

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พริก

พริกเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ *Solanaceae* มีถิ่นกำเนิดในอเมริกาเขตร้อนและหมู่เกาะอินเดียตะวันตก นิยมปลูกในเขตที่มีอากาศอบอุ่นและร้อน เช่น แอฟริกา อินเดีย อเมริกาเขตร้อน ญี่ปุ่น และไทย พริกที่มีจำหน่ายในท้องตลาดในประเทศไทยได้จากพืชตระกูล *Capsicum* หลายพันธุ์ เช่น พริกเต้ พริกขี้หนู พริกขี้หนู (*Capsicum frutescense* Linn.) พริกหยวก (*Capsicum annuum* Linn.) พริกชี้ฟ้า (*Capsicum annuum* var *acuminatum* Fingarh) พริกทาบาสโก (Tabasco Pepper, *Capsicum annuum* Lin. var *conoides* Irish) พริกหยวกชนิดยาว (Louisiana Long Pepper, *Capsicum annuum* Linn. var *Longum* Sendt) ส่วนในประเทศไทยและญี่ปุ่นนิยมปลูกพันธุ์ *Capsicum frutescense* ซึ่งเป็นไม้พุ่มสูงเกิน 1 เมตร ขึ้นไปและมีรสเผ็ดมากกว่า *Capsicum annuum* (นิจศิริ, 2542)

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของสารจากพริก (สนทยา, 2540)

สารประกอบสำคัญของพริกคือ แคปไซซินอยด์ (capsaicinoids) ซึ่งเป็นกลุ่มสารที่ทำให้เกิดกลิ่นและความเผ็ดร้อน และสารให้สีซึ่งเป็นกลุ่มรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์

(1) สารที่ทำให้เกิดกลิ่นและความเผ็ดร้อน คือ แคปไซซินอยด์ (capsaicinoids) ซึ่งประกอบด้วยสารต่างๆ คือ แคปไซซิน (capsaicin) ไดไฮโดรแคปไซซิน (dihydrocapsaicin) นอร์ไดไฮโดรแคปไซซิน (nordihydrocapsaicin) โฮโมแคปไซซิน (homocapsaicin) โฮโมไดไฮโดรแคปไซซิน (homodihydrocapsaicin) ในผลพริกมีปริมาณสารให้ความเผ็ดแตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณเป็นร้อยละของสารให้ความเผ็ดแต่ละชนิดในพริก

สารให้ความเผ็ด	ร้อยละ
แคปไซซิน (capsaicin)	46-47
ไดไฮโดรแคปไซซิน (dihydrocapsaicin)	21-40
นอร์ไดไฮโดรแคปไซซิน (nordihydrocapsaicin)	2-11
โฮโมแคปไซซิน (homocapsaicin)	0.6-2
โฮโมไดไฮโดรแคปไซซิน (homodihydrocapsaicin)	1-2

ที่มา: สนทยา (2540)

(1.1) แคปไซซิน (capsaicin) เป็นสารพวกฟีนอลิก เอไมด์ (phenolic amide) ประกอบด้วย C=18, H= 27, N=1 ,O=3 (สูตรโมเลกุล $C_{18}H_{27}NO_3$) ชื่อทางการค้า คือ 8-methyl-N-vanillyl-6-nonenamide น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 305.46 มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 65 องศาเซลเซียส (สัมพัทธ์, 2546) สารนี้พบมากที่ผนังชั้นใน (inner wall) ของผล ไล้ผนังกันระหว่างเซลล์และรอกของพริก ออกฤทธิ์โดยทำให้เกิดการปลดปล่อยของสารสื่อประสาทประสาท (neurotransmitter) ที่ส่งผ่านความรู้สึกรวดจากเซลล์ประสาทไปยังสมอง หลังได้รับแคปไซซินซ้ำๆ จะทำให้สารหมดไปทำให้อาการปวดลดลง แคปไซซินที่พบในรอกของพริกจะมีปริมาณร้อยละ 4.72-32 ต่อหน่วยน้ำหนัก ในพริกแห้งที่มีจำหน่ายในท้องตลาดจะมีแคปไซซินตั้งแต่ 0-360 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และถ้าหากพริกใดมีแคปไซซินสูงกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมจะมีรสเผ็ดร้อนมาก แคปไซซินมีสมบัติทนทานต่อความร้อนได้ดี และไม่ถูกทำลายด้วยด่าง แต่ถูกทำลายโดยสารออกซิไดซ์ (oxidizing agent) เช่น โพแทสเซียม ไดโครเมต (potassium dichromate) หรือโพแทสเซียม เปอร์แมงกาเนต (potassium permanganate)

(2) สารให้สีในพริก จัดอยู่ในกลุ่มรงควัตถุพวกแคโรทีนอยด์ ผลพริกจะมีสารให้สีที่สำคัญคือ แคปแซนทิน (capsanthin) ซึ่งเป็นสารคีโตแคโรทีนอยด์ (ketocarotenoid) และยังพบสารอื่นที่มีสูตรใกล้เคียงกันได้แก่ แคปโซรูบิน (capsorubin) เซียแซนทิน (zeaxanthin) ลูเทอิน (lutein) นีโอแซนทิน (neoxanthin) ไวโอลาแซนทิน (violaxanthin) และบีตาแคโรทีน สารประกอบแคปแซนทินบริสุทธิ์จะเป็นผลึกรูปเข็มสีแดงเข้ม ละลายได้ในแอลกอฮอล์ มีจุดหลอมเหลว 175-176 องศาเซลเซียส สารละลายแคปแซนทินในปิโตรเลียมอีเทอร์ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 475-500 nm ในพริกที่ยังไม่สุกจะไม่พบรงควัตถุพวกคีโตแคโรทีนอยด์ แต่จะพบรงควัตถุที่ให้สีเขียวและเหลืองส้ม ได้แก่ ลูเทอิน บีตาแคโรทีน ไวโอลาแซนทิน แคปโซรูบินและคริปโตแซนทิน การกระจายตัวของรงควัตถุในผลพริกจะแตกต่างกันไปตามส่วนต่างๆ โดยพบในส่วนเนื้อสูงกว่าเมล็ด เช่น ในส่วนเนื้อของพริก *Capsicum annuum* var. *acuminatum* มีบีตาแคโรทีนอยู่ร้อยละ 94.6 ของปริมาณทั้งหมดในพริก ขณะที่ในเมล็ดมีอยู่เพียงร้อยละ 4.9 สีของพริกมีหลากหลาย สีเขียว แดง เหลือง ส้ม ม่วง และงาช้าง โดยเฉพาะเมื่อนำมาปลูกในเขตร้อนชื้นที่ได้รับแสงแดดตลอดวันจะมีสี (colorant) ที่สดใส ซึ่งสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ทั้งการปรุงแต่งรสชาติและสีต้น (coloring spice) ได้ตามความต้องการของผู้บริโภคหลากหลายผลิตภัณฑ์แนวโน้มในอนาคตการผสมสีในอาหารจะมาจากธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ (กองสุขาภิบาลอาหาร, 2545)

