บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลำไย

ลำไย (*Euphoria longana* Lamk) เป็นผลไม้ชนิดบ่มไม่สุก (non-climacteric) มีรสหวาน มีกลิ่นหอม ไม่มีรสเปรี้ยว มีความหวานประมาณ 16–20 องศาบริกซ์ ค่าพีเอช 6.7–6.9 เนื้อลำไยสดประกอบด้วยน้ำตาลหลักๆ 3 ชนิด คือ กลูโคส ฟรักโทส และซูโครส กรดอินทรีย์ที่สำคัญได้แก่ กรดกลูโคนิก กรดมาลิก กรดซิตริก และมีกรดอะมิโน 9 ชนิด ทำให้ลำไยมีสรรพคุณทางยา คือ ใช้เป็นยาบำรุงให้แก่คนที่เป็นโรคประสาทอ่อนๆ และโรคนอนไม่หลับ บำรุงม้าม และบำรุงหัวใจ ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของลำไยสดและลำไยอบแห้ง แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของลำไย

ส่วนประกอบ		เนื้อลำไยสด	เนื้อลำไยอบแห้ง
ความชื้น	ร้อยละ	81.10	17.80
ไขมัน	ร้อยละ	0.11	0.48
เส้นใย	ร้อยละ	0.28	1.60
โปรตีน	ร้อยละ	0.97	4.60
เถ้า	ร้อยละ	0.56	2.86
คาร์โบไฮเดรต	ร้อยละ	16.98	72.70
พลังงานความร้อน	กิโลแคลอรี่ / 100 กรัม	72.79	311.80
แคลเซียม	มิลลิกรัม / 100 กรัม	5.70	27.70
เหล็ก	มิลลิกรัม / 100 กรัม	0.35	2.39
ฟอสฟอรัส	มิลลิกรัม / 100 กรัม	35.50	159.50
โซเดียม	มิลลิกรัม / 100 กรัม	-	4.50
โปตัสเซียม	มิลลิกรัม / 100 กรัม	-	2,012.00
ไนอาซีน	มิลลิกรัม / 100 กรัม	-	3.03
กรดแพนโททีนิค	มิลลิกรัม / 100 กรัม	-	0.57
วิตามินบีสอง	มิลลิกรัม / 100 กรัม	-	0.37
วิตามินซี	มิลลิกรัม / 100 กรัม	69.20	137.80

ที่มา : กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ (2521)

2.2 วิธีการบริโภคลำไยอบแห้งในตลาดต่างประเทศ (รัตนาและคณะ, 2541)

ประเทศจีนและฮ่องกงเป็นตลาดลำไยอบแห้งที่ใหญ่ที่สุดของประเทศไทย โดยในปี 2539 ได้มีการรับซื้อลำไยอบแห้งจากประเทศไทยถึงร้อยละ 90 ของผลผลิตที่ไทยส่งออกทั้งหมด โดยเฉพาะลำไยอบแห้งทั้งเปลือก มีรายงานว่าผลผลิตมากกว่าร้อยละ 50 ที่ฮ่องกงนำเข้าจากประเทศไทย ถูกส่งต่อเข้าไปขายในประเทศจีน นอกจากนี้การส่งออกลำไยอบแห้งไปยังประเทศจีนโดยตรงได้เริ่มขึ้นในปี 2537 และมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ปี 2539

ผู้บริโภคชาวจีนมีความเชื่อว่าลำไยเป็นผลไม้มงคล ให้โชคลาภ ชาวจีนเรียกว่า "ตามังกร" มักใช้ผลลำไยในพิธีกรรมต่างๆ ซึ่งจะขาดเสียมิได้ ชาวจีนยังเชื่อว่าลำไยเป็นยาชูกำลัง มีคุณภาพเทียบเคียงกับโสม เมื่อบริโภคลำไยแล้วทำให้สุขภาพดี แข็งแรง ดังนั้นชาวจีนในแถบภาคเหนือซึ่งมีอากาศหนาวเย็นจึงนิยมดื่มน้ำร้อนที่ชงด้วยลำไยอบแห้ง

ชาวจีนผู้บริโภคลำไยมักเป็นผู้มีฐานะดี การใช้ลำไยแห้งเป็นอาหารว่างต้อนรับแขกถือเป็นการแสดงฐานะของเจ้าของบ้านผู้ให้การต้อนรับ ยิ่งมีลำไยมากเท่าใด ก็แสดงว่าเจ้าของบ้านมีฐานะดีมากเท่านั้น

การบริโภคลำไยอบแห้งของชาวจีน สามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ลักษณะ คือ

1. ใช้ประกอบพิธี ซึ่งใช้อย่างน้อย 2 ผล ผู้ได้บริโภคลำไยในงานพิธีถือเป็นการบริโภคตามังกร
2. แกะกินเนื้อลำไยโดยตรง
3. ใช้ชงในน้ำร้อนแทนใบชา
4. ใช้ประกอบตัวยาหลายชนิด ซึ่งหากเป็นลำไยอบแห้งเฉพาะเนื้อ จะใช้ลำไยเกรดต่ำ (สีน้ำตาล-ดำ)
5. ใช้ปรุงอาหารว่าง เช่น ข้าวเหนียวเปียกลำไย (ชาวไทยนิยมใช้ลำไยสด)
6. ใช้ทำน้ำลำไย
7. ใช้ดองสุรา

2.3 กระบวนการผลิตลำไยอบแห้ง (รัตนาและคณะ, 2541)

ลำไยที่นำมาแปรรูปเป็นลำไยอบแห้งส่วนใหญ่จะเป็นลำไยร่วง เนื่องจากมีราคาต่ำกว่าลำไยช่อ สายพันธุ์ที่ใช้ทำลำไยอบแห้งสามารถใช้ได้ทุกสายพันธุ์ ไม่มีข้อจำกัดเหมือนลำไยกระป๋อง แต่ถ้าใช้ลำไยสายพันธุ์ดอจะให้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตสูงกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นพันธุ์แดงกลม พันธุ์แห้ว หรือพันธุ์ใบดำ ขนาดของผลลำไยที่ใช้ทำลำไยอบแห้งใช้ได้ทุกขนาด แต่ขนาดผลใหญ่

จะได้น้ำหนักเนื้อที่ดีกว่า เสียต้นทุนต่อกิโลกรัมในส่วนของค่าจ้างคว้านถูกกว่าและจำหน่ายได้ราคาสูงกว่า อย่างไรก็ตามลำไยที่นำมาอบแห้งควรเป็นลำไยสดที่ยังไม่เน่า ไม่มีเชื้อราหรือแมลงกัดเจาะ ไม่มีกลิ่นอื่นแปลกปลอม

กระบวนการแปรรูปลำไยอบแห้งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. การแปรรูปลำไยอบแห้งเฉพาะเนื้อ เป็นการนำลำไยสดมาคว้านเอาเมล็ดออกด้วยปลอกคว้าน หรือด้วยปลายช้อนสแตนเลสที่ลับจนคม แกะเปลือกออกนำเนื้อลำไยมาแช่ในสารละลายโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ จากนั้นเรียงบนตะแกรงโปร่งหรือกระด้ง นำเข้าอบด้วยความร้อนจนเนื้อลำไยแห้ง อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการอบเนื้อลำไยแตกต่างกันไปตามชนิดของเตาหรือตู้อบ เช่นเดียวกับสีของเนื้อลำไยอบแห้งซึ่งมีตั้งแต่สีเหลืองทองไปจนถึงสีดำ สำหรับการอบเนื้อลำไยอบแห้งให้ได้เนื้อลำไยอบแห้งสีเหลืองทอง ได้มีการพัฒนาและเผยแพร่ทั้งในรูปแบบการประชุมเชิงปฏิบัติการ และการสัมมนาทางวิชาการ ซึ่งจัดโดยหน่วยงานของรัฐ เช่น พาณิชย์จังหวัด กรมการค้าภายใน เกษตรจังหวัด ร่วมกับคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตั้งแต่ปี 2533 เป็นต้นมา (ดังรูปที่ 2.1) แต่การเผยแพร่ดังกล่าวยังไม่เพียงพอกับความต้องการ จึงทำให้การแปรรูปลำไยอบแห้งเฉพาะเนื้อของผู้ประกอบการมีวิธีการแปรรูปหลายวิธีแตกต่างกันตามแหล่งที่ทำการแปรรูป (ดังตารางที่ 2.2) และทำให้ได้เนื้อลำไยอบแห้งที่มีคุณภาพแตกต่างกัน

