึ้นตามการขยายตัวของอุตสาหกรรมปลากระป๋อง (วนิดา มุคตารี, 2531) แต่มะเขือเทศเข้มข้นยังมีปริมาณน้ำอยู่สูง ทำให้ขนส่งได้ในปริมาณน้อย จึงมีต้นทุนการขนส่งสูง ถ้าสามารถนำมะเขือเทศเข้มข้นมาลดปริมาณน้ำจนให้มีลักษณะเป็นผงได้ จะทำให้มีน้ำหนักและปริมาตรในการเก็บและขนส่งน้อยลง ซึ่งจะทำให้ต้นทุนในการขนส่งถูกลงด้วย นอกจากนี้ มะเขือเทศที่เป็นผงยังง่ายต่อการเก็บรักษา เนื่องจาก มีปริมาณความชื้นต่ำ และสะดวกต่อการใช้งาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ ต้องการศึกษหาสภาวะที่เหมาะสม ในการผลิตมะเขือเทศผงด้วยวิธีทำแห้งสูญญากาศแบบโฟม (vacuum foam-drying) เพื่อให้ได้มะเขือเทศผง ที่มีคุณภาพดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

1.2 วารสารปริทัศน์

มะเขือเทศ(tomato) มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Lycopersicon esulentum* ประกอบด้วยองค์ประกอบ หลายชนิด (Gould ,1992) ดังตารางที่ 1.1

มะเขือเทศเป็นผักและผลไม้ ที่มีผู้นิยมบริโภคผลสด และนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ เช่น มะเขือเทศในภาชนะบรรจุ (canned tomatoes) น้ำมะเขือเทศ (tomato juice) มะเขือเทศเข้มข้น (tomato paste) ซอสมะเขือเทศ (tomato sauce) เคตซัปมะเขือเทศ (tomato ketchup) (กาญจนวนรัตน์ ทวีสุข, 2524) รวมถึง การแปรรูปเป็นมะเขือเทศผง (tomato powder) ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะมะเขือเทศเข้มข้นและมะเขือเทศผง เท่านั้น

ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบของมะเขือเทศและผลิตภัณฑ์ของมะเขือเทศใน 100 กรัมของส่วนที่บริโภคได้

องค์ประกอบ	มะเขือเทศสด	มะเขือเทศเข้มข้น	น้ำมะเขือเทศสดที่ถูกทำแห้ง
น้ำ (% (โดยน้ำหนักเปียก))	93.5	75	1
โปรตีน (กรัม)	1.1	3.4	11.6
ไขมัน (กรัม)	0.2	0.4	2.2
คาร์โบไฮเดรตรวม (กรัม)	4.7	18.6	68.2
ไฟเบอร์ (กรัม)	0.5	0.9	3.1
เถ้า (กรัม)	0.5	2.6	17.0
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	13	27	85
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	27	70	279
โซเดียม (มิลลิกรัม)	3	38	3934
โปแตสเซียม (มิลลิกรัม)	244	888	3518
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.5	3.5	7.8
วิตามินเอ (หน่วยสากล)	900	3300	13100
ไทอะมีน (มิลลิกรัม)	0.06	0.20	0.52
ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.04	0.12	0.40
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.7	3.1	13.5
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	23.0	49	239
พลังงาน (แคลอรี)	22.0	82	303

ที่มา: Gould (1992)

1.2.1 มะเขือเทศเข้มข้น

มะเขือเทศเข้มข้น ตามนิยามของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.305-2522, 2538) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวที่ได้จากมะเขือเทศ ที่สุก สด และสะอาด นำมากรองหรือใช้กรรมวิธีอื่นเพื่อขจัดเปลือก เมล็ด และวัตถุอื่น ๆ ที่มีขนาดใหญ่ออกไป แล้วทำให้เข้มข้นจนมีแข็งที่ละลายน้ำได้ของมะเขือเทศ (natural tomato soluble solids) ตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยแบ่งมะเขือเทศเข้มข้น ออกเป็น 2 ชนิด ตามความเข้มข้น คือ ชนิดที่กำหนด ให้มีสารที่ละลายน้ำได้ของมะเขือเทศไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 แต่ไม่เกินร้อยละ 24 จัดเป็นมะเขือเทศชั้น (tomato puree) และชนิดที่กำหนดให้มีสารที่ละลายน้ำได้ของมะเขือเทศไม่น้อยกว่าร้อยละ 24 จัดเป็นมะเขือเทศชั้นมาก (tomato paste)

1.2.1.1 ข้อกำหนดของ Food and Drug Administration ของประเทศสหรัฐอเมริกาเกี่ยวกับมะเขือเทศเข้มข้น (Gould, 1992)

มะเขือเทศเข้มข้นเป็นผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากองค์ประกอบ 1 หรือ 2 อย่างหรือทั้งหมดรวมกัน คือ