2.1.2 การวัดความเผ็ดของพริก

ผู้ที่วัดค่าความเผ็ดคนแรกเป็นนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมนีชื่อ วิลเบอร์ สโควิลล์ (Willbur Scoville) ใน พ.ศ. 2455 โดยในช่วงนั้นเขาได้ตั้งชุดทดสอบขึ้นมาประกอบด้วยกลุ่มคนซึ่งจะทำหน้าที่ในการชิมและให้คะแนนพริก หลักการของวิธีนี้ โดยการทำให้สารละลายที่สกัดได้จากพริกเจือจางเรื่อยๆ จนกระทั่งสารละลายนั้นไม่มีความเผ็ดเหลืออยู่เลย พร้อมๆกับการจดบันทึกว่าทำการเจือจางทั้งหมดกี่ครั้ง ถ้ามีการเจือจางมากครั้งก็แสดงว่าพริกนั้นเผ็ดมาก ถ้าเจือจางน้อยครั้งก็แสดงว่าเผ็ดน้อย วิธีนี้ได้รับความนิยมเรื่อยมา จนกระทั่งในระยะหลังได้มีการนำเครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสาร โดยใช้หลักการโครมาโตกราฟีแบบของเหลวแรงดันสูง (HPLC-high pressure liquid chromatography) มาช่วยวัด โดยเครื่องดังกล่าวนี้วัดปริมาณของสารแคปไซซินในพริกแต่ละชนิดโดยตรง และเทียบปริมาณสารที่วัดได้เป็นหน่วยสโควิลล์ (Scoville Unit) และกำหนดให้ 1 ในล้านส่วนของสารแคปไซซินมีค่าเท่ากับ 15 หน่วยสโควิลล์ ดังนั้นสารแคปไซซิน บริสุทธิ์จึงมีความเผ็ดเท่ากับ 15,000,000 หน่วยสโควิลล์ จากการใช้เครื่องมือวัดความเผ็ดตรวจสอบปริมาณสารแคปไซซินในพริกหลายๆชนิด ทำให้สามารถแยกแยะพริกได้หลายกลุ่มตามความเผ็ด ดังตัวอย่างอันดับที่หนึ่ง ฮาบานโรแดงซาวินา (Red Savina Habanero) มีความเผ็ด 580,000หน่วย นับว่าเผ็ดที่สุดในโลก อันดับสอง ฮาบานโร (Habanero) ความเผ็ดระดับ 200,000-500,000 หน่วย อันดับสาม พริกจี่หนู (Thai Bird Pepper) พริกสก๊อต บอนเนต (Scotch Bonnet) พริกจาเมก้า (Jamaica Hot) เผ็ดระดับ 100,000-350,000 หน่วย อันดับสี่ พริกชี้ฟ้า (Cayenne) เผ็ดปานกลางระดับ 30,000-50,000 หน่วย อันดับห้า พริกหยวก หรือ พริกหวาน (Bell Pepper หรือ Sweet pepper) ไม่เผ็ดเลยจึงมีความเผ็ดเป็น 0 หน่วย (สัมพันธ์ , 2546)

วิธีมาตรฐานในการวัดความเผ็ดของพริกโดยใช้ผงพริกแห้ง 1 กรัมแช่ในแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองชั้นแอลกอฮอล์มา 0.1 มิลลิลิตร ทำให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นที่มีซูโครส (sucrose) อยู่ร้อยละ 10 จำนวน 140 มิลลิลิตร ให้อาสาสมัครทดลองดื่มในปริมาณ 5 มิลลิลิตรต่อคน พบว่า 2 ใน 3 ของอาสาสมัครจะมีความรู้สึกเผ็ด สารละลายที่ทำได้นี้จะเทียบได้กับพริก 1 ส่วนใน 70,000 ส่วนของน้ำหวาน (sucrose) และพบว่าพริกจากญี่ปุ่นจะเผ็ดใน 1:50,000 ส่วน พริกจากอินเดียจะเผ็ด 1:40,000 ส่วน (นิจศิริ, 2542) สารแคปไซซินบริสุทธิ์จะมีลักษณะเป็นผลึกไม่มีสี น้ำหนักโมเลกุล 305.4 กรัมต่อโมล จุดเดือด 210-220 องศาเซลเซียส ไม่ละลายในน้ำเย็นแต่ละลายได้ดีในเอทานอล อีเทอร์และอะซิโตน สารให้ความเผ็ดในพริกจะกระจายตัวในส่วนต่างๆของพริกในปริมาณที่ต่างกันโดยจะพบมากในส่วนของเนื้อเยื่อชั้นในที่สุดกับไส้ (disseppiment) มีปริมาณแคปไซซินสูงถึงร้อยละ 89 ของปริมาณทั้งหมดในผลพริก แต่ในเมล็ดพบเพียงร้อยละ 10.8 เท่านั้น ปริมาณแคปไซซินจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพันธุ์พริก ความแก่อ่อน สถานที่ และฤดูกาล

เพาะปลูก (จงรักษ์, 2546) กรองแก้ว และวูลิชัย (2535) ศึกษาการสกัดแยกแคปไซซินอยด์ (Capsaicinoids) จากพริกขี้หนูสวนและพริกขี้หนูเม็ดใหญ่ (*Capsicum frutescens* Linn) พริกขี้ฟ้าและพริกเหลือง (*Capsicum annuum* Linn) แล้วนำมาหาปริมาณโดยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography) พบว่า พริกในกลุ่ม *Capsicum frutescens* Linn จะมีปริมาณแคปไซซินอยด์สูงกว่า *Capsicum annuum* Linn จึงน่าจะเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยาต่อไป นภาพรและดวงสมร (2544) ทำการหาปริมาณสารประกอบแคปไซซินอยด์ในพริกชนิดต่างๆ โดยวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี Differential Spectrophotometry เปรียบเทียบกับวิธี HPLC พบว่าวิธี Differential Spectrophotometry ได้ผลการวิเคราะห์สูงกว่าวิธี HPLC แต่วิธี HPLC สามารถแยกองค์ประกอบและวิเคราะห์ปริมาณได้ถูกต้องกว่าวิธี Differential Spectrophotometry โดยผลการวิเคราะห์พบว่าพริกขี้หนูปักษ์ใต้มีสารประกอบแคปไซซินอยด์มากที่สุด จิรวัดน์และคณะ (2549) ศึกษาการสกัดและคุณสมบัติของแคปซิคัม โอลีโอเรซิน (*Capsicum Oleoresin*) จากพริกแห้งไม่โครเวฟสุญญากาศ พบว่าสภาวะสกัดที่เหมาะสมสำหรับ *Capsicum oleoresin* ของพริกแดงและพริกขี้ฟ้าคือ การใช้ตัวทำละลายเมทานอล (methanol) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง พริกแดงมีปริมาณแคโรทีนอยด์มากกว่าพริกขี้ฟ้า ซึ่งปริมาณแคโรทีนอยด์จะสัมพันธ์กับค่าความเข้มของสีแดง (ASTA color value) คือ ค่าความเข้มของสีแดงสูงปริมาณแคโรทีนอยด์จะสูงด้วย

2.1.3 การใช้ประโยชน์และผลิตภัณฑ์จากพริก

2.1.3.1 การใช้ประโยชน์จากพริก

พริกเป็นทั้งผัก เครื่องเทศ และเครื่องปรุงแต่งรสชาติอาหารที่ให้คุณค่าทางอาหารสูง มีรายงานว่าหากบริโภคพริก 100 กรัม จะได้สารอาหารต่างๆ คือ ไขมัน 2.5 กรัม คาร์โบไฮเดรต 1.9 กรัม แคลเซียม 45 กรัม โปรตีน 4.7 กรัม วิตามินเอ 11.40 มิลลิกรัม วิตามินบีหนึ่ง 0.24 มิลลิกรัม วิตามินซี 2.5 มิลลิกรัม นอกจากนี้ยังมีฟอสฟอรัส 85 มิลลิกรัม และธาตุเหล็ก 2.5 มิลลิกรัม ส่วนประโยชน์ทางการแพทย์จะใช้พริกเป็นส่วนผสมของยาต่างๆ ทั้งยาแผนโบราณและยาแผนปัจจุบัน เพราะว่าสารแคปไซซินมีฤทธิ์เป็นยารักษาโรคหลายชนิด คือ ยาเจริญอาหาร บรรเทาอาการปวด แก้อหวนต์และไอ ด้านโรคหัวใจตีบ ช่วยสูบลดโลหิต ลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคมะเร็งและเป็นยาขับปัสสาวะ อย่างไรก็ตามสารแคปไซซินที่ใส่กันอยู่ในปัจจุบันยังคงต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพง นอกจากสารแคปไซซินแล้ว ในผลสุกของพริกยังประกอบไปด้วยสารเม็ดสี (pigment) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ โดยเฉพาะสัตว์ปีก เนื่องจากมีคุณสมบัติการเพิ่มสีหนังและสีไข่แดงของสัตว์ปีกดังกล่าว ส่วนการใช้พริกไปใช้เป็นยาป้องกันและกำจัดศัตรูพืช พบว่า ในประเทศเคนยานิยมนำพริกคั่วมาบดให้ละเอียดแล้วผสมน้ำนำไปฉีดพ่น ในประเทศฟิลิปปินส์มีการใช้พริกปั่นผสมน้ำและสารจับใบนำไปฉีดพ่นป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืช

การผลิตพริกเชิงการค้านิยมแบ่งพริกออกเป็น 3 กลุ่ม (สายสนม, 2533) ได้แก่

(1) ปาปริกา (Paprika) เป็นพริกที่นิยมปลูกในแถบเมดิเตอร์เรเนียน นิยมนำไปใช้มากในหลายประเทศของทวีปยุโรป และอเมริกาเหนือ มูลค่าการนำไปใช้ของพริกกลุ่มนี้คือสีแดงสดใส มีกลิ่นอ่อนและมีความเผ็ดต่ำ จะนำไปใช้ในรูปของสีมากกว่า โดยมีการผลิตจำหน่ายในรูปของผงมากที่สุด