2. การแปรรูปลำไยอบแห้งทั้งเปลือก เป็นการนำลำไยสดทั้งเปลือกมาอบให้แห้งด้วยความร้อน กรรมวิธีการอบลำไยทั้งเปลือกยังไม่มีการกำหนดกรรมวิธีมาตรฐาน และไม่มีการให้การฝึกอบรมจากหน่วยงานของรัฐเหมือนการทำเนื้อลำไยอบแห้งสีทอง ดังนั้นกรรมวิธีการอบลำไยทั้งเปลือกที่ทำกันจึงมีหลากหลายวิธี ซึ่งได้จากการทดลองดัดแปลงเองตามคำแนะนำจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จากพ่อค้าจีน จากบริษัทผู้จำหน่ายเตา และจากผู้ที่เคยทำมาก่อน (ดังตารางที่ 2.3) การที่ใช้กรรมวิธีการอบแห้งที่แตกต่างกันจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้คุณภาพของเนื้อลำไยอบแห้งทั้งเปลือกมีสีตั้งแต่สีน้ำตาลแดงไปจนถึงสีดำ ความแห้งของเนื้อลำไยมีตั้งแต่ไม่ค่อยแห้งไปจนถึงแห้งมากจนเนื้อติดเมล็ด กลิ่นของลำไยมีตั้งแต่กลิ่นลำไยไปจนถึงกลิ่นน้ำตาลไหม้ ดังนั้นเพื่อให้การอบลำไยอบแห้งทั้งเปลือกไม่มีปัญหาด้านคุณภาพโดยเฉพาะอบไม่แห้งจนเป็นเหตุให้เชื้อราขึ้นหมดไป ในปี 2540 กรมส่งเสริมสหกรณ์การเกษตรจึงได้ร่วมกับมหาวิทยาลัยเชียงใหม่จัดอบรมเกษตรกรผู้แปรรูปลำไยอบแห้งทั้งเปลือกทั้งในจังหวัดเชียงใหม่ และลำพูน ในเรื่องเทคนิคการอบลำไยให้ได้มาตรฐาน (ดังรูปที่ 2.2)

รูปที่ 2.1 กรรมวิธีการทำลำไยอบแห้งเฉพาะเนื้อสีทอง (รัตนาและคณะ, 2541)

* - ถ้าต้องการจำหน่ายทันทีหรือเก็บไว้ 3 เดือน ให้ใช้สารโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 30 กรัมต่อน้ำ 10 ลิตร ต่อเนื้อลำไย 10 กิโลกรัม แช่ไว้ 3-5 นาทีช้อนขึ้น

- ถ้าต้องการเก็บไว้ 6-9 เดือน ให้ใช้สารโปตัสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 30 กรัมต่อน้ำ 10 ลิตร ต่อเนื้อลำไย 10 กิโลกรัม แช่ไว้ 8-10 นาทีช้อนขึ้น

** - สำหรับตู้อบที่มีพัดลม ให้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12-15 ชั่วโมงติดต่อกัน

- สำหรับตู้อบที่ไม่มีพัดลม ให้อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-20 ชั่วโมงติดต่อกัน

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตารางที่ 2.2 กรรมวิธีการแปรรูปลำไยอบแห้งเฉพาะเนื้อ ในปี 2539 (รัตนาและคณะ, 2541)

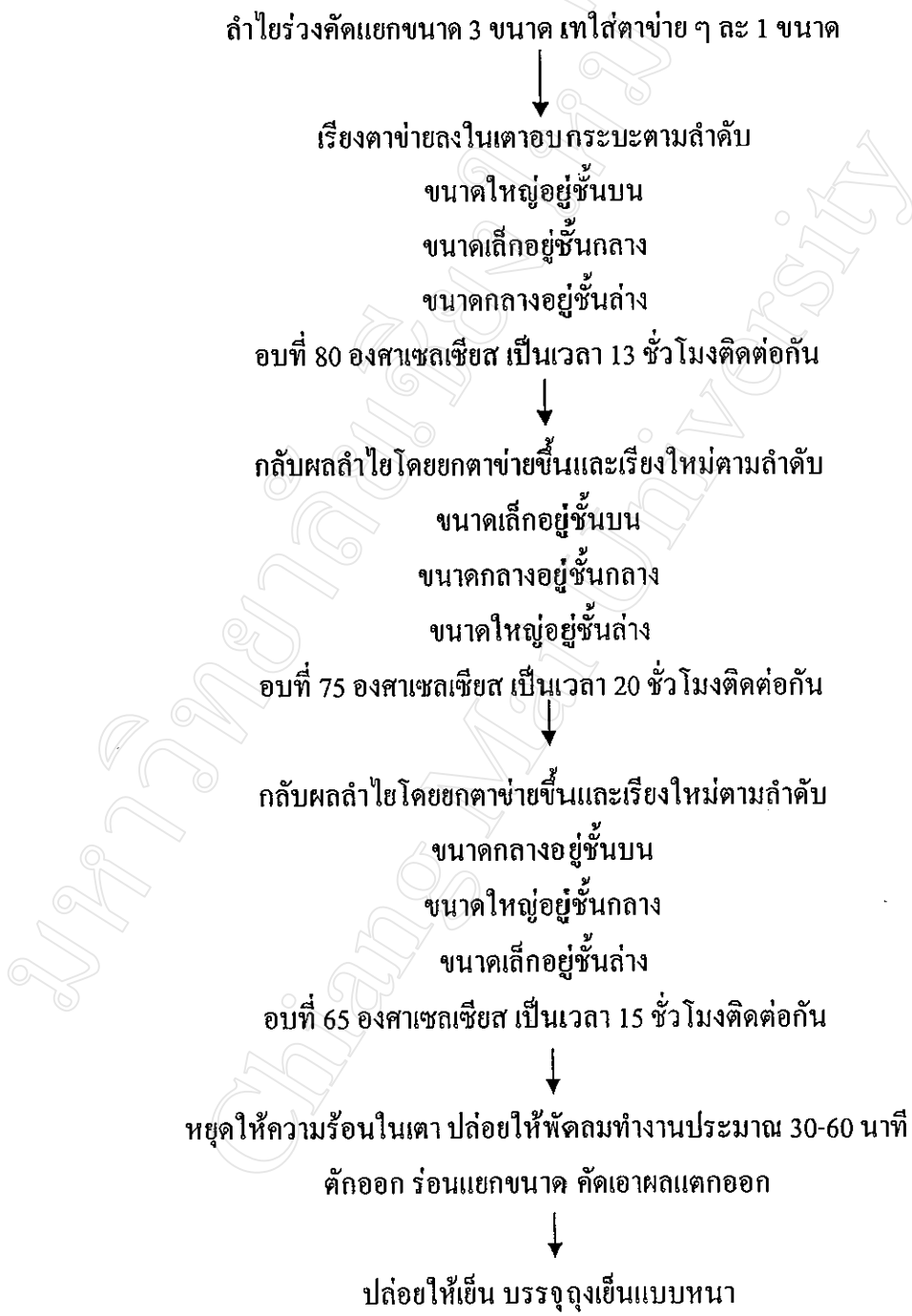
วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3	วิธีที่ 4
ลำไยสด	ลำไยสด	ลำไยสด	ลำไยสด
↓	↓	↓	↓
คว้านเมล็ด	คว้านเมล็ด	คว้านเมล็ด	คว้านเมล็ด
↓	↓	↓	↓
แกะเปลือก	แกะเปลือก	แกะเปลือก	แกะเปลือก
↓	↓	↓	↓
ล้างน้ำ	แช่สารส้ม 100 กรัม	ล้างในน้ำปูนใส	ล้างน้ำ
↓	ต่อน้ำ 20 ลิตร	↓	↓
เรียงบนตะแกรงโปร่ง	เป็นเวลา 5 นาที	ช้อนขึ้นให้สะเด็ดน้ำ	แช่สารโปตัสเซียม
↓	↓	↓	เมตาไบซัลไฟต์
อบจนแห้ง	แช่แคลเซียมคลอไรด์	เรียงบนตะแกรงโปร่ง	30 กรัมต่อน้ำ 10 ลิตร
↓	½ ช้อนชา/น้ำ 20 ลิตร	↓	ต่อเนื้อลำไย 10 กก.
ปล่อยให้เย็น	เป็นเวลา 5 นาที	อบจนแห้ง	เป็นเวลา 3-5 นาที
↓	↓	↓	↓
บรรจุถุง	เรียงบนตะแกรงโปร่ง	ปล่อยให้เย็น	ช้อนขึ้นให้สะเด็ดน้ำ
	↓	↓	↓
	อบจนแห้ง	บรรจุถุง	เรียงบนตะแกรงโปร่ง
	↓		↓
	ปล่อยให้เย็น		อบจนแห้ง
	↓		↓
	บรรจุถุง		ปล่อยให้เย็น
			↓
			บรรจุถุง