- (1) ของเหลวที่ได้จากมะเขือเทศที่แก่ มีสีแดง หรือสีแดงเรื่อ
- (2) ของเหลวที่ได้จากของเหลือจากการเตรียม เช่น มะเขือเทศบรรจุกระป๋อง ซึ่งของเหลือ นี้คือ เปลือก แกน ซึ่งอาจมีหรือไม่มีชิ้นมะเขือเทศ หรือมะเขือเทศ
- (3) ของเหลวที่ได้จากส่วนที่เหลือ จากการสกัดเอาน้ำมะเขือเทศบางส่วนออกไปแล้ว ของเหลวที่ได้จากการบีบมะเขือเทศโดยตรง หรือส่วนที่เหลือของมะเขือเทศ (ซึ่งอาจมีการให้ความร้อนหรือไม่ก็ได้ แต่ไม่รวมถึงส่วนผิว เมล็ด ส่วนที่หยาบหรือของแข็งของมะเขือเทศ อาจเติม กรดเกลือ (HCl) ที่เป็น food grade ลงไปในมะเขือเทศ ในปริมาณที่รักษา pH ไม่ให้ ต่ำกว่า 2.0 ± 0.2 แล้วทำให้เป็นกลาง ด้วย NaOH ซึ่งเป็น food grade ให้มี pH ประมาณ 4.2 ± 0.2 ก่อนที่จะนำมะเขือเทศไปคั้น น้ำของเหลวที่ได้ มาทำให้เข้มข้นแล้วอาจปรุงแต่งด้วยส่วนผสม 1 อย่าง หรือมากกว่าก็ได้ ซึ่งส่วนผสมที่อาจเลือกให้มี ดังนี้
- (4) เกลือแกง(NaCl) ที่เกิดจากการทำกรดเกลือ(HCl) ให้เป็นกลางด้วย NaOH ถือว่า เป็นเกลือที่เติมลงไป
- (5) เครื่องเทศ (spice)
- (6) สารเพิ่มกลิ่นรส (flavoring)

นอกจากนี้อาจประกอบด้วย baking soda ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการทำให้กรดในมะเขือเทศเป็นกลาง

1.2.1.2 กระบวนการผลิตมะเขือเทศเข้มข้น

มะเขือเทศที่นำมาใช้ในกรรมวิธีการแปรรูปนี้จะต้องสด ปราศจากตำหนิหรือโรคแมลง และความสุกเพียงพอ เช่น พันธุ์ P502 มีผลขนาดใหญ่ ความสุก 65-70 วัน (วนิดา มุคตารี, 2531) มะเขือเทศควรมีสีแดงจัดและสดสม่ำเสมอ เพราะมะเขือเทศที่มีสีเขียว สีเหลือง หรือสีอื่น ๆ จะทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีกลิ่นรสเสียไป โดยในกระบวนการแปรรูปจะเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนสี (discoloration) สีเขียวของคลอโรฟิลล์ (green pigment chlorophyll) ที่มีในวัตถุดิบ มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีขุ่นคล้ำไป มะเขือเทศที่ได้รับการคัดเลือกจะถูกนำมาล้าง เพื่อแยก impurity หรือพวกราออกโดยใช้น้ำ หลังจากนั้น มะเขือเทศจะถูกคัดและจัดจำพวก แล้วนำไปบดเพื่อให้ได้เป็น

เนื้อมะเขือเทศ (pulp) แยกเปลือกและเมล็ดออกไป ซึ่งโดยปกติการบีบมะเขือเทศให้แตกมี 2 แบบ คือ hot-break และ cold-break โดยวิธี cold-break มะเขือเทศจะถูกบดภายใต้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส ซึ่งที่อุณหภูมินี้ไม่สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เพคติกได้ ทำให้เอนไซม์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาในระหว่างที่บดมะเขือเทศไปย่อยสลายเพคติน ซึ่งผลอันนี้ขึ้นกับเวลาที่เก็บมะเขือเทศไว้ภายหลังจากที่บดมะเขือเทศแล้ว ยังไม่ได้นำไปผ่านกระบวนการขั้นตอนต่อไป เนื้อมะเขือเทศที่ได้จากการทำโดยวิธีการนี้ จะมีสี กลิ่นรสดีกว่า และมีปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่มากกว่าการใช้วิธี hot-break แต่วิธี cold-break นั้น มีเอนไซม์ที่จะทำการย่อยสลายเพคตินที่มีอยู่ให้หมดไป ทำให้ความหนืดของเนื้อมะเขือเทศต่ำกว่าแบบ hot-break จึงไม่นิยมใช้วิธีนี้กัน ส่วนวิธี hot-break อุณหภูมิที่ใช้สูงกว่า 82 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิดังกล่าว สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์เพคติน ดังนั้น จึงเป็นการป้องกันการย่อยสลายเพคติก ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความคงตัวสูงกว่าวิธี cold-break หลังจากนั้นเมื่อได้เนื้อมะเขือเทศแล้ว นำมาระเหยน้ำ ทำให้เพิ่มส่วนของแข็งในเนื้อมะเขือเทศจนกระทั่งได้ความเข้มข้นตามต้องการ(Goose and Binsted, 1973) กระบวนการผลิตมะเขือเทศเข้มข้น ดังแสดงในแผนภูมिरูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตมะเขือเทศเข้มข้น
ที่มา: Goose และ Binsted (1973)

1.2.2 มะเขือเทศผง

เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างมะเขือเทศเข้มข้นและมะเขือเทศผง จะพบว่า มะเขือเทศผงมีข้อดีหลายด้าน เช่น มีน้ำหนักและปริมาตรน้อยกว่า ทำให้ขนส่งได้ง่าย นอกจากนี้ ยังเก็บรักษาไว้ได้เป็นเวลานานเพราะมีปริมาณน้ำน้อย (Goose and Binsted, 1973)