(2) ปาปริกาหวาน (Sweet Paprika) หรือเรียกว่าเบลแคปซิคัม (bell capsicum) เป็นพริกที่แทบไม่มีความเผ็ดอยู่เลย นิยมใช้บริโภคในรูปของผักมากกว่าจะเป็นเครื่องเทศ

(3) ชิลลี (Chillies) เป็นพริกที่ปลูกมากในประเทศต่างๆ แถบทวีปเอเชียและแอฟริกา พริกที่ปลูกในประเทศไทยจัดอยู่ในกลุ่มนี้ มูลค่าการนำไปใช้เน้นที่ความเผ็ดมากกว่าสี พริกในกลุ่มนี้ จะมีความแตกต่างของความเผ็ดมาก และนิยมนำไปใช้ในการปรุงแต่งรสอาหารกันมาก

2.1.3.2 ผลิตภัณฑ์จากพริก

พริกเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรที่สามารถนำไปแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์อื่นได้หลายชนิด แบ่งเป็น 3 กลุ่ม (สายสนม, 2533) ดังนี้

(1) ผลิตภัณฑ์จากพริกสด ในช่วงระยะเวลาที่พริกสดมีราคาตกต่ำ สามารถนำพริกสดมาบรรจุกระป๋อง แช่แข็ง หรือการดองเพื่อจุดประสงค์ในการเก็บรักษาไว้ระยะหนึ่งก่อน เพื่อป้องกัน การเสื่อมคุณภาพและส่งต่อไปผลิตซอสพริก หรืออาจจะนำมาหั่นแล้วดองบรรจุขวด พาสเจอร์ไรส์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมมากในประเทศมาเลเซีย

(2) ผลิตภัณฑ์จากการสกัด มีการศึกษาการสกัดสารที่ให้ความเผ็ดจากพริกด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ เพื่อจุดประสงค์ในอุตสาหกรรมการผลิตยา ซึ่งการสกัดให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่นั้นจะช่วยให้สีและความเผ็ดคงรูปได้ดีและมีมูลค่าสูง ที่มีจำหน่ายในต่างประเทศมีทั้งปาปริกา โอเลโอเรซิน (paprika oleoresin) และชิลลี โอเลโอเรซิน (chilli oleoresin) ซึ่งความต้องการและการนำไปใช้ของชิลลี โอเลโอเรซินจะมีสูงกว่าเพราะมีสารที่ให้ความเผ็ดมากกว่า สำหรับปริมาณความต้องการสารสกัดชิลลี โอเลโอเรซินในตลาดโลกนั้นประมาณปีละ 126 ตัน และมีความเผ็ดอยู่ในช่วง 0.25×10^6 - 1.0×10^6 สโควิลด์ หรือมีปริมาณสารแคปไซซินอยู่ในช่วงร้อยละ 1.66-6.66 (สายสนม, 2533) ในประเทศไทยมีการใช้สารสกัดจากพริกผลิตสเปรย์ป้องกันตัวซึ่งสเปรย์ดังกล่าวนี้ไม่ก่อให้เกิดอันตรายถึงชีวิต แต่การฉีดเข้าตาโดยตรงจะมีผลทำให้ตามองไม่เห็นเป็นเวลาสองสามนาที นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์ที่มีพริกอย่างเดียวหรือพริกผสมกับสมุนไพรอื่นๆ เช่น จิง กระเทียม ในประเทศไทยมีทิงเจอร์พริก และยาอมแก้เจ็บคอที่มีส่วนผสมของพริก น้ำมันมวย น้ำมันบาล์มเพื่อลดการเจ็บปวด ลูกอมพริกหวานและในสหรัฐอเมริกาพริกจำหน่ายในรูปบรรจุแคปซูลในรูปอาหารเพื่อสุขภาพช่วยในการเผาผลาญไขมัน (สนทยา, 2540)

(3) ผลผลิตจากพริกแห้ง จะมีจำหน่ายทั้งผลแห้งและบดเป็นผง แต่คุณภาพของสินค้าในรูปนี้ภายในประเทศไทยยังต่ำมาก เพราะตลาดส่วนใหญ่จะสนใจเลือกซื้อ โดยเจาะจงที่คุณภาพเรื่องสีและความเผ็ด รวมทั้งความสะอาดของผลิตภัณฑ์ด้วย

2.2 เทคโนโลยีการทำแห้งแบบโฟม-แมท (Foam-mat drying)

กระบวนการทำแห้งแบบโฟม-แมทเริ่มพัฒนาขึ้น โดย Morgan และคณะ (1959) โดยภายหลังมีการพัฒนาต่อ โดย Bissett และคณะ (1963) (อ้างใน Ponting *et al.*, 1973) การทำแห้งแบบโฟม-แมท เป็นกระบวนการทำแห้งที่ต้องทำให้อาหารเหลวที่ต้องการทำให้แห้ง มีลักษณะเป็นโฟมที่คงตัวในระหว่างการทำแห้ง กระบวนการทำให้เกิดโฟมทำได้โดยการนำอาหารเหลวมาตีโดยใช้เครื่องตีความเร็วสูงเพื่อเป็นการเติมอากาศเข้าไปในอาหาร อาหารบางชนิด เช่น นม ไข่ขาว เมื่อนำมาตีสามารถเกิดโฟมขึ้นได้ เนื่องจากอาหารเหล่านี้มีองค์ประกอบของโปรตีนและสาร โมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งมีสมบัติทำให้เกิดโฟมและรักษาโฟมให้คงทนแข็งแรง แต่อาหารบางชนิด เช่น น้ำส้มคั้น จำเป็นต้องมีการเติมสารก่อให้เกิดโฟมลงไปด้วย จึงจะได้โฟมที่คงทน จากนั้นโฟมที่ได้จะถูกนำไปเกลี่ยให้เป็นแผ่นบางบนถาด หรือสายพานแล้วจึงนำไปทำแห้ง ผลผลิตที่ได้หลังจากการอบจะถูกนำไปบดเป็นผง (รัตนา, 2547)

2.2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของโฟม (นิธิยา, 2549)

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของโฟมแบ่งออกได้เป็น 5 ปัจจัย ดังนี้

(1) ความหนืด การทำให้ของเหลวมีความหนืดสูงขึ้นจะทำให้โฟมมีความคงตัวมากขึ้น สารที่ช่วยเพิ่มความหนืดส่วนใหญ่เป็นพวกน้ำตาลและสารไฮโดรคอลลอยด์ สารพวกนี้นอกจากจะเพิ่มความหนืดแล้วยังลดแรงตึงผิวอีกด้วย

(2) ของเหลวที่มีแรงตึงผิวต่ำ จะช่วยให้ของเหลวมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นรอบฟองอากาศโดยไม่บีบตัวให้ฟองอากาศแตกเร็วเกินไป ดังนั้นการเปลี่ยนแรงตึงผิวของฟิล์มสามารถทำให้เกิดโฟมหรือ การยุบตัวของโฟมได้

(3) ความดันไอ ของเหลวต้องมีความดันไอลำ เพราะทำให้ของเหลวกลายเป็นไอดียากหรือของเหลวระเหยได้ช้า ถ้าของเหลวมีความดันไอลำสูงจะกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว ทำให้ฟิล์มที่ล้อมรอบฟองอากาศบางลงและโฟมจะยุบตัว

(4) การเกิดฟิล์มของอนุภาคฟองอากาศ โฟมที่มีความคงตัวฟิล์มที่เกิดขึ้นต้องมีค่าความยืดหยุ่นที่ผิวสัมผัสและความหนืดที่ผิวสัมผัสสูง

(5) สารที่จะช่วยให้โฟมมีความแข็งตัว (rigidity) ที่ระหว่างผิวของก้ำซและของเหลว เช่น โปรตีนที่มีอยู่ในอาหาร เมื่อทำให้เกิดโฟมโดยการตี โปรตีนจะเสียสภาพขณะตี จะช่วยทำให้โฟมมีความแข็งตัวและคงตัวมากขึ้นด้วย

2.2.2 ข้อดีของกระบวนการทำแห้งแบบโฟม-เมท (รัตนา, 2547)

(1) สามารถใช้ได้กับอาหารเหลวหรืออาหารกึ่งเหลวที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่สูง โดยยังสามารถรักษากลิ่นและสีไว้ได้ ขณะที่กระบวนการทำแห้งแบบอื่นๆ เช่น การทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum drying) ไม่สามารถทำได้

(2) เป็นการทำแห้งที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยมาก น้อยกว่ากระบวนการทำแห้งอื่นๆ ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำกว่าวิธีการอื่น