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตารางที่ 2.3 กรรมวิธีการทำลำไยอบแห้งทั้งเปลือก ในปี 2539 โดยใช้เตาอบกระบะแบบใต้หวัน และเตาอบกระบะแบบใช้แก๊สหุงต้ม (รัตนาและคณะ, 2541)

วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3	วิธีที่ 4
ลำไยทั้งเปลือกคัดแยกขนาด ↓ ใส่บนตะแกรงโปร่งตามลำดับ เกรด 1 (เอ) บนสุด เกรด 2 (บี) ตรงกลาง เกรด 3 (ซี) ล่างสุด ↓ อบที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ↓ กลับลำไย เรียงเกรด 1 (เอ) ล่างสุด เกรด 2 (บี) ตรงกลาง เกรด 3 (ซี) บนสุด ↓ อบที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ↓ อบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จนลำไยแห้ง ↓ ปล่อยให้เย็น ↓ บรรจุถุง	ลำไยทั้งเปลือก ↓ ใส่บนตะแกรงโปร่ง ↓ อบที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ↓ กลับลำไยบนลงล่าง ↓ อบที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ↓ กลับลำไยบนลงล่าง ↓ อบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง จนลำไยแห้ง ↓ ปล่อยให้เย็น ↓ บรรจุถุง	ลำไยทั้งเปลือกคัดขนาด เฉพาะผลใหญ่หรือผลเล็ก ↓ ใส่บนตะแกรงโปร่ง ↓ อบที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 11 ชั่วโมง ↓ กลับลำไยล่างขึ้นบน บนลงล่าง ↓ อบที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ↓ กลับลำไยล่างขึ้นบน บนลงล่าง ↓ อบที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ↓ อบที่ 60 องศาเซลเซียส จนลำไยแห้ง ถ้าผลใหญ่ 7 ชั่วโมง ถ้าผลเล็ก 2 ชั่วโมง ↓ ปล่อยให้เย็น ↓ บรรจุถุง	ลำไยทั้งเปลือกคัดขนาด ↓ ใส่บนตะแกรงโปร่ง ให้ผลเล็กอยู่บน ให้ผลใหญ่อยู่ล่าง ↓ อบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง ↓ กลับลำไย ให้ผลใหญ่อยู่บน ผลเล็กอยู่ล่าง ↓ อบที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ↓ กลับลำไย ให้ผลเล็กอยู่บน ให้ผลใหญ่อยู่ล่าง ↓ อบที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ↓ อบที่ 60 องศาเซลเซียส จนลำไยแห้ง ↓ ปล่อยให้เย็น ↓ บรรจุถุง

รูปที่ 2.2 กรรมวิธีการทำลำไยอบแห้งทั้งเปลือก สำหรับเตากระบะ (รัตนาและคณะ, 2541)



หมายเหตุ: ลำไยสด 10 กิโลกรัม ได้ลำไยอบแห้งทั้งเปลือก 3 กิโลกรัม

2.4 เตาอบลำไย (รัตนาและคณะ, 2541)

เมื่อพิจารณาถึงชนิดของเตาที่ใช้ในการแปรรูปลำไยอบแห้ง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ เตาอบลำไยทั้งเปลือก และเตาอบลำไยเฉพาะเนื้อ เตาแต่ละประเภทก็มีอยู่หลายแบบตามลักษณะของเชื้อเพลิงที่ใช้ ซึ่งแบ่งออกได้ดังนี้

1. เตาบ่ม

(ก) เตาอบแบบชาวบ้าน เป็นเตาอบที่มีลักษณะคล้ายเตาบ่ม มีขนาดกว้าง 1.2 เมตร ยาว 1.2 เมตร และสูง 2.4 เมตร สามารถอบลำไยสดได้ครั้งละ 100-120 กิโลกรัม ใช้ฟืนหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิง ภายในเตาจะมีชั้นสำหรับวางกระด้งที่บรรจุลำไย การควบคุมอุณหภูมิภายในเตาให้สม่ำเสมอตลอดเวลาทำได้ยาก ต้องอาศัยความชำนาญของคนที่เฝ้าเตาเป็นผู้ควบคุมการเติมฟืนที่เตา เพราะถ้าไฟแรงเกินไปเนื้อลำไยจะไหม้หรือมีสีน้ำตาลดำ ถ้าใช้ไฟอ่อนไปต้องใช้เวลาอบนานมากกว่าลำไยจะแห้ง นิยมใช้อบเนื้อลำไย ใช้เวลาอบประมาณ 24 ชั่วโมง ราคาค่าก่อสร้างประมาณ 10,000 บาทต่อเตา

(ข) เตาบ่มใบยาสูบดัดแปลง เป็นเตาอบที่ได้จากการดัดแปลงเตาบ่มใบยาสูบด้วยการติดตั้งตะแกรงใส่ลำไยเพิ่มเติมเข้าไป เตาอบแบบนี้สามารถอบลำไยสดครั้งละ 1,000-3,000 กิโลกรัม เชื้อเพลิงอาจเป็นฟืนหรือถ่านลิกไนต์ หรือแก๊สหุงต้ม นิยมใช้อบลำไยทั้งเปลือก ระยะเวลา 72-120 ชั่วโมงสีเปลือกลำไยเป็นสีน้ำตาลเข้ม เนื้อลำไยมีสีน้ำตาลแดงไปจนสีดำปะปนกัน ค่าดัดแปลงเตาประมาณ 10,000-20,000 บาทต่อเตา

2. เตากระบะ

(ก) เตาอบแบบไต้หวัน (เตาอบโซล่า) เป็นเตาอบที่นำเข้าจากประเทศไต้หวันทั้งชุด ตัวเตามีลักษณะเป็นกระบะสี่เหลี่ยมที่มีขนาดความกว้าง 2.4 เมตร ยาว 2.4 เมตร และสูง 1.2 เมตร มีแผ่นตะแกรงรูโปร่งเป็นพื้นอยู่ส่วนด้านล่างของกระบะสำหรับรองรับผลลำไย ด้านข้างของกระบะด้านหนึ่งระดับต่ำกว่าตะแกรง ติดตั้งหัวเผา พัดลมดูดความร้อนขนาดมอเตอร์ 1 แรงม้าและเครื่องควบคุมอัตโนมัติพร้อมถังน้ำมัน เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นน้ำมันโซล่า เตาชนิดนี้เหมาะที่จะใช้อบลำไยทั้งเปลือกเท่านั้น สามารถอบลำไยได้ครั้งละ 1,800-2,000 กิโลกรัมระยะเวลาที่ใช้ในการอบ 48 ชั่งโมง ราคาเครื่องประมาณ 40,000 บาท

(ข) เตาอบแบบใช้แก๊สหุงต้ม เป็นเตาอบที่เลียนแบบจากเตาอบแบบไต้หวัน ขนาดของเตาและรูปร่างเหมือนเตาแบบไต้หวัน แต่ผลิตในประเทศและใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันโซล่า จึงใช้ท่อเหล็กหล่อยาวทนความร้อนสูงพร้อมอุปกรณ์ชุดควบคุมอัตโนมัติแทนหัวเผาน้ำมันโซล่าและเครื่องควบคุมอัตโนมัติพร้อมถังน้ำมัน ติดตั้งพัดลมดูดความร้อนขนาดมอเตอร์ 1 แรงม้า

เช่นเดียวกัน เตาชนิดนี้เหมาะที่จะใช้อบแห้งลำไยทั้งเปลือกเท่านั้น สามารถอบลำไยได้ครั้งละ 1,800-2,000 กิโลกรัม เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 48 ชั่วโมง ราคาเครื่องประมาณ 36,000-38,000 บาท