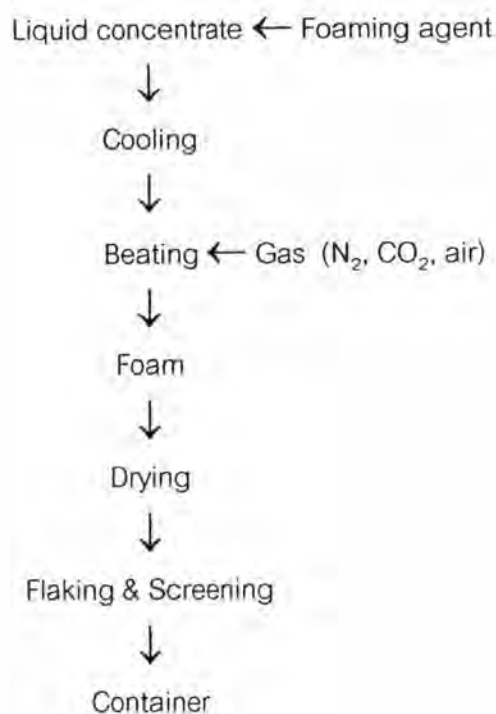
ประโยชน์ของมะเขือเทศผง (Goose and Binsted, 1973)

- (1) ลดการสูญเสียในระหว่างการคั้นตัวหรือการนำไปใช้
- (2) ใช้เป็นส่วนผสมในการกำหนดสูตรอาหารได้ง่าย โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความชื้นต่ำ
- (3) เหมาะสำหรับใช้ใน dry mixes ที่ไม่ต้องการทำแห้งในระหว่างการนำไปใช้

มะเขือเทศผงสามารถผลิตได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง (freeze drying) การทำให้แห้งแบบพ่นกระจาย (spray drying) การแห้งทำแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก (drum drying) การทำให้แห้งแบบโฟม (foam-mat drying) ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน โดยที่การทำแห้งแบบเยือกแข็งได้มะเขือเทศผงที่มีกลิ่นรส เหมือนมะเขือเทศสดมากที่สุด แต่การลงทุนในการผลิตสูง การทำให้แห้งแบบพ่นกระจายนั้น หัวฉีด (atomizer) จะต้องเป็นหัวฉีดที่เฉพาะ เพราะมะเขือเทศเข้มข้น ที่ใช้ในการทำให้แห้งแบบพ่นกระจายนั้น มีความหนืดสูง ส่วนการทำแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกนั้น มีการลงทุนในการผลิตถูกที่สุด แต่คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่ำกว่า 2 วิธีแรก แต่การทำแห้งแบบโฟมนั้น จะได้มะเขือเทศผงที่ค่อนข้างดี การลงทุนในการผลิตไม่สูงมาก (Goose and Binsted, 1973; Holdsworth, 1986)

1.2.3 การทำให้แห้งแบบโฟม

การทำให้แห้งแบบโฟม (foam-mat drying) เป็นวิธีการทำแห้งอาหารเหลว เริ่มมีการพัฒนานำเทคนิคของการเกิดโฟม (foaming technique) มาใช้ในการดึงน้ำออกจากอาหารเมื่อปี 1960 ที่ USDA's Western Regional Research Laboratory ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยอาศัยหลักการที่ว่า การเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับอาหารที่จะสัมผัสกับความชื้นร้อน ทำให้อัตราการทำให้แห้ง (drying rate) เร็วขึ้น (Morgan, 1974) โดยกระบวนการทำให้แห้งแบบโฟม แสดงในแผนภูมิรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 กระบวนการทำแห้งแบบโฟม

ที่มา: Morgan (1974)

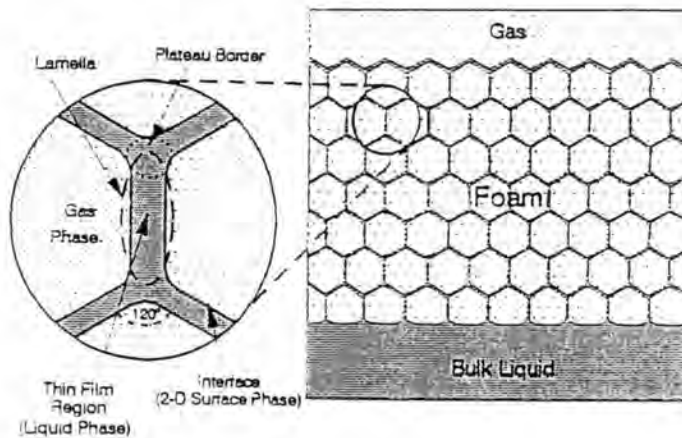
1.2.3.1 การเกิดโฟม (foaming)

โฟมเป็นของผสม 2 เฟส คือ เฟสของเหลว (liquid phase) เป็นส่วนต่อเนื่อง และเฟสของก๊าซ (gas phase) เป็นส่วนกระจาย ซึ่งมีลักษณะของเซลล์ก๊าซแยกออกจากกันโดยเยื่อของเหลวบาง ที่เรียกว่า ฟิล์มบาง (thin film) หรือ ลามेलลาร์ (lamellar) เป็นโครงสร้างตาข่ายของ Plateau border (Schramm and Wassmuth, 1994; Hill, 1998) แสดงดังรูปที่ 1.3

การทำให้เกิดโฟมหรือทำให้ก๊าซสามารถกระจายตัวเป็นฟองเล็กๆ แทรกอยู่ในของเหลว ทำได้โดย (Walstra, 1996)

- (1) การตีหรือกวนด้วยความเร็วสูงๆ
- (2) การพ่นก๊าซ (aeration-gasification) เช่น อากาศ ก๊าซไนโตรเจน (N₂) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งพบว่า ก๊าซไนโตรเจนจะช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ในสีของผักและผลไม้