(3) คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้ สามารถรักษาสี กลิ่น และความสามารถในการคืนรูปไว้ได้ดีกว่า การทำแห้งโดยใช้ความร้อนแบบอื่นๆ และมีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying)

(4) ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้มีลักษณะเป็นผง มีน้ำหนักเบาและสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำ

2.2.3 กระบวนการทำให้เกิดโฟม

การทำให้เกิดโฟมเป็นขั้นตอนแรกของการทำแห้งแบบโฟม-เมท เป็นระบบของสารแขวนลอยอย่างสมบูรณ์ของโฟมแก๊สในของเหลว ซึ่งแตกต่างจากโฟมของน้ำสบู่ซึ่งมีลักษณะเบาอย่างมาก ลักษณะโฟมที่พึงประสงค์ในการอบแห้งแบบโฟม-เมทจะต้องมีความคงตัวดีในระหว่างการอบแห้ง เพื่อให้โฟมยังคงมีลักษณะเป็นโฟมและแตกหักออกเป็นผงได้ง่าย อย่างไรก็ตามโฟมที่คงตัวในบรรยากาศปกติบางครั้งก็ไม่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง (Hart *et al.*, 1963)

การทำให้เกิดโฟมในอาหารเหลว ทำได้โดยการตีด้วยความเร็วสูงๆ เป็นการผสมของผสม 2 สถานะด้วยแรงเฉือนที่สูง อาหารเหลวมีการแตกตัวทำให้อากาศสามารถแทรกตัวเป็นฟองในของเหลวได้ ซึ่งกลไกของการเกิดโฟมในของเหลวนั้นจะเกี่ยวข้องกับแรงตึงผิว (surface tension) ทั้งนี้โดยปกติเมื่อฟองอากาศในของเหลวลอยขึ้นมาสู่ผิวหน้าจะมีการแตกของฟองอากาศ ดังนั้นถ้าต้องการรักษาสภาพของฟองอากาศให้คงอยู่ที่ผิวของเหลวได้ จะต้องทำการเปลี่ยนค่าแรงตึงผิวนั้น (Hart *et al.*, 1963) การตีโฟมในอาหารเหลวจะทำให้อาหารไม่เกาะตัวกันเป็นก้อนเมื่อนำโฟมไปอบในเครื่องอบแห้งแบบสายพานต่อเนื่องหรืออบแห้งในเตาอบแบบถาดต่อเนื่องในรูปแบบต่างๆ โครงสร้างของโฟมและการจัดเรียงตัวของโฟมที่เหมาะสม จะทำให้การอบแห้งเป็นได้อย่างรวดเร็ว โดยลักษณะของโฟมที่พึงประสงค์ในการอบแห้ง คือ โฟมจะต้องมีความคงตัวสูง เพื่อให้โฟมสามารถพยุงโครงสร้างของอาหารในระหว่างการอบแห้งได้ โฟมที่อบแห้งจะมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนสามารถดูดซับโฟมที่แห้งให้เป็นผง ซึ่งสามารถละลายได้ทันทีในน้ำเย็น ซึ่งจะรักษาคุณภาพของอาหารไว้ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอาหารที่ไวต่อการเสื่อมสภาพด้วยความร้อน นอกจากอาหารที่เป็นของเหลวแล้ว อาหารที่แห้งอยู่แล้วสามารถนำมาละลายหรือทำให้เป็นสารแขวนลอยแล้วนำไป

อบแห้งแบบโฟม-แมท เพื่อให้ได้ของแข็งที่มีความหนาแน่นน้อยลง และมีการกระจายตัวได้ดีขึ้น (Ponting *et al.*, 1973) Bates (1964) ศึกษาปัจจัยที่ผลต่อการผลิตโฟมและความคงตัวของโฟมของน้ำผลไม้เมืองร้อน พบว่าปัจจัยที่มีผลอย่างมากต่อการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟม คือ ธรรมชาติทางเคมีของผลไม้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด อัตราส่วนของเนื้อผลไม้ ชนิดของสารก่อโฟม ชนิดและความเข้มข้นของสารที่ทำให้โฟมคงตัว ส่วนปัจจัยที่มีความสำคัญน้อย คือ ความเข้มข้นของสารก่อโฟม เวลาและอุณหภูมิในการผสม Beristain *et al.* (1963) และ Graham *et al.* (1965) ได้ศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งน้ำส้มผองโดยวิธีโฟม-แมท พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งคือ ที่อุณหภูมิ 71.1 และ 82.2 องศาเซลเซียส โดยรักษากลิ่นไว้ได้ดีและเวลาที่ใช้ออบต่างกันจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณความชื้นเหลืออยู่แตกต่างกันด้วย คือ เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 71.1 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 11.2 และ 26.2 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นเหลืออยู่ร้อยละ 4.55 และ 2.71 ตามลำดับ และเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 82.2 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 8.8 และ 13.1 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นเหลืออยู่ร้อยละ 4.03 และ 2.46 ตามลำดับ Berry *et al.* (1965b) ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้ำเกรฟฟรุทโดยวิธีโฟม-แมท ด้วยเตาอบแบบสายพาน ใช้เวลาอบแห้ง 8-26 นาที ที่อุณหภูมิ 71.1 องศาเซลเซียส 76.6 องศาเซลเซียส 82.2 องศาเซลเซียส และ 87.7 องศาเซลเซียส พบว่าควรใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 82.2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 นาที หรือน้อยกว่านี้ จึงไม่มีการทำลายกลิ่นและรสชาติโดยความร้อน ถ้าใช้อุณหภูมิ 87.7 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลานานกว่า 12 นาที ความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 2-3.5 โดยการใช้โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนักเป็นสารก่อโฟมและใช้เมทโรเซลที่ความเข้มข้น 10 มิลลิปาสคาล.วินาทีหรือที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.17 โดยน้ำหนักเป็นสารที่ทำให้โฟมคงตัว Berry *et al.* (1967) ศึกษาการผลิตน้ำเกรฟฟรุทผงโดยการอบแห้งแบบโฟม-แมท ทดลองใช้เมทโรซิลเซลลูโลส อัลบูมินจากถั่วเหลืองชนิดคัดแปร กลีเซอรอล โมโนสเตียเรต (GMS) เพกดินและอนุพันธ์ของเซลลูโลสเป็นสารก่อโฟมและจำกัดปริมาณการเติมสารเหล่านี้ลงในน้ำเกรฟฟรุทเข้มข้น 40-58 องศาบริกซ์ ไม่เกินร้อยละ 1 ให้เกิดโฟมจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 76 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที และอบต่อที่อุณหภูมิ 65-71 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หลังจากทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลงจะได้น้ำเกรฟฟรุทผงที่มีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 1.0-1.25 ซึ่งต่ำเพียงพอที่จะสามารถเก็บรักษาไว้ได้โดยไม่ต้องใช้สารดูดความชื้นในภาชนะบรรจุ Brown *et al.* (1973) ได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอบแห้งโดยวิธีโฟม-แมท เพื่อลดภาระการทำงานของเตาอบ โดยโฟมถูกทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยเครื่องระเหยน้ำ ซึ่งทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นขึ้น สามารถทำให้เป็นโฟมที่แข็งแรงและความคงตัวมากขึ้น แต่ถ้าทำให้เข้มข้นมากเกินไปจะทำให้โฟมมีความหนาแน่นมากเกินไป และทำให้ไม่สามารถดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้หมดในระหว่างการอบแห้ง ความเข้มข้นของของแข็งที่ดีสำหรับมะเขือเทศคือ ร้อยละ 30 และสำหรับส้มคือร้อยละ 55

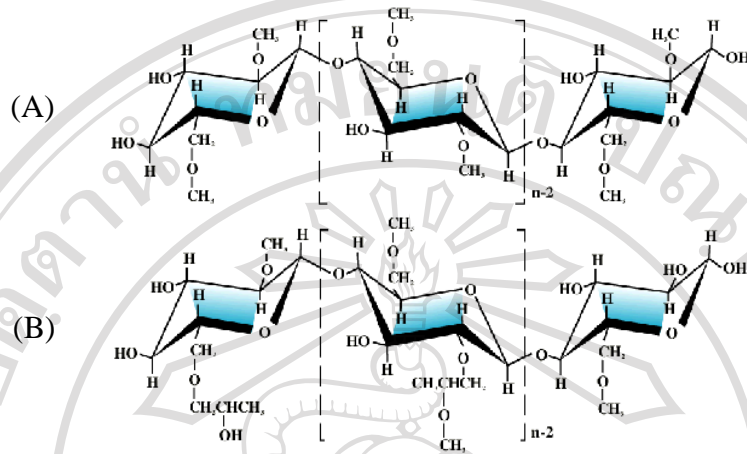
2.2.4 สารก่อโฟม (foaming agent)