3. เตาตู้

(ก) ตู้อบแบบคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มี 2 ขนาด คือ สามารถอบลำไยได้ครั้งละ 500 และ 1,000 กิโลกรัม ลักษณะของตู้อบทำด้วย galvanized steel หุ้มด้วยฉนวนใยแก้วขนาด กว้าง 1.2 เมตร ยาว 2.4 เมตร และสูง 2 เมตร และขนาดกว้าง 2.4 เมตร ยาว 4.8 เมตร และสูง 4 เมตร ภายในมีตะแกรงทำด้วยเหล็ก light guage เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นแก๊สหุงต้ม อุปกรณ์ภายในตู้ประกอบด้วย หัวเผาแก๊สหุงต้มพร้อมอุปกรณ์ พัดลมแบบกรงกระรอกขนาดมอเตอร์ 1 แรงม้า ระบบควบคุมอุณหภูมิและเทอร์โมมิเตอร์แบบเข็มวัด สามารถอบลำไยได้ทั้งเปลือกและเนื้อลำไย รวมทั้งผลไม้และผักชนิดอื่นๆ ราคา 100,000-150,000 บาท เวลาที่ใช้อบลำไยทั้งเปลือก 42-48 ชั่วโมง เนื้อลำไย 12-15 ชั่วโมง

(ข) ตู้อบแบบกรมวิชาการเกษตร ตู้มีขนาดกว้าง 1.2 เมตร ยาว 2.1 เมตร และสูง 1.2 เมตร สามารถอบลำไยสดได้ครั้งละ 100-120 กิโลกรัม ประกอบด้วยโครงเหล็กสี่เหลี่ยมบุด้วยไม้อัด ฝาตู้สองชั้น มีฉนวนอยู่ตรงกลางทำด้วยชานอ้อยหรือฉนวนใยแก้ว ภายในมีตะแกรงทำด้วยอะลูมิเนียม เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นแก๊สหุงต้ม อุปกรณ์ภายในตู้ประกอบด้วย หัวพ่นแก๊สพร้อมอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ พัดลมระบายอากาศ ขนาดมอเตอร์ ¼ แรงม้า 2 ชุด สามารถอบลำไยได้ทั้งเปลือกและเนื้อลำไยอบแห้ง รวมทั้งผลไม้และผักชนิดอื่นๆ ราคาเครื่องละประมาณ 22,000 บาท เวลาที่ใช้ในการอบเนื้อลำไย 15-16 ชั่วโมง

(ค) ตู้อบแบบนายประเสริฐ ยศตัน ตู้มีขนาดกว้าง 1.2 เมตร ยาว 2.1 เมตร และสูง 1.4 เมตร สามารถอบลำไยสดได้ครั้งละ 100 กิโลกรัม ตัวตู้เป็นแผ่นเหล็กทาสีกันสนิม ภายในมีตะแกรงเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นแก๊สหุงต้ม ใช้หัวครอบครอบลงบนหัวเตาแก๊สเพื่อช่วยการกระจายความร้อน สามารถอบลำไยได้ทั้งเปลือกและเนื้อลำไยอบแห้ง รวมทั้งพืชผักอื่นๆ ราคาเครื่องประมาณ 18,500 บาท เวลาที่ใช้ในการอบเนื้อลำไย 12-16 ชั่วโมง และลำไยทั้งเปลือก 36 ชั่วโมง

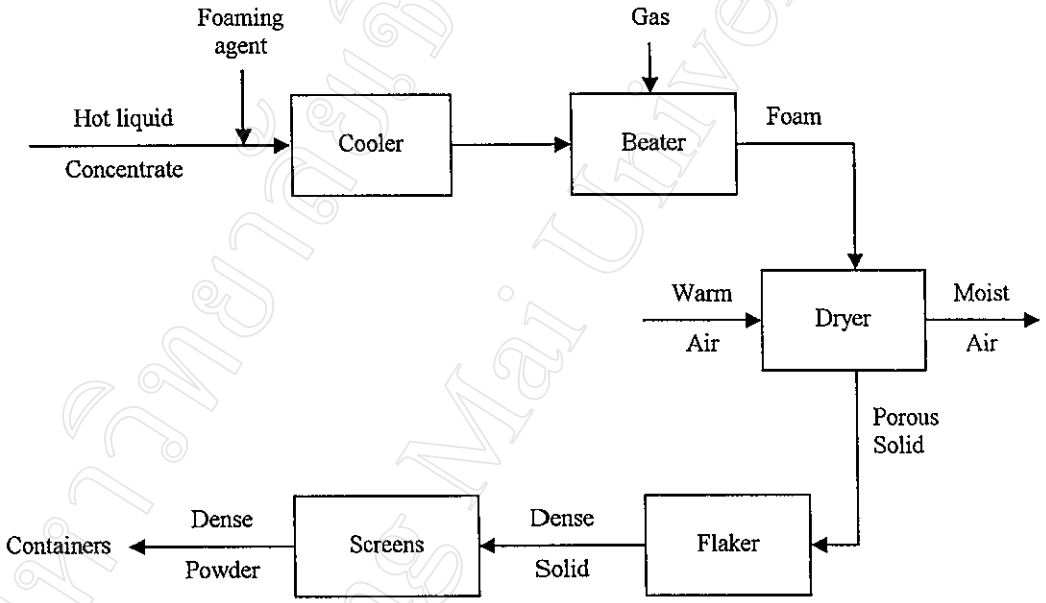
2.5 การทำแห้งแบบโฟม-แมท

กระบวนการทำแห้งแบบโฟม-แมทเริ่มพัฒนาขึ้นโดย Morgan และคณะ (1959, 1960, 1961) และ Morgan (1961) ภายหลังได้มีการพัฒนาต่อ โดย Bissett และคณะ (1963) และ Ginnette และคณะ (1963) (อ้างใน Ponting และคณะ, 1973)

กระบวนการทำแห้งแบบโฟม-แมท เริ่มจากการนำอาหารเหลวมาทำให้เข้มข้น เพื่อลดปริมาณน้ำส่วนหนึ่งและช่วยทำให้โฟมที่เกิดขึ้นมีความคงตัวยิ่งขึ้น ความเข้มข้นของอาหารควรอยู่

ในระดับใด ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารเหลว อาหารบางชนิด เช่น น้ำนม และไข่ สามารถนำมาทำให้เกิดโฟมได้ทันที เนื่องจากมีส่วนประกอบของสารที่ทำให้เกิดโฟม สำหรับอาหารบางชนิดที่ไม่สามารถตีให้เกิดโฟมหรือสามารถทำให้เกิดโฟมได้ แต่โฟมที่เกิดขึ้นไม่คงตัวและยุบตัวขณะอบแห้ง ควรเติมสารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) เพื่อวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ ทำให้เกิดโฟมและทำให้โฟมมีความแข็งแรง อาหารที่ผ่านการทำให้เกิดโฟมแล้วจะถูกนำมาแผ่กระจายลงบนถาดและอบให้แห้งโดยใช้ลมร้อน รายละเอียดดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 แผนภูมิกระบวนการทำแห้งแบบโฟม-แมท (Brown และคณะ, 1973)



สารที่ก่อให้เกิดโฟม หมายถึง สารที่มี surface active ต่ำ ใช้สำหรับเติมลงไปในอาหารเหลวเพื่อช่วยให้เกิดโฟมเมื่อนำไปตีในเครื่องตี สารที่ก่อให้เกิดโฟมที่เลือกใช้สำหรับอาหารควรมีคุณสมบัติดังนี้ (Ponting และคณะ, 1973)

1. ต้องไม่มีรสชาติและไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร
2. สามารถทำให้เกิดโฟมได้ดีเมื่อใช้ในปริมาณต่ำและปลอดภัยสำหรับการบริโภค

สารเพิ่มความคงตัวของโฟม (foam stabilizers) ใช้สำหรับเติมในอาหารเหลวที่มีของแข็งที่ไม่ละลายอยู่ปริมาณน้อยหรือมีความหนืดต่ำ เพื่อทำให้อาหารมีความหนืดเพิ่มขึ้น และตีให้เป็นโฟมที่ไม่ยุบตัวได้ง่าย