(3) การลดความดันแก่อากาศที่ถูกกระทำด้วยความดันสูง โดยการเพิ่มความดันในอาหารเหลวทำให้ก๊าซ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ละลายในอาหารเหลวมากขึ้น จากนั้นนำอาหารเหลวมาลดความดัน จะเกิดฟองก๊าซขึ้น



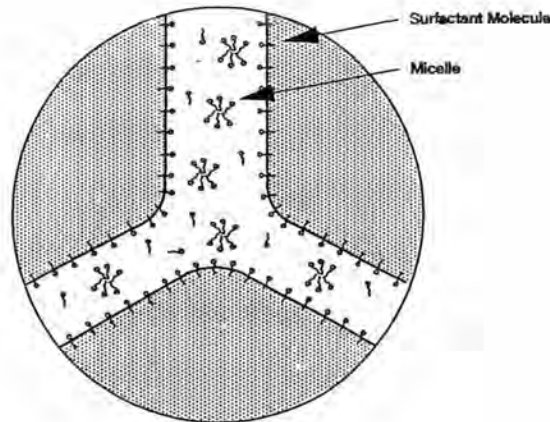
รูปที่ 1.3 A generalized foam system.

ที่มา: Schramm และ Wassmuth (1994)

ในการทำให้เกิดโฟมภายในเนื้ออาหารนั้น อาหารบางอย่างไม่สามารถเกิดโฟมได้หรือบางชนิดเกิดโฟมได้ แต่อยู่ได้ไม่นานโฟมก็จะหายไป จึงต้องใช้สารเคมีหรือสารที่ทำให้เกิดโฟม (foaming agent) เข้าช่วย

1.2.3.1.1 สารที่ทำให้เกิดโฟม

เป็นสารพวกที่ลดแรงตึงผิว (surfactant) เป็นคำย่อของ surface active agent เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการจัดเรียงตัวบนพื้นผิวระหว่างเฟส ทำให้แรงตึงผิว (surface active) ของอาหารเหลวลดต่ำลง สารลดแรงตึงผิว มีโครงสร้างโมเลกุลที่ประกอบด้วย ส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) ซึ่งเป็นพวกอนุโมลอิสระที่มีประจุอยู่ เช่น OH^- COO^- NH_2^+ และ N^+ เป็นส่วนหัว และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ซึ่งเป็นส่วนของอนุพันธ์ คาร์บอนอะตอมที่มีสายยาวๆ (aliphatic carbon chain) เป็นส่วนหาง (Kouloheris, 1974; Schramm and Wassmuth, 1994) ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 Surfactant associations in a foam lamella.
ที่มา: Schramm และ Wassmuth (1994)

สารที่ทำให้เกิดโฟม มีหลายชนิดดังแสดงในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 สารที่ทำให้เกิดโฟม

สารที่ทำให้เกิดโฟม	ชื่อทางการค้า	FDA approved ¹
Glyceryl monostearate	Myverol 18-00, GMS	Yes
Modified soya albumin	D-100, MSA	Yes
Sucrose monopalmitate		No
Sucrose monolaurate		No
Egg albumin		Yes
Sorbitan monostearate	Span 60	partially
Polyoxyethylene sorbitan monostearate	Tween 60	partially
Methylcellulose	Methocel 10 CPS, MC	Yes
Guar gum	Jaguar 307	Yes
Tapioca-starch	Cell U	Yes

¹Individual manufactures should consult the Food and Drug Administration, Washington 25. D. C., and the food and drug officials of the individual states involved, to determine if the use of any proposed additive is permissible, and if so, what limitations are placed on its use.

ที่มา: Hart และคณะ (1963)

1.2.3.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของโฟม (นิธิยา รัตนานนท์, 2539)

- (1) การทำให้ของเหลวมีความหนืดสูงขึ้น จะทำให้โฟมมีความคงตัวมากขึ้น
- (2) ของเหลวที่มีแรงตึงผิวต่ำ จะช่วยทำให้ของเหลว มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นรอบๆ ฟองอากาศ โดยไม่บีบฟองอากาศแตกเร็วเกินไป ดังนั้นการเปลี่ยนแรงตึงผิวของฟิล์ม สามารถทำให้ "make or break" เกิดขึ้นกับโฟมได้
- (3) ของเหลวต้องมีความดันไอต่ำ เพราะทำให้ของเหลวกลายเป็นไอได้ยาก หรือของเหลวจะระเหยได้ช้า ถ้าของเหลวมีความดันไอสูง จะกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว ทำให้ฟิล์มที่ล้อมรอบฟองอากาศ บางลงและโฟมจะยุบตัว (bubble collapse)
- (4) การเกิดฟิล์มของอนุภาคฟองอากาศ โฟมที่มีความคงตัวฟิล์มที่เกิดขึ้นต้องมี high degree of surface elasticity และ surface viscosity
- (5) สารที่ทำให้เกิดโฟม มีความแข็งตัว (rigidity) ที่ระหว่างผิวของอากาศ และของเหลวเช่นโปรตีนที่มีอยู่ในอาหาร เมื่อทำให้เกิดโฟมโดยการตีปั่น โปรตีนจะเสียสภาพขณะตีปั่น จะช่วยทำให้โฟม มีความแข็งตัว และคงตัวมากขึ้นด้วย
- (6) การมีประจุไฟฟ้าอยู่บนผิวของฟิล์ม