สารก่อโฟมเป็นสารที่ใช้เติมลงไปในการอาหารเหลว เพื่อช่วยให้เกิดโฟมเมื่อนำไปตีในเครื่องตีปั่นเติมอากาศให้กับอาหารจนเกิดโฟม ซึ่งเป็นของผสมระหว่างของเหลวหรือกึ่งของแข็งและอากาศ มีของเหลวเป็นส่วนต่อเนื่อง (continuous phase) และอากาศเป็นส่วนกระจาย (disperse phase) โดยชั้นของเหลวบางๆ เรียกว่า ลามลเล (lamellae) แยกฟองอากาศออกจากกัน สารก่อโฟมที่เติมลงในอาหารจะช่วยทำให้เกิดสภาพโฟม สารนี้ทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงบริเวณลามลเล ทำให้อาหารอุ้มอากาศไว้ภายในได้มากขึ้น โดยฟองอากาศนั้นไม่แตกหรือแยกออก ขณะเดียวกันจะช่วยรักษาสภาพโฟมให้คงตัวอยู่ได้นาน ทำให้โฟมมีความคงตัวยิ่งขึ้น ปกติโมเลกุลของสารที่ช่วยให้เกิดโฟมนั้นประกอบไปด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophile) ซึ่งเป็นพวกอนุโมลติสระที่มีประจุ ซึ่งอาจเป็นประจุบวกหรือลบก็ได้ เป็นส่วนที่ละลายอยู่ในเฟสของน้ำ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobe) เป็นส่วนที่ไม่มีประจุ มักเป็นอนุพันธ์คาร์บอนอะตอมที่มีสายยาวๆ (aliphatic carbon chain) เป็นส่วนที่จะละลายอยู่ในเฟสของน้ำมัน (สมบัติ, 2529)

สารก่อโฟมที่เลือกใช้สำหรับอาหารต้องไม่มีรสชาติและไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร และสามารถทำให้เกิดโฟมได้ดี เมื่อใช้ในปริมาณต่ำและปลอดภัยสำหรับการบริโภค (Ponting *et al.*, 1973) สารก่อโฟมที่ใช้ในอาหารที่สำคัญในกระบวนการอบแห้งแบบโฟม-เมท เช่น เมทโซเซล™ (Methocel™) โปรตีนถั่วเหลือง (Solubilized soya protein) เมทซิล เซลลูโลส (Methyl cellulose) กลีเซอรอล โมโนสเตียเรต (Glyceryl monostearate), อัลบูมินจากถั่วเหลืองชนิดดัดแปร (Modified soya albumin) และอัลบูมินจากไข่ (Egg albumin) แต่ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ เมทโซเซล™ (Methocel™)

(1) เมทโซเซล™ (Methocel™) เป็นชื่อทางการค้า ผลิตโดยบริษัท Dow Chemical ประเทศสหรัฐอเมริกา เมทโซเซล™ เป็นสารช่วยให้โฟมคงตัวชนิดหนึ่ง โดยมีสายโพลิเมอร์ของเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ไม่มีรสชาติและไม่ทำปฏิกิริยากับอาหารที่เติมลงไป ลักษณะเป็นผง ความบริสุทธิ์สูงและให้พลังงานต่ำและใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมทโซเซล™ สามารถละลายน้ำได้ มีคุณสมบัติเป็นสารยึดเกาะ (binders) สารช่วยให้เกิดการแขวนลอย (suspension agent) สารช่วยให้ไขมันชั้นคงตัว (emulsifier colloid) ที่สำคัญคือ เมทโซเซล™ เป็นกัม (gum) ที่มีคุณสมบัติเป็นเจล สามารถเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ (thermally gel) สามารถทำหน้าที่เป็นตัวลดแรงตึงผิว (surfactant) ทำให้เกิดสภาพฟิล์มขึ้น (film forming) ในอาหารได้ ทั้งที่อุณหภูมิสูงและต่ำได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีในการเป็นสารช่วยให้โฟมคงตัวในอาหารที่ต้องการทำแห้งแบบโฟม สามารถแบ่งเมทโซเซล™ ตามชนิดของเซลลูโลส อีเทอร์ (cellulose ethers) ภายในองค์ประกอบทางเคมีได้ 2 ชนิดคือเมทซิลเซลลูโลส (methyl cellulose, MC) และไฮดรอกซีโพรพิล เมทซิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methylcellulose, HPMC) โครงสร้างเคมีของเมทโซเซล™ ทั้ง 2 ชนิดแสดงในภาพที่ 2.1 มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ของเซลลูโลส

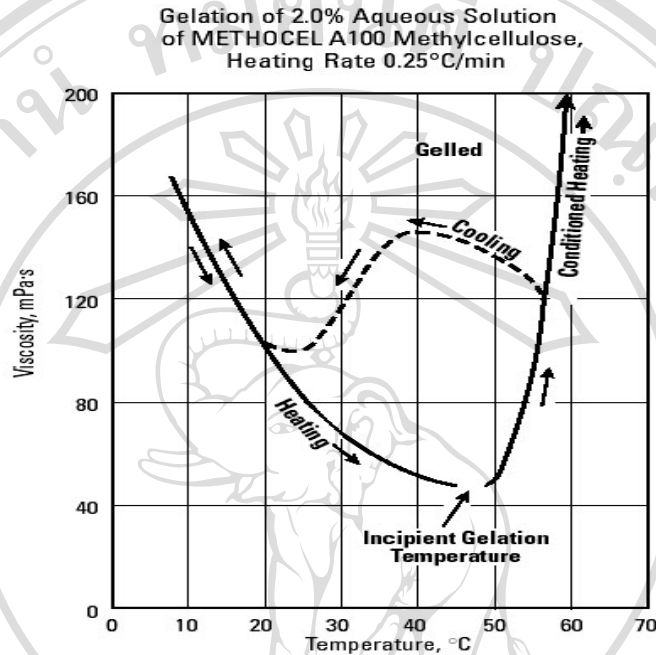
(polymeric backbone cellulose) ซึ่งมีพื้นฐานคือ หน่วยย่อยของกลูโคส (anhydroglucose unit) (Dow Chemical Company, 1962)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของเมทโรเซลTM ชนิดเมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose, MC) (A) และชนิดไฮดรอกซีโพรพิล เมทิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methylcellulose, HPMC) (B) ที่มา: Dow Chemical Company (1962)

ความแตกต่างของเมทโรเซลTM ชนิดต่างๆ เกิดจากการผันแปรสัดส่วนของหมู่แทนที่ที่เป็น hydroxypropyl กับ methoxyl สัดส่วนดังกล่าวนี้จะทำให้ความสามารถในการละลาย ความข้นหนืดและอุณหภูมิเริ่มเกิดเจล (thermal gel point) ของสารละลายเมทโรเซลTM แตกต่างออกไป สามารถแบ่งออกตามค่าระดับการแทนที่ (degree of substitution, D.S.) ซึ่งหมายถึงปริมาณโดยเฉลี่ยของหมู่แทนที่ที่ทำปฏิกิริยาที่วงแหวนตรงบริเวณหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) ของ anhydroglucose unit หากมีการแทนที่ 2 แห่ง เรียก D.S. = 2 เป็นต้น ความหนืดของสารละลายเมทโรเซลTM เริ่มตั้งแต่ 3-100,000 เซนติพอยส์ (Dow Chemical Company, 1962) เมทโรเซลTM ละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องได้ไม่ดี แต่สามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำร้อนซึ่งต้องมีอุณหภูมิในระดับที่เหมาะสม หลังจากเมทโรเซลTM กระจายตัวในน้ำและทุกอนุภาคเปียกแล้ว การละลายของเมทโรเซลTM จะเกิดขึ้นต่อเมื่อลดอุณหภูมิของน้ำให้ต่ำลง ดังภาพที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการละลายของเมทโรเซลTM จะเห็นได้ว่าเมื่อโมเลกุลน้ำจับกับสายโพลีเมอร์เมทโรเซลTM อย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิดการคายตัวของสายโพลีเมอร์เมทโรเซลTM จากที่จับซ้อนเมื่อเริ่มต้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสายโพลีเมอร์จะปล่อยโมเลกุลของน้ำออกมา ทำให้ความหนืดของสารละลายลดลงไปจนกระทั่งอุณหภูมิถึงจุดเริ่มเกิดเจล (incipient gelation temperature) สายโพลีเมอร์ที่ปราศจากน้ำนี้จะจับกันและสารละลายเริ่มเกิดเจล ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่มีค่าความแข็งแรงที่อุณหภูมิกำหนดหนึ่งเท่านั้น ต่อมาเมื่อลดอุณหภูมิลงในช่วงทำเย็นเจลยังคงมีความแข็งแรงต่อไปได้อีกเพียงเล็กน้อย หลังจากนั้นปฏิกิริยาจะเริ่มผันกลับและความหนืด