2.5.1 สารเพิ่มความคงตัวของโฟม (foam stabilizers) ที่ใช้ในการอบแห้งแบบโฟม-แมท

Hart และคณะ (1963) ได้รายงานถึงชนิดของสารเพิ่มความคงตัวของโฟมและวิธีการเตรียมสารก่อนนำมาใช้ (ดังตารางที่ 2.4) ว่า ในช่วงแรกที่มีการพัฒนากระบวนการอบแห้งแบบโฟม-แมท สารเพิ่มความคงตัวของโฟมที่นิยมใช้มากที่สุด คือ glyceryl monostearate (GMS) ซึ่งเป็นสารที่ไม่ละลายในน้ำ มีวิธีการเตรียมสารก่อนนำมาใช้โดยการเติม GMS ลงในน้ำ ให้มีความเข้มข้น 5-10% โดยน้ำหนัก คนและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 140-155 องศาฟาเรนไฮต์ หรือใช้เครื่องผสมทำให้ GMS กระจายตัวในน้ำ ที่อุณหภูมิ 170 องศาฟาเรนไฮต์ แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 130 องศาฟาเรนไฮต์ ในการใช้งาน มีการใช้ GMS เป็นสารเพิ่มความคงตัวของโฟมในอาหารเหลวหลายชนิด ได้แก่ แอปปริคอท กล้วยแช่แข็ง กล้วยกระป๋อง น้ำเลมอนเข้มข้น กากน้ำตาล ถั่ว ลูกสาลี่ มันฝรั่ง ลูกพรุน สตรอเบอรีผสมน้ำตาล น้ำตาลซูโครสผสมเจลาติน และน้ำมะเขือเทศเข้มข้น

ตารางที่ 2.4 สารเพิ่มความคงตัวของโฟมและวิธีการเตรียมสาร (Hart และคณะ, 1963)

Stabilizer	Trade name	Manufacturer	FDA approved *	Method of dispersion
Glyceryl monostearate	Myverol 1800	DPI	Yes	Use 5-10% by wt. in water. Mix and store at 140-155°F or disperse in Watering blender at 170°F and store at 130°F
Solubilized soya protein	D-100-WA	Gunther Products Inc.	Yes	Use 20% aq. solution at 70°F
Sucrose monopalmitate	-	Ledoga	No	Use 1-5% by wt. in water. Mix at 160-180°F. Store 1% solution at 70°F or higher. Store 5% solution at 130°F or higher.
Sucrose monolaurate	-	Ledoga	No	Use 1-5% by wt. in water. Mix at 160-180°F. Store at 70°F
Egg albumin	-	-	Yes	Use 10% aq. solution at 70°F.
Sorbitan monostearate	Span 60	Atlas	Partially	Use 9.2% Span 60 plus 0.8% Tween 60 to weight in water. Mix and store at 70-140°F
Polyoxyethylene sorbitan monostearate	Tween 60	Atlas	Partially	See previous instructions.
Methylcellulose	Methocel 10CPS, MC	Dow	Yes	Use cold aq. solutions.
Guar gum	Jaguar 307	Stein-Hall	Yes	Use cold aq. solutions.
Tapioca starch	Cell U	Chicago Sietetic Supply	yes	Use cold aq. solutions.

* Individual manufacturers should consult the Food and Drug Adminstration, Washington 25, D.C., and drug officials of the individual states involved to determine if the use of any prepared additive is permissible, and if so, what limitations are placed on its use.

ตารางที่ 2.5 การใช้งานสารเพิ่มความคงตัวของโฟม (Hart และคณะ, 1963)

Commodity	Soluble solids (%)	Additive *	Additive (% dsb)	Foaming temp (°F)	Foam density (g/ml)	Foaming time (min)
Apricot	32	A	1.1	32	0.43	10
Apple juice	47.2	C & D	0.10, 0.02	100	0.15	10
Applesauce	20	E	1.5	70	0.25	10
Frozen banana	21	A	1.0	40	0.40	20
Canned banana	18	A & L	1.0, 10.0	70	0.40	20
Beef extract	54	J	-	70	0.32	8
Coffee extract	47	C	1.0	70	0.20	10
Coffee extract	30	K, G & A	1.0, 1.0, 1.0	70	0.30	15
Flour, all purpose	35	H	1.0	70	0.25	20
Grape juice concentrate	46	B & I	1.0, 0.2	70	0.25	4
Grapefruit juice	39	B & I	2.0, 0.45	70	0.17	11
Lemon juice concentrate	60	A	1.0	70	0.25	5
Milk, whole	42	J	-	70	0.35	10
Molasses	85	A	0.3	70	0.50	3
Orange juice	50	B & I	0.8, 0.2	40	0.30	20
Pea	18	A	5.5	70	0.40	15
Pear	13	A	7.7	70	0.21	5
Pineapple juice	46	B	1.0	70	0.28	2
Potato, white	19	A	1.6	70	0.52	3
Squash	12	F & G	2.6, 0.2	70	0.55	35
Prune	35	A	0.5	70	0.40	9
Prune whip	34.5	E	2.3	70	0.36	5
Soya bean milk	24.4	B & H	4.0, 0.5	32	0.23	10
Strawberry + 1/3 xsugar	40	A	1.5	70	0.28	10
Sucrose	70	B	1.0	70	0.31	5
Sucrose + 10% gelatin	33	A	1.0	100	0.14	5
Sucrose + 6% pectin	53	B	1.0	70	0.29	5
Tea	45	C	1.0	70	0.25	5
Tomato paste	30	A	1.0	70	0.40	4

* Additives:

A. Glyceryl monostearate.
B. Solubilized 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. No additive.
K. Guar gum.
L. Tapioca starch.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

สารเพิ่มความคงตัวของโฟมที่นิยมใช้รองลงมาคือ solubilized soya protein ซึ่งเป็นสารที่ละลายได้ในน้ำ วิธีการเตรียมก่อนนำมาใช้ คือ ละลาย solubilized soya protein ในน้ำ ให้มีความเข้มข้น 20%โดยน้ำหนัก มีรายงานการใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของโฟมในน้ำอุ่นเข้มข้น น้ำเกรพฟรุต น้ำส้ม น้ำสับปะรด นมถั่วเหลือง น้ำตาลซูโครส และน้ำตาลซูโครสผสมเพกติน เป็นต้น

นอกจากนั้น Hart และคณะ (1963) ยังได้รายงานถึงการใช้ sucrose monopalmitate, sucrose monolaurate, egg albumin, sorbitan monostearate, polyoxyethelene sorbitan monostearate, methyl cellulose, guar gum และ แป้งมันสำปะหลัง เป็นสารเพิ่มความคงตัวของโฟมในกระบวนการผลิตอาหารผงหลายชนิด ดังตารางที่ 2.5 Berry และคณะ (1965a)ได้รายงานถึงวิธีการเตรียมสารเพิ่มความคงตัวของโฟม 3 ชนิด คือ modified soya albumin (D-100) ซึ่งถูกเตรียมโดยการละลายในน้ำให้มีความเข้มข้น 16.7% โดยน้ำหนัก แล้วเก็บไว้ในตู้เย็น methyl cellulose (10 cps) ถูกเตรียมโดยการทำให้กระจายตัวในน้ำร้อนในปริมาณน้อยๆ แล้วจึงเติมน้ำเย็นให้ได้ปริมาตรที่ต้องการ โดยปรับให้ความเข้ม 4.8% โดยน้ำหนัก และ glyceryl monostearate (GMS) เตรียมโดยการต้มน้ำจนมีอุณหภูมิ 155 องศาฟาเรนไฮต์ ค่อยๆ เติม GMS ลงไปให้มีความเข้มข้น 20% โดยน้ำหนัก พร้อมกับคนให้กระจายตัว นำสารแขวนลอยที่ได้ไปตีด้วยเครื่องผสมในตู้อบขนาดใหญ่ที่อุณหภูมิ 158 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 3 นาที จะได้สารแขวนลอยคล้ายครีมสีขาว เก็บไว้ในภาชนะแล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง โดยต้องมีการเตรียมสารใหม่เพื่อใช้งานทุกๆ 24 ชั่วโมง และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