ซึ่งความคงตัวของโฟมที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบโฟม คือ โฟมของอาหารไม่มีการแยกตัวของอากาศจากของเหลว หลังจากที่ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง อย่างน้อยที่สุด 1 ชั่วโมง (Torrey, 1974)

1.2.3.2 การทำแห้ง

โฟมที่เกิดจากอาหารเหลว จะถูกทำให้เป็นแผ่นบาง ๆ หนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ซึ่งพบว่า ที่ความหนาเท่านี้ อาหารจะแห้งได้ภายในเวลา 10 ถึง 20 นาที โดยที่ใช้อุณหภูมิไม่สูงนัก อุณหภูมิของอาหารจะประมาณ 135 องศาฟาเรนไฮต์ โดยความหนาของแผ่นโฟมยิ่งบางเท่าไร จะทำให้อาหารแห้งเร็วขึ้น แต่จะมีเนื้ออาหารอยู่น้อยลง (Morgan, 1974)

Ginnette และคณะ (1963) ได้ศึกษาการผลิตมะเขือเทศผงด้วยวิธีทำแห้งแบบโฟม โดยใช้กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องที่มีขนาดเล็ก ใช้มะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด อยู่ระหว่าง 26-36 % (โดยน้ำหนักเปียก) โดยใช้ glyceryl monostearate (GMS) เป็นสารที่ทำให้เกิดโฟม ที่มีระดับความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.6-1.5% (โดยน้ำหนักแห้ง) มีอัตราการป้อนวัตถุดิบ 40

ปอนด์ต่อชั่วโมง residence time 15 นาที โดยให้อุณหภูมิลมร้อน 3 ชั้น คือ 210, 170 และ 130 องศาฟาเรนไฮต์ และมีความเร็วลมในแต่ละชั้นเป็น 300, 100 และ 50 ฟุตต่อนาที ตามลำดับ พบว่า มะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 30% (โดยน้ำหนักเปียก) เป็นระดับความเข้มข้นที่ดีที่สุด ส่วนปริมาณการใช้ GMS 0.6-1.5% (โดยน้ำหนักแห้ง) ขึ้นกับแหล่งที่มา และปริมาณของแข็งทั้งหมดของมะเขือเทศเข้มข้น ซึ่งมะเขือเทศผงที่ได้จะมีความชื้นอยู่ระหว่าง 2.5-3.0 % (โดยน้ำหนักแห้ง) เป็นผลให้มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น แต่มีการสูญเสียกลิ่นในระหว่างการผลิต

Brygidyr, Rzepecka และ McConnell (1977) ได้ศึกษาการผลิตโฟมที่มีความคงตัวในโฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 27 % (โดยน้ำหนักเปียก) โดยใช้ mono & diglyceride เป็นสารที่ทำให้เกิดโฟมที่แปรปริมาณความเข้มข้นในช่วง 1-3% (โดยน้ำหนักแห้ง) แล้วนำไปทำแห้งโดยใช้ลมร้อน (hot air) ที่อุณหภูมิ 76.7 องศาเซลเซียส และใช้พลังงานไมโครเวฟ (microwave energy) ที่มีคลื่นความถี่ 2450 เมกะเฮิร์ตซ์ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งคือ โฟมมีความหนาแน่น 0.38 กรัมต่อมิลลิเมตร ซึ่งจะมี bubble size index ประมาณ 83 ไมครอนที่มีการเติม mono & diglyceride 1% (โดยน้ำหนักแห้ง) และการทำแห้งด้วยลมร้อนและพลังงานไมโครเวฟให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีเหมือนกัน แต่การใช้พลังงานไมโครเวฟ มีอัตราการทำแห้งเร็วกว่า (ประมาณ 4-8 เท่า ขึ้นอยู่กับระดับกำลัง (power) ที่ใช้)

Sepitka (1983) ได้ศึกษาการผลิตมะเขือเทศผงจากมะเขือเทศเข้มข้น โดยวิธีการทำแห้งแบบโฟม ซึ่งใช้สภาวะในการทดลองในระบบสุญญากาศที่ความดัน 40 กิโลปาสคาล โดยใช้ อุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส โดยมีความหนาชั้นโฟมอยู่ในช่วง 2-5 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่า ความหนาชั้นโฟมมีผลต่อ drying kinetic มากที่สุด โดยที่ความหนาชั้นโฟม 2 มิลลิเมตร มีอัตราการทำแห้ง (constant drying rate) 30 % ต่อนาที ที่อุณหภูมิ 65-85 องศาเซลเซียส จะไม่มีผลต่อ drying kinetic แต่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

มะเขือเทศผงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความยุ่งยากในการจัดการในระหว่างขั้นสุดท้ายของการทำแห้ง และภายหลังจากการทำแห้ง เนื่องจาก ผงที่แห้งเป็น thermoplastic จะเกิด tacky ได้มากที่อุณหภูมิสูง และมะเขือเทศผงมีความสามารถในการดูดความชื้นกลับได้เร็ว (hygroscopic) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเหนียวเหนียว (sticky) ฉะนั้น การบรรจุ การเก็บรักษาต้องทำอย่างระมัดระวัง เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว รวมถึงการเติมสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน (anticaking agent) เพื่อรักษาคุณสมบัติด้านการไหล (free-flowing property) (Goose and Binsted, 1973)

1.2.4 สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน (Peleg and Hollenbach, 1984)