จะลดลงอย่างรวดเร็ว จนในที่สุดกราฟลดลงมาจนบรรจบกราฟเดิมเมื่อเริ่มต้นให้ความร้อน โดยกลไกนี้สามารถทำซ้ำได้อีกหลายครั้งตามต้องการ เพราะเจลของเมทโรเซลTM มีสมบัติผันกลับได้ (reversible)



ภาพที่ 2.2 ผลของการเพิ่มและลดอุณหภูมิต่อความข้นหนืดและการเกิดเจลของสารละลายเมทโรเซลTM

ที่มา: Dow Chemical Company (1962)

ปรากฏการณ์เกิดเจลของเมทโรเซลTM ที่บริเวณผิวรอยต่อของวัฏภาค (interfacial) ของอาหารที่มีสภาพอิมัลชันเกิดขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของเมทโรเซลTM มีลักษณะเป็นสายโพลิเมอร์เคลื่อนที่ไปยังบริเวณผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำ ทำให้เกิดสภาพโฟมที่มีความคงตัวและไม่เกิดการยุบตัว ความหนืดของเมทโรเซลTM มีผลเล็กน้อยต่ออุณหภูมิเริ่มเกิดเจล ในขณะที่หากความเข้มข้นของเมทโรเซลTM เพิ่มขึ้นมีผลทำให้อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลต่ำลง (Dow Chemical Company, 1962) Karim and Wai (1999) ศึกษาการทำมะเฟืองผง โดยการแบบแห้งแบบโฟม-เมท โดยเตรียมโฟมจากเนื้อมะเฟืองสดและใช้เมทโรเซล 65 เอชจี (methocel 65 HG) เป็นสารก่อโฟมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1-0.4 โดยน้ำหนัก พบว่าที่ความเข้มข้นของเมทโรเซล 65 เอชจี ร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก ค่า overrun และความคงตัวของโฟมมีค่าสูงสุด ซึ่งค่าของทั้งสองตัวนี้จะผันแปรตามความเข้มข้นของเมทโรเซล 65 เอชจี เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งจาก 70 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศาเซลเซียสจะลดเวลาในการทำแห้งลงถึง 30 นาที แต่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลอ่อนและทำให้กลิ่นของมะเฟืองลดลง

(2) อัลบูมินจากไข่ (Egg albumin)

อัลบูมินจากไข่ เป็นโปรตีนในกลุ่มของ simple protein ซึ่งอัลบูมินเป็นกลุ่มของโปรตีนที่ละลายได้ดีในน้ำและมีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างต่ำ เสี่ยงสภาพธรรมชาติได้ง่ายด้วยความร้อน (นิธิยา, 2549) อัลบูมินจากไข่มีสมบัติในการทำให้เกิดความคงตัว ช่วยให้เกิดการขึ้นฟู การเกิดโฟม ทำให้เกิดลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสที่ดี (ศิริลักษณ์และกมลวรรณ, 2544) Garcia *et al.* (1988) ใช้ไข่ขาวผง ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เป็นสารก่อโฟม จากการทดลองพบว่าไข่ขาวผงเป็นสารก่อโฟมที่ดี สามารถลดความหนาแน่นของกล้วยได้และเมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งของแผ่น โฟมกล้วยหั่นขึ้น พบว่า การอบแห้งแผ่น โฟมกล้วยจะให้อัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งกล้วยหั่นขึ้นถึง 2 เท่า แต่ไม่มีการศึกษาถึงคุณภาพของแผ่น โฟมกล้วยเมื่อผ่านการอบแห้ง Falade *et al.* (2003) รายงานว่า การทำแห้งแบบ โฟม-แมทของ cowpea ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 22, 25 และ 28 โดยใช้ GMS และอัลบูมินจากไข่ เป็นสารก่อโฟมที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2.5, 5.0, 7.5, 12.5 และ 15 โดย น้ำหนัก เวลาที่ใช้ในการตีโฟม 3, 6, 9, 12, 15, 18 และ 21 นาที อุณหภูมิในการเกิดโฟม 15, 25 และ 35 องศาเซลเซียสและทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 นาที พบว่าหลังจากนาที่ที่ 9 และ 21 ในการตีให้อากาศของการใช้ GMS และอัลบูมินจากไข่ เป็นสารก่อโฟม ในขณะที่โฟมเกิดจากการเติม อัลบูมินจากไข่ไม่มีความคงตัวในระหว่างการทำแห้ง รติยาและคณะ (2550) ได้ศึกษาการอบแห้ง แผ่นโฟมที่ทำจากกล้วยสุกโดยใช้ไข่ขาวเป็นสารก่อโฟม พบว่ากล้วยสุกสามารถทำให้เป็นโฟมได้ โดยใช้ไข่ขาวสดปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักเป็นสารก่อโฟม

(3) กลีเซอรอล โมโนสเตียเรต (Glycerol monostearate, GMS)

กลีเซอรอล โมโนสเตียเรต (GMS) เป็นที่รู้จักในชื่อของ โมโนสเตียรีน (monostearin) เป็นของผสมที่มีสัดส่วนที่แตกต่างของ กลีเซอรอล โมโนสเตียเรต (glycerol monostearate) กลีเซอรอล โมโนปาลมิเตต (glycerol monopalmitate) และกลีเซอรอลเอสเตอร์ (glycerol ester) ของกรดไขมันที่มีอยู่ใน กรดสเตียริก GMS เตรียมได้จากการสลายกลีเซอรอล (glycerolysis) ของไขมันหรือน้ำมันที่ได้มาจาก แหล่งที่สามารถรับประทานได้หรือผ่านกระบวนการเอสเตอร์ฟิเคชัน (esterification) ของกรด สเตียริกที่ได้มาจากแหล่งที่สามารถรับประทานได้โดยใช้กลีเซอริน (Igoe and Hui, 1996) Hart *et al.* (1963) ได้รายงานถึงชนิดของสารเพิ่มความคงตัวของ โฟมและวิธีการเตรียมสารก่อบนนำมาใช้ว่า ในช่วงแรกที่มีการพัฒนากระบวนการอบแห้งแบบ โฟม-แมท สารเพิ่มความคงตัวของ โฟมที่นิยมใช้ มากที่สุดคือ กลีเซอรอล โมโนสเตียเรต (Glycerol monostearate, GMS) ซึ่งเป็นสารที่ไม่สามารถละลาย ในน้ำเย็นได้ ซึ่งมีวิธีการเตรียมสาร โดยละลาย GMS ลงในน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 5-10 โดย น้ำหนัก จากนั้นคนให้ละลายและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 68-75 องศาเซลเซียส หรือใช้เครื่องผสมทำให้ GMS กระจายตัวในน้ำที่อุณหภูมิ 83 องศาเซลเซียส และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส มีการใช้

GMS เป็นสารเพิ่มความคงตัวของโฟมในอาหารเหลวหลายชนิด ได้แก่ แอปปริอท กล้วยแช่แข็ง น้ำตาลซูโครสผสมเจลาตินและน้ำมะเขือเทศเข้มข้น และยังพบว่ามีการใช้สารซูโครส โมโนปาลมิเตต (Sucrose monopalmitate) ซูโครส โมโนลอเรต (Sucrose monolaurate) อัลบูมินจากไข่ (Egg albumin) ซอร์บิแทน โมโนสเตียเรต (Sorbitan monostearate) พอลิออกซีเอทิลีน ซอร์บิแทน โมโนสเตียเรต (Polyoxyethylene sorbitan monostearate) เมทซิล เซลลูโลส (Methyl cellulose) กัวกัม (Guar Gum) และแป้งมันสำปะหลังเป็นสารเพิ่มความคงตัวของโฟมในการผลิตอาหารผงหลายชนิด Berry *et al.* (1965) ได้รายงานถึงวิธีการเตรียมสารเพิ่มความคงตัวของโฟม 3 ชนิดคือ อัลบูมินจากถั่วเหลืองชนิดดัดแปร (Modified soya albumin, D-100) เมทซิล เซลลูโลสและ GMS การเตรียมอัลบูมิน จากถั่วเหลืองชนิดดัดแปรโดยการละลายในน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 16.7 โดยน้ำหนัก แล้วเก็บไว้ในตู้เย็น เมทซิล เซลลูโลสเตรียมโดยการละลายในน้ำให้มีความเข้มข้น 10 เซนติพอยต์ โดยการทำให้กระจายตัวในน้ำร้อนในปริมาณน้อยๆ แล้วจึงเติมน้ำเย็นให้ได้ปริมาณที่ต้องการและปรับให้มีความเข้มข้นร้อยละ 4.8 โดยน้ำหนัก ส่วน GMS เตรียมโดยการต้มน้ำจันมีอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ค่อยๆ เติม GMS ลงไปให้มีความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก พร้อมกับคนให้กระจายตัว นำสารแขวนลอยที่ได้ไปผสมในเครื่องผสมซึ่งอยู่ภายในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 77 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จะได้สารแขวนลอยคล้ายครีมสีขาว เก็บไว้ในภาชนะแล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง โดยต้องมีการเตรียมสารใหม่เพื่อใช้งานทุกๆ 24 ชั่วโมง และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