2.5.2 กระบวนการทำให้เกิดโฟม

การทำให้เกิดโฟมเป็นขั้นตอนแรกของการทำแห้งแบบโฟม-แมท เป็นระบบของสารแขวนลอยอย่างสมบูรณ์ของโฟมแก๊สในของเหลว ซึ่งแตกต่างจากโฟมของน้ำสบู่ซึ่งมีลักษณะเบากว่ามาก ลักษณะโฟมที่พึงประสงค์ในการอบแห้งแบบโฟม-แมทจะต้องมีความคงตัวดีในระหว่างการอบแห้ง เพื่อให้โฟมยังคงมีลักษณะเป็นโฟมและแตกหักออกเป็นผงได้ง่าย อย่างไรก็ตามโฟมที่คงตัวในบรรยากาศปกติบางครั้งก็ไม่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง (Hart และคณะ, 1963)

การก่อให้เกิดโฟมอย่างต่อเนื่องเกิดขึ้นได้โดยการเติมสารที่ทำให้คงตัว การเติมอากาศด้วยสัดส่วนที่ถูกต้อง การผสมของผสม 2 สถานะด้วยแรงเฉือนที่สูง และการทำให้โฟมเย็นลงเพื่อลดความร้อนที่เกิดจากการผสม ความหนาแน่นที่ถูกต้องของโฟม คือ ความหนาแน่นที่สูงที่สุดที่ทำให้เกิดโฟมที่คงตัว โดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 0.4–0.6 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยโฟมอากาศทรงกลม เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 0.1 มิลลิเมตร กระจายตัวอยู่ในของเหลว โฟมที่เบาซึ่งประกอบด้วยช่องว่างของแก๊สที่ใหญ่กว่าโดยมีผนังของเหลวที่เกือบจะแบนราบกั้นอยู่นั้นไม่เหมาะสม การเติมอากาศเข้าไปในโฟมทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีเท่ากับการใช้แก๊สเฉื่อย (Hart และคณะ, 1963)

Bates (1964) ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการผลิตโฟมและความคงตัวของโฟมของน้ำผลไม้เมืองร้อนพบว่า ปัจจัยที่มีผลอย่างมากต่อการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟม คือ

- ธรรมชาติทางเคมีของผลไม้
- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้
- อัตราส่วนของเนื้อผลไม้
- ชนิดของสารที่ก่อให้เกิดโฟม
- ชนิดและความเข้มข้นของสารที่ทำให้โฟมคงตัว

ส่วนปัจจัยที่มีความสำคัญน้อย คือ

- ความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโฟม
- เวลาในการผสม
- อุณหภูมิในการผสม

Ponting และคณะ (1973) รายงานว่า การเตรียมโฟมจะเตรียมในเครื่องผสมแบบต่อเนื่องและเติมสารที่ทำให้โฟมคงตัว ความเข้มข้นประมาณ 1% โดยน้ำหนักแห้งลงไป การตีโฟมเป็นการเติมอากาศเข้าไปในอาหารเหลวซึ่งจะทำให้อาหารไม่เกาะตัวกันเป็นก้อน นำโฟมไปอบในเตาอบแห้งแบบสายพานต่อเนื่องในรูปแผ่นบางๆ โครงสร้างของโฟมและการจัดเรียงตัวของโฟมบนถาดที่เหมาะสมจะทำให้การอบแห้งเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว หรืออบแห้งในเตาอบแบบถาดต่อเนื่อง โฟมที่อบแห้งแล้วจะมีโครงสร้างเป็นรูพรุนอย่างมาก สามารถบดโฟมแห้งให้เป็นผงซึ่งสามารถละลายน้ำได้ทันทีในน้ำเย็น ซึ่งจะรักษาคุณภาพของอาหารไว้ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอาหารที่ไวต่อการเสื่อมคุณภาพด้วยความร้อน นอกจากอาหารที่เป็นของเหลวแล้ว อาหารที่แห้งอยู่แล้วยังสามารถนำมาละลายหรือทำให้เป็นสารแขวนลอยแล้วนำไปอบแห้งแบบโฟม-แมท เพื่อให้ได้ของแข็งที่มีความหนาแน่นน้อยลง และมีการกระจายตัวได้ดีขึ้น

2.5.3 กรรมวิธีการทำแห้งแบบโฟม-แมท

ในการอบแห้งแบบสายพาน โฟมจะถูกเกลี่ยลงบนสายพานเหล็กปลอดสนิม หรือเทฟล่อน เป็นชั้นบางๆ หรือรีดออกมาเป็นรูปทรงกระบอก มีความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร และถูกลำเลียงผ่านเครื่องอบแห้ง เวลาและอุณหภูมิในการอบแห้งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด อัตราการอบแห้งแปรผันตามความเร็วลม ขณะที่โฟมยังเปียกอยู่ แต่ขณะที่โฟมเกือบแห้ง อัตราการอบแห้งจะแปรผันตามความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ดังนั้นการอบแห้งจึงประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกใช้ความเร็วลม 300 ฟุตต่อนาที ที่อุณหภูมิ 220 องศาฟาเรนไฮต์ ทิศทางการไหลแบบไหลตามกัน ขั้นที่ 2 ใช้ความเร็วลม 50 ฟุตต่อนาที ที่อุณหภูมิ 135 องศาฟาเรนไฮต์ ทิศทางการไหลแบบไหลสวนทางกันกับผลิตภัณฑ์ สำหรับน้ำผลไม้เข้มข้นส่วนมากใช้เวลาประมาณ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 160 องศาฟาเรนไฮต์ (71.1 องศาเซลเซียส) เพื่อจะทำให้มีความชื้นเหลืออยู่ 2% เมื่อโฟมมีความหนา 1/8 นิ้ว พบว่าความเร็วลมและความชื้นไม่มีผลกระทบต่อเวลาที่ใช้ในการอบ ดังนั้นข้อจำกัดสำหรับกระบวนการอบแห้งคือ การถ่ายเทน้ำภายในผลิตภัณฑ์ออกมาที่ผิวหน้าซึ่งเป็นน้ำที่จะระเหยออกไป

อุณหภูมิการอบแห้งอาจถูกแบ่งออกเป็นช่วงๆ เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการแห้งของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด เช่น มะเขือเทศเข้มข้น 30 องศาบริกซ์ ที่ใช้โมโนกลีเซอไรด์ 0.7% โดยน้ำหนักแห้ง เป็นสารทำให้โฟมคงตัว ทำการตีให้เป็นโฟมจนมีความหนาแน่นประมาณ 0.5 กรัมต่อมิลลิลิตร นำมาหยอดให้มีความหนา 1/8 นิ้ว แล้วนำไปอบในเครื่องอบแห้ง โดย 9.6 นาทีแรก อบที่อุณหภูมิ 180 องศาฟาเรนไฮต์ (82.2 องศาเซลเซียส) และ 2.4 นาทีสุดท้าย อบที่อุณหภูมิ 120 องศาฟาเรนไฮต์ (48.8 องศาเซลเซียส) เวลาที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมดประมาณ 12 นาที ปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 2.5% ใช้เครื่องอบแห้งแบบสายพานเหล็กปลอดสนิม ที่ได้รับความร้อนจากไอน้ำอุณหภูมิ 212 องศาฟาเรนไฮต์ (100 องศาเซลเซียส) ซึ่งกลั่นตัวอยู่ที่ผิวด้านล่างใต้สายพานในขณะที่สายพานเคลื่อนที่ (Ponting และคณะ, 1973)

สำหรับระบบการอบแห้งโฟมน้ำมะเขือเทศแบบสายพาน อาจใช้ความหนาของโฟม 1/32 นิ้ว นำมาอบแห้งโดยใช้ลมร้อน อุณหภูมิ 180 องศาฟาเรนไฮต์ (82.2 องศาเซลเซียส) และใช้ไอน้ำให้ความร้อนด้านล่างสายพาน การอบแห้งสามารถใช้เวลาสั้นเพียง 1–2 นาที

Ginnette และคณะ (1963) ได้ศึกษาการอบแห้งวิธีโฟม-แมท แบบ Cratering ซึ่งเป็นการอบแห้งอีกระบบหนึ่งนอกเหนือจากระบบสายพาน วิธีนี้โฟมจะถูกทำให้มีความหนา 1/16–1/8 นิ้ว บนถาดโลหะที่มีรูพรุน จากนั้นโฟมจะถูกทำให้แห้งโดยลมที่เป่าผ่านรูพรุนของถาดขึ้นมา โดยโฟมยังคงสภาพเดิม