สารนี้อาจเรียกเป็นชื่ออื่นๆ เช่น flow conditioner, free-flowing agent, lubricant, glidant และ antiagglomerant เป็นต้น มีลักษณะเป็นของแข็งที่เป็นผงขนาดเล็ก ใช้เติมลงไป ในผลิตภัณฑ์อาหารผง (host powder) เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการไหล และ/หรือป้องกันการจับตัวเป็นก้อน conditioner มักเป็นสารที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี และมีประสิทธิภาพดีในระดับความเข้มข้นไม่เกิน 2 % (โดยน้ำหนักเปียก) conditioner ส่วนใหญ่จะไม่ละลายน้ำ แต่สามารถดูดซับน้ำได้ เนื่องจากมีพื้นผิวมาก conditioner ที่นิยมใช้กันในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ silicon dioxide, silicates, phosphates, salts of stearic acid, talcum, starches และ modified carbohydrates

โดยทั่วไป conditioner จะสามารถทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพดี เมื่อ particle ของ conditioner เกาะติด (adhere) และเข้ากันได้ดีกับ host powder host powder ที่ปกคลุมด้วย conditioner particle จะถูกแยกจากกันทางกายภาพ interparticle interaction ณ จุดที่สัมผัสกัน จึงเป็น interaction ระหว่าง conditioner particle ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเลือก conditioner ที่มี attractivity ระหว่างกันต่ำ conditioner ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารทางการค้า แสดงดังตารางที่ 1.3

conditioner จะทำให้ host powder แยกจากกันทางกายภาพโดย

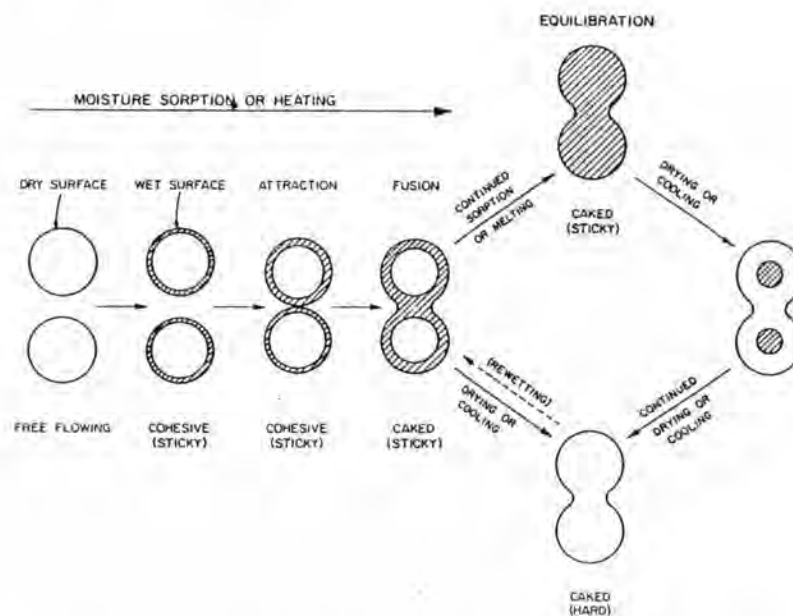
1.2.4.1 interruption of liquid bridging

การดูดความชื้นจะทำให้เกิด liquid layer ที่บริเวณพื้นผิวของอนุภาค ที่มี water-soluble substances โดย liquid layer นี้ อาจขยายไปยังอนุภาคใกล้เคียง จนเกิดเป็น interparticle liquid bridge เมื่อ bridge เกิดการแข็งตัวหรือตกผลึกจะทำให้เกิด solid bridge กระบวนการนี้เรียกว่า humidity caking ซึ่งเป็น caking mechanism ที่พบโดยทั่วไปใน food powder รายละเอียดของกระบวนการดังรูปที่ 1.5 ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ conditioner สามารถขัดขวาง mechanism นี้ได้โดยการขัดขวางความต่อเนื่องของ liquid layer แม้เมื่อเกิด solid bridge แล้ว conditioner จะช่วยให้ mechanical strength ของ solid bridge ลดลง ดังนั้นจึงสามารถทำลายได้โดยง่าย เป็นผลให้สามารถรักษา powder flowability ไว้ได้

ตารางที่ 1.3 สารป้องกันการจับตัวเป็นก้อน ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารทางการค้า

Type and major active component	Examples of manufacturer 's recommended food uses
silicates	
silicon dioxide (SiO ₂)	flavors, egg, salts, spices, dried soups and bases, cocoa, milk substitutes and coffee whiteners, sugar, cheese, dates, citric acid
sodium silicoaluminate	cake and dessert mixes, egg, dairy products, sauces
stearate	
calcium stearate [Ca(C ₁₈ H ₃₅ O ₂) ₂ .H ₂ O]	onion and garlic salts, meat dry-curing mixes
magnesium stearate [Mg(C ₁₈ H ₃₅ O ₂) ₂ .H ₂ O]	
phosphates	
TCP [3Ca ₃ (PO ₄) ₂ .Ca(OH) ₂]	salt, sugars, spices
TCP [Ca ₅ (PO ₄) ₃ .OH]	
polysaccharides	
depolymerized starch	spice blends, artificial sweeteners
microcrystalline depolymerized cellulose	imitation mozzarella cheese

ที่มา : Peleg และ Hollenbach (1984)



รูปที่ 1.5 caking mechanism ที่พบโดยทั่วไปในผลิตภัณฑ์อาหารผง

ที่มา: Peleg (1983)