ตาราง 2.2 สารเพิ่มความคงตัวของโฟมและวิธีการเตรียมสาร

สารเพิ่มความคงตัว	ชื่อทางการค้า	บริษัทผู้ผลิต	การรับรองของ FDA	วิธีการใช้
กลีเซอรอล โมโนสเตียเรต (Glyceryl monostearate)	Myverol 1800	DPI	✓	ใช้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5-10 ผสมและเก็บที่อุณหภูมิ 60-65°C หรือทำให้เกิดการกระจายตัวที่อุณหภูมิ 77°C และเก็บที่ 54°C
โปรตีนจากถั่วเหลือง (Solubilized soya protein)	D-100-WA	Gunther Product	✓	ใช้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยเตรียมในรูปสารละลายที่อุณหภูมิ 21°C
ซูโครส โมโนปาลมิเตต (Sucrose monopalmitate)	-	Ledoga	X	ใช้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1-5 โดยน้ำหนัก โดยละลายในน้ำที่อุณหภูมิ 71-82°C ถ้าเตรียมที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ควรใช้สารละลายที่ 21°C แต่ถ้าเตรียมที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ควรใช้สารละลายที่ 54°C
ซูโครส โมโนลอเรต (Sucrose monolaurate)	-	Ledoga	X	ใช้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1-5 โดยน้ำหนัก โดยละลายในน้ำที่อุณหภูมิ 71-82°C ถ้าเตรียมที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ควรใช้ที่ 21°C
อัลบูมินจากไข่ (Egg albumin)	Span 60	-	✓	ใช้ในรูปสารละลายที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 21°C
ซอร์บิแทน โมโนสเตียเรต (Sorbitan monostearate)	Tween 60	Atlas	บางส่วน	ใช้สารละลายผสมของ Span 60 เข้มข้นร้อยละ 9.2 ร่วมกับ Tween 60 ร้อยละ 0.8 ที่อุณหภูมิ 21-60°C
โพลีออกซีเอทิลีน ซอร์บิแทน โมโนสเตียเรต (Polyoxyethylene Sorbitan onostearate)	Methocel 110CPS. MC	Atlas	บางส่วน	ใช้สารละลายผสมของ Span 60 เข้มข้นร้อยละ 9.2 ร่วมกับ Tween 60 ร้อยละ 0.8 ที่อุณหภูมิ 21-60°C
เมทิลเซลลูโลส (Methylcellulose)	Jagure 307	Dow	✓	เตรียมในรูปสารละลายที่อุณหภูมิต่ำ
กัวกัม (Guar gum)	Cell U	Stieb-Hall	✓	เตรียมในรูปสารละลายที่อุณหภูมิต่ำ
แป้งมันสำปะหลัง (Tapioca starch)	-	Chicago Sieteic Supply	✓	เตรียมในรูปสารละลายที่อุณหภูมิต่ำ

ที่มา: Hart *et al.* (1963)

ตาราง 2.3 ชนิดและความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวของโฟมในผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้	วัตถุเจือปนที่ใช้	ความเข้มข้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิที่ใช้ (°C)	ความหนาแน่นของโฟม(กรัม/มิลลิลิตร)	เวลาที่ใช้ในการตีโฟม (นาที)
แอปริคอต	32	A	1.1	0	0.43	10
น้ำแอปเปิ้ล	47.2	C&D	0.10, 0.02	38	0.15	10
ซอสแอปเปิ้ล	20	E	1.5	21	0.25	10
กล้วยเชือกแข็ง	21	A	1.0	4	0.40	20
กล้วยกระป๋อง	18	A&L	1.0, 10.0	21	0.40	20
เนื้อวัวสกัด	54	J	-	21	0.32	8
กาแฟสกัด	47	C	1.0	21	0.20	10
กาแฟสกัด	30	K, G&A	1.0, 1.0, 1.0	21	0.30	15
แป้งอเนกประสงค์	35	H	1.0	21	0.25	20
น้ำอุ่นเข้มข้น	46	B&I	1.0, 0.2	21	0.25	4
น้ำอุ่น	39	B&I	2.0, 0.45	21	0.17	11
น้ำมะนาวเข้มข้น	60	A	1.0	21	0.25	5
นมเต็มมันเนย	42	J	-	21	0.35	10
กากน้ำตาล	85	A	0.3	21	0.50	3
น้ำส้ม	50	B&I	0.8, 0.2	4	0.30	20
ถั่วมีฝัก	18	A	5.5	21	0.40	15
ลูกแพร์	13	A	7.7	21	0.21	5
น้ำสับปะรด	46	B	1.0	21	0.28	2
มันฝรั่งชนิดขาว	19	A	1.6	21	0.52	3
น้ำผลไม้สดคอกซ์ (Squash)	12	F&G	2.6, 0.2	21	0.55	35
พรุณ (Prune)	35	A	0.5	21	0.40	9
วิปพรุณ (Prune whip)	34.5	E	2.3	21	0.36	5
นมถั่วเหลือง	24.4	B&H	4.0, 0.5	0	0.23	10
สตอร์เบอร์รี่ในน้ำเชื่อม 1ugar	40	A	1.5	21	0.28	10
ซูโครส	70	B	1.0	21	0.31	5
ซูโครสผสมเจลาตินร้อยละ	33	A	1.0	38	0.14	5
ซูโครสผสมเพคตินร้อยละ 6	53	B	1.0	21	0.29	5
ชา	45	C	1.0	21	0.25	5
มะเขือเทศเข้มข้น	30	A	1.0	21	0.40	4

หมายเหตุ วัตถุเจือปนที่ใช้

A. Glyceryl monostearate

B. Solubilizes soya protein

C. Sucrose monopalmitate

D. Sucrose monolaurate

E. Egg albumin

F. Sorbitan monostearate

G. Polyoxyethylene sorbitan monostearate

H. Methylcellulose. 8000 cps.

I. Methylcellulose. 10 cps.

J. Xo additive

K. Guar gum

L. Tapioca starch

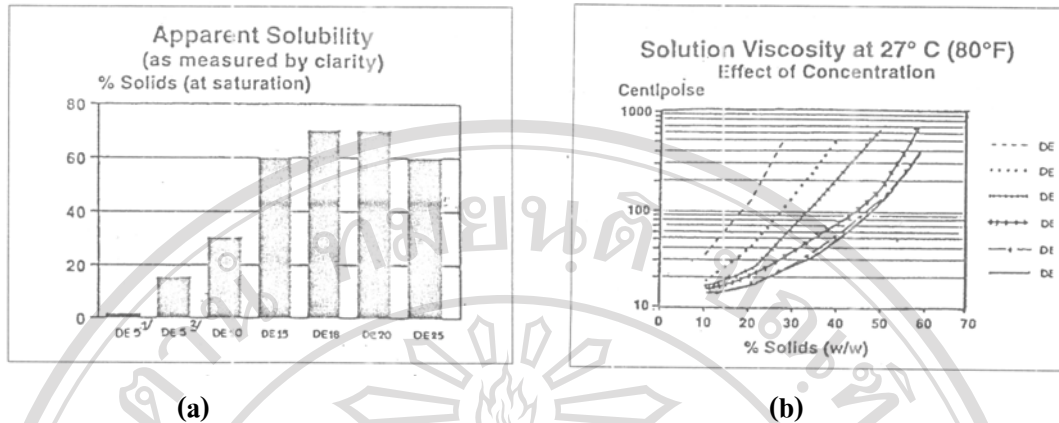
ที่มา: Hart *et al.* (1963)