Ponting และคณะ (1973) รายงานวิธีการอบแห้งแบบ Cratering ว่ามีการให้ความร้อน 3 จุด ดังนี้

จุดที่ 1 : อากาศถูกป้อนจากด้านล่างของเตา ไหลขึ้นด้านบน ที่ความเร็วลมประมาณ 350–400 ฟุตต่อนาที (1.78–2.03 เมตรต่อวินาที) โดยมีทิศทางตามการเคลื่อนที่ของถาด

จุดที่ 2 : อากาศถูกป้อนเข้าระหว่างทางที่ถาดเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนของเตา

จุดที่ 3 : อากาศถูกป้อนเข้าที่ด้านบนของเตา

จุดที่ 2 และ 3 จะไหลสวนทางกับการเคลื่อนที่ของถาดโดยอากาศ 2 กระแสนี้ จะไหลรวมกันไปออกทางช่องทางออกร่วมกัน อากาศทั้ง 3 กระแสจะไหลมารวมกัน และขับออกที่จุดซึ่งอยู่ระหว่างทางเข้าของอากาศจุดที่ 1 และ 2

ความเร็วลมของอากาศที่จุดที่ 3 ประมาณ 60 ฟุตต่อนาที

ความเร็วลมของอากาศที่จุดที่ 2 และ 3 รวมกันประมาณ 90 ฟุตต่อนาที โดยความเร็วลมที่ทางออกไม่คงที่

การจัดเรียงแบบนี้ทำให้น้ำระเหยออกได้อย่างรวดเร็วในช่วงแรกด้วยกระแสลมที่มีความเร็วและความร้อนสูง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้สูญเสียน้ำ (ความชื้น) 80% ภายใน 3 นาที โดยประมาณ และ 4–5 นาทีต่อมาผลิตภัณฑ์จะอยู่ในกระแสลมที่ไหลสวนทางกับการเคลื่อนที่ของถาดด้วยความเร็วลมปานกลางและอุณหภูมิปานกลาง ซึ่งเป็นจุดที่มีการสูญเสียความชื้นที่เหลือส่วนใหญ่ ในระหว่าง 4–5 นาทีสุดท้ายในเตาอบ ผลิตภัณฑ์จะอยู่ในกระแสลมที่เย็นและช้าลง ซึ่งน้ำที่ถูกยึดไว้แน่นที่สุดสามารถจะถูกดึงออกและความแตกต่างของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์สามารถเข้าสู่สมดุล การจัดเรียงให้มีการไหลสวนทางกันในจุดที่ 3 จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์แห้งมากที่สุด

อุณหภูมิของอากาศทั้ง 3 จุดขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่อบแห้ง โดยทั่วไปมีค่าดังนี้

อากาศจุดที่ 1 เข้าที่อุณหภูมิ 220 องศาฟาเรนไฮต์ (104.4 องศาเซลเซียส)
ออกที่อุณหภูมิ 160 องศาฟาเรนไฮต์ (71.1 องศาเซลเซียส)

อากาศจุดที่ 2 และ 3 รวมกัน เข้าที่อุณหภูมิ 170 องศาฟาเรนไฮต์ (76.6 องศาเซลเซียส)

อากาศจุดที่ 3 เข้าที่อุณหภูมิ 140 องศาฟาเรนไฮต์ (60.0 องศาเซลเซียส)

กระแสอากาศในจุดที่ 2 และ 3 ไม่ได้ถูกทำให้เย็นลงมาก เนื่องจากมีการระเหยของน้ำออกจากอาหาร เวลาในการอบแห้งทั้งหมดน้อยกว่า 15 นาที

2.5.4 วิธีการเก็บรักษาน้ำผลไม้ผงที่ผ่านการทำแห้งแบบโฟม-แมท

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งจะต้องมีความชื้นต่ำเพียงพอ เพื่อให้สามารถรักษาผลิตภัณฑ์นั้นไว้ได้นาน (น้ำส้มผงต้องการให้มีความชื้นเหลืออยู่ประมาณ 1% , มะเขือเทศผงต้องการให้มีความชื้นเหลืออยู่ 2%) การอบแห้งเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำระดับนี้ จะต้องอบแห้งโดยใช้กระแสลมร้อนที่ไหลแบบสวนทางกับผลิตภัณฑ์ มีการเตรียมโฟมที่ดี และบรรจุในห้องที่มีความชื้นต่ำ เมื่อผลิตภัณฑ์เย็นลงถึงอุณหภูมิ 100 องศาฟาเรนไฮต์ (37.8 องศาเซลเซียส) จะต้องเก็บไว้ในห้องที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 15%

ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งแล้วมีน้ำหนักเบามาก มีช่องว่างของแก๊สแทรกอยู่ในโครงสร้าง ทำให้มีความหนาแน่นต่ำ ปกติจะมีความหนาแน่น 0.3 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อนำมาละลายจะปล่อยแก๊สออก ทำให้เกิดโฟมขึ้นในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ต้องการ ดังนั้นจึงมีการนำไปกดอัดเป็นแถบบางๆ ด้วยลูกกลิ้งที่อุ่นเพียงพอ เพื่อทำให้เกิดการไหลแบบพลาสติก แถบบางดังกล่าวมีลักษณะเปราะแตกง่าย เมื่อถูกคนจะแตกเป็นเกล็ด อุณหภูมิของลูกกลิ้งที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ และปริมาณความชื้น การใช้ลูกกลิ้งที่มีอุณหภูมิ 150 องศาฟาเรนไฮต์ (65.5 องศาเซลเซียส) และ 200 องศาเซลเซียส (93.3 องศาเซลเซียส) จะไม่มีผลต่อกลิ่นรสและการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ในกรณีที่แถบอาหารติดแน่นกับลูกกลิ้งสามารถป้องกันได้โดยทาด้วย acetylated monoglyceride บางๆ ลงบนผิวหน้าลูกกลิ้งเพื่อช่วยให้แกะแถบอาหารออกได้ง่าย ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นประมาณ 0.8 กรัมต่อมิลลิลิตร มีสีที่ดี ละลายหรือซึมซับน้ำได้ทันที และไม่มีโฟม ข้อจำกัดของการอัดแน่นคือ ต้องคำนึงว่าแม้การอัดแน่นจะทำให้ต้นทุนภาชนะบรรจุลดลง แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้อัตราการดูดซับน้ำลดลง ดังนั้นการอัดแน่นนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องดำเนินการ เพราะผลิตภัณฑ์ที่เป็นโฟมหรือเป็นผงจะลอยอยู่ที่ผิวหน้าเมื่อชงละลายในน้ำ ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Morgan และคณะ, 1959 อ้างใน Brown และคณะ, 1973) ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งแล้วควรมีความหนาแน่นประมาณ 0.1 – 0.8 กรัมต่อมิลลิลิตร โดยยิ่งมีความหนาแน่นมากยิ่งดี (Morgan, 1961)

ผลิตภัณฑ์อบแห้งแบบโฟม-แมทมีวิธีการเก็บรักษาเช่นเดียวกับการอบแห้งแบบอื่นๆ นั่นคือน้ำผลไม้ผงจะต้องถูกป้องกันความชื้น โดยเฉพาะเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงกว่า 85 องศาฟาเรนไฮต์ (29.4 องศาเซลเซียส)

2.5.5 วิธีการทำน้ำผลไม้ผงแบบโฟม-แมท

Bissett และคณะ (1963) และ Graham และคณะ (1965) ได้ศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง น้ำส้มผงโดยวิธีโฟม-แมท พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง คือ ที่อุณหภูมิ 160 และ 180 องศาฟาเรนไฮต์ (71.1 และ 82.2 องศาเซลเซียส) โดยยังคงรักษากลิ่นไว้ได้ดี และเวลาที่ใช้อบต่างกันจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณความชื้นเหลืออยู่แตกต่างกันด้วย คือ เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 160 องศาฟาเรนไฮต์ (71.1 องศาเซลเซียส) ใช้เวลา 11.2 และ 26.2 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นเหลืออยู่ 4.55% และ 2.71% ตามลำดับ และเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 180 องศาฟาเรนไฮต์ (82.2 องศาเซลเซียส) ใช้เวลา 8.8 และ 13.1 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้น 4.03% และ 2.46 % ตามลำดับ

Berry และคณะ (1965b) ได้ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้ำเกรพฟรุทโดยวิธีโฟม-แมท ด้วยเตาอบแบบสายพาน ใช้เวลาอบแห้ง 8 – 26 นาที ที่อุณหภูมิ 160 องศาฟาเรนไฮต์ (71.1 องศาเซลเซียส), 170 องศาฟาเรนไฮต์ (76.6 องศาเซลเซียส), 180 องศาฟาเรนไฮต์ (82.2 องศาเซลเซียส) และ 190 องศาฟาเรนไฮต์ (87.7 องศาเซลเซียส) พบว่าควรใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 180 องศาฟาเรนไฮต์ (82.2 องศาเซลเซียส) เวลาการอบแห้งนาน 18 นาที หรือน้อยกว่านี้ จึงจะไม่มีการทำลายกลิ่นและรสชาติโดยความร้อน ถ้าใช้อุณหภูมิ 190 องศาฟาเรนไฮต์ (87.7 องศาเซลเซียส) ต้องใช้เวลาน้อยกว่า 12 นาที ความชื้นสุดท้ายประมาณ 2 –3.5 % โดยใช้โปรตีนถั่วเหลือง 0.4% โดยน้ำหนัก เป็นสารที่ก่อให้เกิดโฟม และใช้ methocel (10 cps.) 0.17% โดยน้ำหนัก เป็นสารที่ทำให้โฟมคงตัว

Berry และคณะ (1967) ศึกษาการผลิตน้ำเกรฟฟรุทผงโดยการอบแห้งแบบโฟม-แมท ทดลองใช้ methyl cellulose, modified soya albumin, glyceryl monostearate, algins, เพกติน และ cellulose derivatives เป็นสารที่ก่อให้เกิดโฟม และจำกัดปริมาณการเติมสารเหล่านี้ลงไปในน้ำเกรพฟรุทเข้ม-ข้น 40-58 องศาบริกซ์ ไม่เกิน 1% จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 170 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 2 นาที และอบต่อที่อุณหภูมิ 150-160 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 10 นาที หลังจากทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลง จะได้น้ำเกรพฟรุตผงที่มีความชื้นสุดท้าย 1.0-1.25% ซึ่งต่ำเพียงพอที่จะสามารถเก็บรักษาไว้ได้โดยไม่ต้องใช้สารดูดความชื้นในภาชนะบรรจุ

Brown และคณะ (1973) ได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอบแห้งโดยวิธีโฟม-แมท เพื่อลดภาระการทำงานของเตาอบ โดยโฟมถูกทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยเครื่องระเหยน้ำ ซึ่งทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นสามารถตีให้เป็นโฟมที่แข็งแรงและมีความคงตัวมากขึ้น แต่ถ้าทำให้เข้มข้นมากเกินไปจะทำให้โฟมมีความหนาแน่นมากเกินไป และทำให้ไม่สามารถดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้

หมดในระหว่างการอบแห้ง ความเข้มข้นของของแข็งที่ดีสำหรับมะเขือเทศ คือ 30% และสำหรับส้ม คือ 55%

Beristain และคณะ (1993) ได้ทดลองทำน้ำดอกจาไมกาผงโดยวิธีโฟม-แมท ด้วยการเติม emulsifier (0.1 – 0.4 % โดยน้ำหนัก) และ maltodextrins (5 % โดยน้ำหนัก) ลงไปในสารสกัดเข้มข้นของกลีบชั้นนอกของดอกจาไมกา เพื่อก่อให้เกิดโฟม การอบแห้งโฟมทำในเตาอบแบบพาความร้อน ทดลองอบที่อุณหภูมิ 50, 60, 70 องศาเซลเซียส ในแต่ละอุณหภูมิ ความหนาของโฟมที่ใช้ คือ 2, 4, และ 6 มิลลิเมตร ผลการศึกษาอุณหภูมิและความหนาของตัวอย่างต่ออัตราการอบแห้ง พบว่าเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง คือ 70 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยมีความหนาของโฟม 4 มิลลิเมตร ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสุดท้าย 3% (น้ำหนักเปียก) ผงของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะปรากฏที่ดีและมีการละลายได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอย

Karim และ Wai (1999) ได้ศึกษาการอบแห้งน้ำมะเฟืองตีป่นด้วยวิธีโฟม-แมท ในแง่ของความคงตัวของโฟมและลักษณะการอบแห้งด้วยลมร้อน มีการเติม Methocel 65 HG ลงไปในมะเฟืองตีป่นเพื่อใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของโฟม โดยศึกษาความเข้มข้นของ Metholcel 65 HG ตั้งแต่ 0.1-0.5 % โดยน้ำหนัก พบว่า ค่า overrun และความคงตัวของโฟมเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ Methocel 65 HG และมีค่าสูงสุดเมื่อ Methocel 65 HG มีความเข้มข้น 0.4% โดยน้ำหนัก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งจาก 70 เป็น 90 องศาเซลเซียส เวลาในการอบแห้งสามารถลดลงได้มากถึง 30 นาที แต่พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส สีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป

วัชรีและรัตนา (2543) ได้ศึกษาเพื่อหาสารก่อให้เกิดโฟมที่เหมาะสมและสูตรน้ำลำไยที่เหมาะสมในการผลิตน้ำลำไยผงโดยวิธีโฟม-แมท พบว่าส่วนผสมน้ำลำไยเข้มข้นที่เหมาะสมประกอบด้วย เนื้อลำไยสด 50% เนื้อลำไยแห้ง 20% และน้ำตาลทราย 30% โดยน้ำหนัก สารที่ก่อให้เกิดโฟมที่เหมาะสมคือ Methocel 65 HG 0.5% โดยน้ำหนัก ตีให้เกิดโฟมด้วยความเร็วสูงเป็นเวลา 15 นาที ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที

2.5.6 การศึกษาความหนาแน่นของโฟม (foam density)

LaBelle (1966) ได้ศึกษาความหนาแน่นของโฟม โดยการบรรจุโฟมลงในจานชั่งน้ำหนักที่ทำจากอะลูมิเนียมขนาด 40 มิลลิลิตร ด้วยกระบอกฉีดยา หรือ spatula โดยระวังไม่ให้โฟมแตกเสียหาย แล้วชั่งน้ำหนัก อีกวิธีหนึ่งคือ ใช้ปิเปต 10 มิลลิลิตร ซึ่งขยายปลายเปิดให้กว้าง 1.5 มิลลิเมตรดูดโฟมแล้วชั่งน้ำหนัก

วิธีการศึกษาความหนาแน่นโดย Karim และ Wai (1999) ได้พัฒนาจากวิธีของ Labelle (1966) โดยการชั่งน้ำหนักของผสม 100 มิลลิลิตรที่บรรจุในกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร และชั่งน้ำหนักโฟม 200 มิลลิลิตรที่บรรจุในกระบอกตวงขนาด 250 มิลลิลิตร

ค่า overrun สามารถคำนวณได้จากสูตร (Kirk และ Sawyer, 1991)

$$Overrun = \frac{Volume\ of\ foam - Volume\ of\ mixture}{Volume\ of\ mixture} \times 100$$

2.5.7 การศึกษาความคงตัวของโฟม (foam stability)

Sauter และ Montoure (1972) วัดความคงตัวของโฟมไข่ขาวโดยการใส่โฟมลงในกรวยกรองที่ทราบปริมาตร ปิดฝาเพื่อป้องกันการระเหย และวางกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตรรองรับของเหลวที่แยกตัวออกมาในช่วงเวลา 60 นาที โดยบันทึกปริมาตรของเหลวที่แยกออกมาทุกๆ 15 นาที

Karim และ Wai (1999) ได้ศึกษาความคงตัวของโฟมน้ำมะเฟืองตีป่น โดยพัฒนาจากวิธี Drainage ของ Suater และ Montoure (1972) โดยการใส่โฟมลงในกรวยกรองที่มีตะแกรงพลาสติกขนาด 100 เมช (mesh) ที่ทำให้มีรูปทรงกรวยบุอยู่ภายใน และวางอยู่บนกระบอกตวงขนาด 250 มิลลิลิตร อบชุดอุปกรณ์ทั้งหมดนี้ในเตาอบขนาดเล็กที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศ 0.12 เมตรต่อวินาที และบันทึกปริมาตรของเหลวที่แยกตัวออกมาจากโฟมเมื่อเวลาผ่านไป