1.2.4.2 lubrication

internal friction เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อ สมบัติด้านการไหลของ free-flowing powder โดย conditioner บางชนิดสามารถทำหน้าที่เหมือนกับเป็น lubricant โดยทำให้เกิด smoother surface (เช่น stearates) หรือทำหน้าที่เสมือน miniroller ที่คั่นระหว่าง host particle มีผู้ทดลองวัดมุมของ internal friction ของตัวอย่าง conditioned และ unconditioned powder sucrose พบว่า calcium stearate เป็น effective lubricant โดยสามารถลดมุมของ friction ลง 2-5 องศา ส่วน silicon dioxide, silicates และ tricalcium phosphate(TCP) มีผลให้มุมของ friction ลดลงเล็กน้อยเท่านั้น

1.2.4.3 competition for adsorbed water

conditioner powder ส่วนใหญ่จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูง จึงมักมีการกล่าวอ้างว่า conditioner จะมีการแข่งขันการดูดซับน้ำที่มีอยู่ใน host powder จึงสามารถลด hygroscopicity และการจับตัวเป็นก้อนของ host powder ได้ อย่างไรก็ตาม กลไกนี้จะสามารถใช้อธิบายการทำงานของ conditioner ได้เมื่อ host powder สัมผัสกับความชื้นที่จำกัดค่าหนึ่งในระยะเวลาสั้น ๆ แต่กลไกนี้จะไม่สามารถใช้อธิบายได้เมื่อ conditioned powder อยู่ในบรรยากาศที่มีความชื้นสูง ซึ่งจะสามารถดูดซับน้ำได้อย่างอิสระจนเข้าสู่ภาวะสมดุล จากงานวิจัยพบว่า การใช้ aluminium silicate หรือ calcium stearate ในปริมาณความเข้มข้น 1% (โดยน้ำหนักเปียก) ไม่สามารถป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของ onion powder ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูงได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองใช้ tricalcium phosphate, silicon oxide, calcium stearate และ sodium aluminium silicate ใน powdered sugar ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 85% โดยจะสังเกตเห็น humidity shrinkage ของ conditioned powdered sugar

1.2.4.4 cancellation of electrostatic charges and molecular forces

conditioner particle ที่พื้นผิวของ host particle จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง bulk property ของ powder ในกรณีที่ surface coverage เกิดขึ้นได้ไม่เต็มที่ จะไม่สามารถใช้กลไกที่กล่าวมา conditioner ทำหน้าที่เป็น solid barrier ในการอธิบายการทำงานของ conditioner ได้ ในกรณีเช่นนี้อาจอธิบายการทำงานของ conditioner โดย conditioner จะช่วย neutralize electrostatic charge หรือช่วยลด superficial molecular attractive

forces แรงดึงดูดของประจุระหว่าง powder เป็นสาเหตุหนึ่งของการจับตัวเป็นก้อน ดังนั้น การใช้ conditioner ที่ให้ประจุตรงกันข้ามกับ powder เพื่อ neutralize electrostatic charge สามารถปรับปรุง flowability ของ powder ได้

ประสิทธิภาพของ conditioner ขึ้นอยู่กับลักษณะของ specific conditioner-host powder system ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ surface compatibility, particle size และ moisture content การใช้ conditioner ในปริมาณที่มากเกินไป นอกจากจะสิ้นเปลืองแล้วยังก่อให้เกิดปัญหาการแยกตัวของ conditioner จากผลิตภัณฑ์ด้วย (Peleg and Hollenbach, 1984) การใช้ aluminium silicate หรือ calcium stearate เป็น anticaking agent ในน้ำตาลซูโครสโดยใช้ในปริมาณเพียง 1% (โดยน้ำหนักเปียก) จะสามารถทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Hollenbach, Peleg and Rufner, 1982)

Cal-Vidal และ Falcone (1985) ศึกษาผลการใช้ tricalcium phosphate (TCP) และ silicon dioxide (ชื่อทางการค้าคือ Syloid 63 FP และ 244 FB) ต่อการดูดความชื้นของผงน้ำเสาวรสแห้งเยือกแข็ง เก็บที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 58% โดยแปรปริมาณการใช้ในช่วง 0-1% (โดยน้ำหนักของปริมาณของแข็งในน้ำเสาวรส) พบว่าการเติม Syloids 244 FB ปริมาณ 0.5% (โดยน้ำหนักของปริมาณของแข็งในน้ำเสาวรส) ลงในน้ำเสาวรสก่อนการแช่แข็งจะทำให้อัตราการดูดความชื้น และค่า equilibrium moisture content ของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้เติม Syloids 244 FB และการเพิ่มปริมาณการใช้เป็น 1% (โดยน้ำหนักของปริมาณของแข็งในน้ำเสาวรส) ไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพของสารนี้เพิ่มขึ้น ส่วนผลของ TCP และ Syloids 63 FP ต่อการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ค่อนข้างน้อย ทั้งนี้จากการทำ electron microscopic analysis พบว่า anticaking agent ทั้งสองนี้ปกคลุมรอบ ๆ อนุภาคของผลิตภัณฑ์ได้น้อยจึงทำให้ประสิทธิภาพต้านนอกจาก anticaking agent จะช่วยรักษา free-flowing property ของผลิตภัณฑ์ และยังช่วยเพิ่ม bulk density ของผลิตภัณฑ์ด้วย Hollenbach และคณะ (1982) พบว่า การใช้ sodium aluminium silicate, tricalcium phosphate และ calcium stearate เป็น anticaking agent ในน้ำตาลซูโครส จะทำให้ bulk density ของ ผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น โดยระดับความเข้มข้นที่ทำให้ anticaking agent เหล่านี้มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 0.5-1% (โดยน้ำหนักเปียก)

1.2.5 การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารผง

ผลิตภัณฑ์อาหารผงถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นต่ำพอที่จะยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดได้ แต่การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ชีวเคมี และทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ยังคงเกิดขึ้นได้ในระหว่างการเก็บ การเปลี่ยนแปลงที่พบระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารผงได้แก่

1.2.5.1 การเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์

ผลิตภัณฑ์อาหารผงที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 5 % (โดยน้ำหนักเปียก) ซึ่งมีค่า water activity ต่ำกว่า 0.60 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางจุลินทรีย์น้อย (Gibbs, 1986)

1.2.5.2 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction)

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช่เอนไซม์ เกิดได้จากปฏิกิริยาเคมี 3 แบบ คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) หรือโพลีฟีนอล (polyphenol) ไปเป็นสารประกอบพวกโพลีคาร์บอนิล (polycarbonyl compounds) ปฏิกิริยา caramelization ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลง ของสารประกอบพวกโพลีไฮดรอกซีคาร์บอนิล (polyhydroxycarbonyl compounds) ที่อุณหภูมิสูง และปฏิกิริยา Maillard ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนกับหมู่คาร์บอนิลสามารถเกิดได้ง่าย เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาจำพวก autocatalytic และใช้พลังงานในการเกิดปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อย การเพิ่มเวลา ปริมาณความชื้นและอุณหภูมิทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 3-4 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า (Mcweeny, 1980)

Lovrić, Sablek and Bošković (1970) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีในมะเขือเทศผงที่มีความชื้น 3% (โดยน้ำหนักเปียก) ที่ผ่านการทำแห้งแบบโฟม โดยมีอุณหภูมิการเก็บ -10, 2, 20 และ 37 องศาเซลเซียส บรรจุภายใต้อากาศและก๊าซไนโตรเจน ที่มีและไม่มี desiccant (in-package desiccation, IPD) หลังเก็บไว้เป็นเวลา 1 ปี พบว่า สาเหตุหลักที่ทำให้สีจาง (color fading) ลง เนื่องจาก ปฏิกิริยาออกซิเดชันของรงควัตถุสีแดง (lycopene) แต่ก็ยังมีปรากฏการณ์ trans-cis isomerisation ของ all-trans lycopene ร่วมด้วย การเปลี่ยนแปลงสีขึ้นอยู่กับความ

สัมพันธ์ระหว่าง isomerisation และปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่า การเก็บมะเขือเทศผงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีสีที่มืดที่สุดเพราะเพิ่มการย้อนกลับ(reversion)ของ cis-isomer เป็น all-trans form ที่คงตัวที่จะขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่วนการเก็บที่มี IPD ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากขึ้น เนื่องจาก desiccant ป้องกันการย้อนกลับของ cis-isomer เป็น all-trans form และการเก็บภายใต้ก๊าซไนโตรเจนให้สีที่มืดกว่า อุณหภูมิการเก็บ 37 องศาเซลเซียสจะเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอ็นไซม์ เนื่องจาก มีน้ำเกิดขึ้น

1.2.5.3 การเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ (off-flavor)

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันหรือการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของ essential oils, limonene ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ โดยกลิ่นรสที่ผิดปกตินี้มักเกิดจาก furfural และ diacetyl มีผู้ตรวจพบ furfural ในน้ำส้มหลังจากที่เก็บไว้ระยะเวลาหนึ่ง จากงานวิจัยต่างๆ พบว่ามี furfural เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการให้ความร้อนแก่ สารละลายผสมของฟรุคโตสและกรดแอสคอร์บิก และเกิดจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก ส่วน diacetyl สามารถตรวจพบได้ในสารละลายผสมของน้ำตาลและกรดอะมิโน ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอ็นไซม์และ/หรือปฏิกิริยาออกซิเดชันของ acetoin diacetyl จะมีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ในระยะเริ่มแรก (Tatum, Shaw and Bergy, 1967)

1.2.6 ภาชนะบรรจุสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารผง

ภาชนะบรรจุของอาหารผงลำไจรูป ซึ่งถือเป็นอาหารแห้งที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 3 % (โดยน้ำหนักเปียก) (Paine and Paine, 1983) ควรมีสมบัติที่สำคัญ คือ ป้องกันความชื้นหรือไอน้ำจากภาวะอากาศรอบ ๆ ไม่ให้ผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยาทางเคมีของกรดไขมันและสามารถทนต่อ การกด บีบ เสียดสี ของผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง ที่มักมีลักษณะแข็ง เปราะ และมีส่วนแหลมคมที่สามารถทิ่มแทงภาชนะบรรจุได้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2531)

ภาชนะบรรจุของอาหารผง นิยมใช้เป็นพลาสติกที่ผ่านการลามิเนตเพื่อให้ได้ภาชนะบรรจุที่มีสมบัติในการป้องกันความชื้น แสง และออกซิเจนได้ พลาสติกที่นิยมนำมาลามิเนต ได้แก่ polyethylene หรือ polypropylene โดยนำมาติดเป็นแผ่นบางลามิเนตกับ aluminum foil (Paine and Paine, 1983) เพื่อเพิ่มสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของความชื้น อากาศ และแสง ซึ่งจะช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์