2.2.5 การใช้มอลโตเดกซ์ตรินเป็นสารเพิ่มปริมาณในอาหารผง

มอลโตเดกซ์ตริน ($C_6H_{10}O_5$)_n.H₂O คือ สายโพลีเมอร์ของแซคคาไรด์ที่มีคุณค่าทางอาหาร ประกอบด้วยดี-กลูโคส (D-glucose) ยูนิต หลายๆ ยูนิต ต่อกันด้วยพันธะชนิดแอลฟา 1-4 (alpha 1-4) และมีค่าสมมูลเด็กซ์โตรส (dextrose equivalent หรือ DE) ค่า DE หมายถึง ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลกลูโคสที่มีอยู่ในตัวอย่าง เมื่อใช้วิธีตรวจวัดโดยวิธีรีดักชัน (reduction) หรือหาได้จากสูตรดังนี้ (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2543)

$$DE = \frac{\text{ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่วัดได้} \times 100}{\text{น้ำหนัก (ของแข็ง) ของตัวอย่าง}}$$

ค่า DE แปรผกผันกับขนาดโมเลกุล ค่า DE ของดี-กลูโคสที่ปราศจากน้ำ (anhydrous D-glucose) เท่ากับ 100 ในขณะที่ค่า DE ของสตาร์ชดั้งเดิม (native starch) เท่ากับ 0 (Macrae *et al.*, 1993) มอลโตเดกซ์ตรินมีลักษณะเป็นผงสีขาว มีความหวานเล็กน้อยหรือไม่หวานเลยขึ้นอยู่กับค่า DE มีความชื้นประมาณร้อยละ 3-5 มีความหนาแน่นปรากฏ (bulk density) อยู่ในช่วง 0.31-0.61 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถใช้มอลโตเดกซ์ตริน ได้ในปริมาณที่เหมาะสมกับชนิดของอาหารและหน้าที่ของมอลโตเดกซ์ตรินในอาหารนั้นๆ (generally recognized as safe) (Macrae *et al.*, 1993; Grain Processing Corporation, 1994) มอลโตเดกซ์ตรินสามารถละลายได้ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง สารละลายที่ได้อาจใสหรือขุ่นขึ้นกับชนิดของมอลโตเดกซ์ตรินที่นำมาใช้ สารละลายที่ได้มีคุณสมบัติทางด้านความเป็นเนื้อ (body) และมีความหนืดที่สม่ำเสมอ เนื้อสัมผัสเนียนเรียบ มีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ (low hygroscopicity) โดยเฉพาะพวกที่มีค่า DE ต่ำๆ เนื่องจากปริมาณโมโนแซคคาไรด์น้อย มีจุดเยือกแข็งคงที่และสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลได้เป็นอย่างดี ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดสีน้ำตาลน้อยลง นอกจากนั้นยังสามารถละลายได้ในอาหารที่เป็นของเหลว เช่น ชุป นำนมและน้ำผลไม้ เป็นต้น โดยอาจเติมในลักษณะที่เป็นผงโดยตรงหรือนำมาละลายในน้ำก่อน (Furia, 1972) เมื่อเทผงมอลโตเดกซ์ตรินออกมาจะไหลลงอย่างอิสระไม่เกาะติดกัน มนุษย์สามารถรับประทานมอลโตเดกซ์ตรินได้อย่างปลอดภัย เพราะเอนไซม์ในลำไส้เล็กของมนุษย์จะย่อยมอลโตเดกซ์ตรินให้เป็น D-glucose เช่นเดียวกับคาร์โบไฮเดรตทั่วไป มอลโตเดกซ์ตรินที่มี DE สูงจะมีความสามารถในการดูดความชื้น ความหนาแน่นปรากฏ ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ค่าการละลาย ความใสของการละลายและความหวานสูงกว่ามอลโตเดกซ์ตรินที่มี DE ต่ำ แต่จะมีความหนืดต่ำกว่า (Macrae *et al.*, 1993)



ภาพที่ 2.3 (a) ความสามารถในการละลายของมอลโตเด็กซ์ตริน (b) ความหนืดของสารละลายของมอลโตเด็กซ์ตริน

ที่มา: Grain Processing Corporation (1994)

ความสามารถในการละลายของมอลโตเด็กซ์ตรินขึ้นอยู่กับค่า DE ดังภาพที่ 2.3 การละลายเพิ่มขึ้นเมื่อค่า DE มากขึ้นจาก DE 5 เป็น DE 18 จากนั้นจะค่อยๆ ลดลง พบว่าความหนืดของสารละลายจะลดลงเมื่อค่า DE สูงขึ้นและความหนืดขึ้นกับปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินในสารละลายนั้นๆ ด้วย หากมีปริมาณสูงความหนืดของสารละลายที่ได้ก็สูงตามไปด้วย ดังภาพที่ 2.3

มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นโมเลกุลใหญ่ที่สามารถถูกเอนไซม์กลุ่มอะมิเลสย่อยแล้วให้น้ำตาลมอลโตสได้ เช่น มอลโตไตรโอส (maltotriose) มอลโตเตตราโอส (maltotetraose) และมอลโตเพนทาโอส (maltopentaose) เป็นต้น การผลิตมอลโตเด็กซ์ตรินนั้นมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2543) ดังนี้

(1) การผลิตแบบขั้นตอนเดียว เป็นการย่อยแป้งด้วยกรดที่อุณหภูมิมากกว่า 105 องศาเซลเซียส หรือเอนไซม์อะมิเลสที่อุณหภูมิ 82-105 องศาเซลเซียส แล้วหยุดปฏิกิริยาโดยปรับความเป็นกรด-ด่างหลังให้ความร้อน ทำการกรองแบบสุญญากาศโดยใช้สารช่วยกรอง ปรับกลินสี โดยคาร์บอนหรือผงถ่าน แล้วกรองอีกครั้ง จากนั้นต้มระเหยให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น แล้วทำเป็นผงแห้งด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

(2) การผลิตแบบสองขั้นตอน เป็นการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์อะมิเลสที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส และหยุดปฏิกิริยาโดยความร้อน 110-180 องศาเซลเซียส ขนาดของ DE จะได้ประมาณ 2-5 จากนั้นก็ใช้เอนไซม์อะมิเลสอีกครั้งหนึ่งที่ 85 องศาเซลเซียส จนได้ DE 5-20 จึงหยุดปฏิกิริยาโดยการปรับความเป็นกรด-ด่างหรือความร้อน จากนั้นทำการกรองแบบสุญญากาศโดยใช้สารช่วยกรอง ปรับกลินสีโดยคาร์บอน (ผงถ่าน) แล้วกรองอีกครั้ง จากนั้นต้มระเหยให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น แล้วทำเป็นผงแห้งด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

มอลโตเด็กซ์ทรินสามารถนำมาใช้เพิ่มปริมาณของแข็งให้กับวัตถุดิบก่อนที่จะนำเข้าสู่เครื่องทำแห้งและยังช่วยลดการดูดความชื้นกลับในผลิตภัณฑ์ผง ซึ่งมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง เช่น น้ำผลไม้ผง เป็นต้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้สามารถไหลได้สะดวก บริษัท Grain Processing Corporation (1994) ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตมอลโตเด็กซ์ทรินตรามอลทริน (Maltin) แนะนำให้ใช้มอลโตเด็กซ์ทรินที่มีค่า DE 9-12 เป็นตัวพาในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำผลไม้และไซรัป ในช่วง DE นี้มอลโตเด็กซ์ทรินมีความสามารถในการละลายสูงที่สุด ประมาณร้อยละ 30 (น้ำหนักแห้ง) และสารละลายที่ได้มีความเข้มข้นประมาณ 60 เซนต์พอยต์ Beristain *et al.* (1993) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำน้ำกระเจี๊ยบโดยวิธีโฟม-แมทด้วยการเติมอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1-0.4 โดยน้ำหนักและมอลโตเด็กซ์ทริน (ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก) ลงไปในน้ำดอกกระเจี๊ยบแดงเข้มข้น 15 องศาบริกซ์ เพื่อก่อให้เกิดโฟม การอบแห้งทำในเตาอบลมร้อน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการอบคือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 นาที และความหนาของโฟมเท่ากับ 4 มิลลิเมตร โดยมีความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์เป็นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเปียก โดยที่ผงที่ได้จากการอบแห้งโดยวิธีโฟม-แมทมีลักษณะปรากฏที่ดีกว่าผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved