บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กาแฟ

กาแฟเป็นพืชไม้พุ่มแถบแอฟริกา ในสกุล *Coffea* วงศ์ *Rubiaceae* ผลของกาแฟจะมีขนาดเล็กมีสีแดงเหมือนเชอร์รี่ (coffee cherries) เม็ดแก่คั่วแล้วบดใช้เป็นเครื่องดื่ม หากสำรวจทั่วทุกมุมโลกที่มีการปลูกกาแฟนับรวมได้ว่า ขณะนี้มีกาแฟอยู่ประมาณ 500 สายพันธุ์ และยังสามารถแบ่งย่อยได้อีกว่า 6,000 ชนิด แต่หากจัดเป็นกลุ่มใหญ่อาจแบ่งได้ 2 กลุ่มคือ

1. พันธุ์อาราบิก้า กาแฟพันธุ์อาราบิก้าเป็นที่นิยมปลูกมากที่สุด ประมาณร้อยละ 70 ของทั้งหมด เป็นพันธุ์ที่ดีที่สุด ปลูกและดูแลยาก

2. พันธุ์โรบัสต้า เป็นกาแฟพันธุ์ไม่ค่อยดีนัก มักนิยมเอามาทำกาแฟสำเร็จรูป หรือนำไปผสมกับพันธุ์อื่นๆ (จิตระพี และวลัยลักษณ์, 2545)

ประเทศที่มีชื่อเสียงทางด้านการผลิตกาแฟมากที่สุดคือ ประเทศบราซิล ผลิตกาแฟได้ร้อยละ 72 ของผลผลิตกาแฟทั่วโลก ซึ่งถือว่าผลิตได้มากที่สุด ส่วนประเทศที่ซื้อกาแฟมากที่สุดคือ สหรัฐอเมริกา และยุโรป ประมาณร้อยละ 85 ของผลผลิตที่ได้ทั่วโลก (สมศักดิ์, 2545) ในประเทศไทยมีการนำเข้ามาปลูกในภาคใต้ประมาณ 50 ปีมาแล้ว โดยในระยะแรกๆ มีการทดลองปลูก 2 พันธุ์ คือพันธุ์อาราบิก้า และพันธุ์โรบัสต้า แต่พบว่าขณะนี้พันธุ์โรบัสต้าเป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกกันมากที่สุด แหล่งกาแฟที่สำคัญของภาคใต้คือ จังหวัดชุมพร รองลงมาได้แก่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ระนอง และกระบี่ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรคาดว่าในปีการผลิต 2545-2546 จะมีพื้นที่เพาะปลูกกาแฟประมาณ 414,780 ไร่ และผลผลิตประมาณ 54,403 ตัน ส่วนปริมาณการส่งออกกาแฟผงสำเร็จรูปในปี 2546 จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 90.29 (กระทรวงพานิชย์, 2546)

นอกจากการนับตามพันธุ์กาแฟดั้งเดิมแล้ว อาจแบ่งตามประเภทของผลิตภัณฑ์กาแฟสำเร็จรูปในตลาดปัจจุบันที่เห็นกันอยู่ทั่วไป มีดังนี้

1. กาแฟสำเร็จรูปชนิดที่ผลิตจากเมล็ดกาแฟ โดยไม่มีการปรุงแต่งด้วยสารอื่นๆ แต่ผลิตภัณฑ์อาจมีความแตกต่างเนื่องจากส่วนผสมของเมล็ดกาแฟที่ใช้ เช่น การผสมกาแฟพันธุ์อาราบิก้ากับโรบัสต้าในสัดส่วนต่างๆ กัน หรือคั่วกาแฟให้มีความเข้มของเมล็ดต่างกัน เช่น การคั่วระดับเข้ม (dark roast) การคั่วระดับปานกลาง (medium roast) และการคั่วระดับอ่อน (light roast)

2. กาแฟสำเร็จรูปชนิดที่ผลิตจากเมล็ดกาแฟ และมีการปรุงแต่งด้วยสารอื่น เพื่อให้ได้

รสชาติตามความต้องการของผู้บริโภค เช่น การผสมด้วยน้ำตาลเคี่ยวข้น (caramel) เพื่อปรุงแต่งกลิ่น และสีของกาแฟให้น่าดื่มยิ่งขึ้น

3. กาแฟสำเร็จรูปชนิดผสมครีมเทียม และน้ำตาล หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า กาแฟทรีอินวัน (three-in-one) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์กาแฟผงสำเร็จรูปที่ได้มีการผสมน้ำตาล และครีมเทียมไว้เรียบร้อยแล้ว เป็นการอำนวยความสะดวกแก่ผู้บริโภคยิ่งขึ้น โดยมีทั้งชนิดผงและชนิดเหลว

4. กาแฟสำเร็จรูปชนิดสกัดคาเฟอีน (decaffeinated) ผลิตจากเมล็ดกาแฟที่สกัดสารคาเฟอีนออกไปแล้ว นำมาผ่านกระบวนการทำเป็นกาแฟสำเร็จรูป กาแฟประเภทนี้เหมาะสำหรับผู้ที่ไม่ต้องการหรือไม่สามารถดื่มเครื่องดื่มที่มีสารคาเฟอีนได้ (ปัญญารัฐ, 2545)

สำหรับกาแฟสำเร็จรูป เริ่มมีการรู้จักเมื่อประมาณ 100-120 ปีก่อน และเริ่มมีการผลิตเป็นการค้าเมื่อ พ.ศ. 2540 ซึ่งกาแฟปรุงสำเร็จชนิดเหลว ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่197 เรื่อง กาแฟ ประกาศ ณ วันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2543 ได้ให้ความหมายไว้ว่า กาแฟปรุงสำเร็จชนิดเหลว หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากผลที่แก่จัดของต้นกาแฟในสกุลคอฟเฟีย (*coffea*) ผ่านกรรมวิธีเอาเมล็ดออก นำเมล็ดมาคั่วจนได้ที่ และอาจบดให้ได้ขนาดตามความต้องการ โดยที่มีสิ่งอื่นที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย โดยต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

1. มีกลิ่นและรสตามลักษณะเฉพาะของกาแฟนั้น

2. มีคาเฟอีนไม่เกิน 100 มิลลิกรัม ต่อกาแฟปรุงสำเร็จชนิดเหลว 100 มิลลิลิตร และคาเฟอีนดังกล่าวต้องมาจากกาแฟที่ใช้เป็นวัตถุดิบเท่านั้น

3. ตรวจพบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์ม น้อยกว่า 2.2 ต่อกาแฟ 100 มิลลิลิตร โดยวิธี เอ็ม พี เอ็น (most probable number, MPN)

4. ตรวจไม่พบแบคทีเรียชนิด อี.โคไล (*Escherichia coli)*

5. ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

6. ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์หรือสารเป็นพิษอื่นในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

7. ไม่มียีสต์และเชื้อรา

8. ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ตามมาตรฐานเอฟ เอ โอ/ดับบลิว เอช โอ, โคเด็กซ์ (Joint FAO/WHO, Codex) ที่ว่าด้วยเรื่องวัตถุเจือปนอาหาร และฉบับที่ได้แก้ไขเพิ่มเติมในกรณีที่ไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้ตามวรรคหนึ่ง ให้สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาประกาศกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการอาหารและยา

9. มีวัตถุกันเสียได้ ดังต่อไปนี้

9.1 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่เกิน 70 มิลลิกรัม ต่อกาแฟปรุงสำเร็จ 1 กิโลกรัม

9.2 กรดเบนโซอิค หรือกรดซอร์บิค หรือเกลือของกรดทั้งสองนี้ โดยคำนวณเป็นตัวกรดได้ไม่เกิน 200 มิลลิกรัม ต่อกาแฟปรุงสำเร็จ 1 กิโลกรัม

การใช้วัตถุกันเสียให้ใช้ได้เพียงชนิดใดชนิดหนึ่งตามปริมาณที่กำหนดใน 9.1 หรือ 9.2 ถ้าใช้เกินหนึ่งชนิด ต้องมีปริมาณรวมกันไม่เกินปริมาณของวัตถุกันเสียชนิดที่กำหนดให้ใช้น้อยที่สุด เมื่อจำเป็นต้องใช้วัตถุกันเสียแตกต่างไปจากที่กำหนดไว้ดังกล่าวข้างต้น ต้องได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการอาหารและยา

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (1169-2536) ได้กำหนดความหมายของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกาแฟไว้ดังนี้ คือ

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกาแฟ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของเหลว ได้จากน้ำที่สกัดจากกาแฟคั่วบด หรือน้ำที่ได้จากกาแฟสำเร็จรูป อาจมีน้ำตาล ครีมเทียม หรือนมผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้บรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท หรือหมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผงได้จากกาแฟสำเร็จรูปผสมครีมเทียมหรือนมผง อาจมีน้ำตาลผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ บรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท ซึ่งมีข้อกำหนดด้านจุลินทรีย์ดังนี้

- จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่พบในตัวอย่าง 1 กรัม
- โคลิฟอร์ม (coliform) โดยวิธี เอ็ม พี เอ็น (most probable number, MPN) ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม
- สตาฟิโลค็อกคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus)* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 1 กรัม
- ยีสต์ และราต้องไม่พบในตัวอย่าง 1 กรัม

นอกจากนี้ในการผลิตกาแฟพร้อมดื่มในภาชนะบรรจุปิดสนิท ต้องปฏิบัติตามกฎหมายอาหารเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุปิดสนิทร่วมด้วย ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 62 (พ.ศ. 2524) แห่งพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 ซึ่งกฎหมายอาหาร ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับนี้ ได้ครอบคลุมเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิททุกประเภทเข้าไว้ด้วยกัน ดังแสดงในภาคผนวก จ โดยกำหนดให้มีคุณภาพและมาตรฐานอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค ขณะที่ในระดับอุตสาหกรรม ก็ได้มีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมประเภทเครื่องดื่มไว้หลายชนิด แยกเป็นฉบับต่างๆ เฉพาะเรื่อง ตัวอย่างเช่น น้ำผลไม้: น้ำองุ่น (มอก. 101-2517) น้ำส้ม (มอก. 99-2517) และน้ำมะม่วงปรุงในภาชนะบรรจุ (มอก. 519-2527) เป็นต้น ซึ่งเนื้อหารายละเอียดด้านคุณภาพของกฎกระทรวงสาธารณสุข และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมในเรื่องดังกล่าว ส่วนใหญ่มีความคล้ายคลึงกัน แต่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้กำหนดเกณฑ์ การชักตัวอย่าง การตรวจสอบ และการวิเคราะห์ไว้เป็นมาตรฐานอย่างชัดเจน

2.2 กระบวนการผลิตเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุปิดสนิท

2.2.1 หลักการในการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม

กระบวนการแปรรูปอาหารส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อน ความร้อนเกิดการถ่ายเทได้ 3 แบบ คือ การแผ่รังสี การนำความร้อน และการพาความร้อน การแผ่รังสีเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น การใช้เครื่องย่างไฟฟ้า การนำความร้อนเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการถ่ายเทความร้อนโดยตรงจากพลังงานของโมเลกุลภายในของแข็ง เช่น การถ่ายเทผ่านภาชนะบรรจุโลหะหรืออาหารแข็ง การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยกลุ่มโมเลกุลซึ่งเกิดการเคลื่อนที่เนื่องจากมีความหนาแน่นต่างกันหรืออุณหภูมิต่างกัน เช่น อากาศได้รับความร้อนหรือมีการกวน ของเหลวที่ถูกกวน โดยทั่วไปจะเกิดการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 แบบพร้อมกัน แต่การถ่ายเทความร้อนชนิดหนึ่งอาจสำคัญกว่าอีก 2 ชนิด ตามแต่กรณี (วิไล, 2545)

1. การถ่ายเทความร้อนแบบการนำ (conductive heat transfer)

การถ่ายเทความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานระดับโมเลกุล ซึ่งไม่มีการเคลื่อนที่ทางกายภาพของวัตถุ (physical movement) โดยทั่วไปการนำความร้อนจะเกิดขึ้นในวัตถุที่เป็นของแข็งทึบ (รุ่งนภา, 2535) อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนกำหนดโดยความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอาหารและตัวกลางในการให้ความร้อน หรือทำให้เย็นลง และความต้านทานโดยรวมของการถ่ายเทความร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อน คำนวณได้จาก

$$Q = kA(T_2 - T_1) / x$$

เมื่อ Q (J/s) = อัตราการถ่ายเทความร้อน

k (J/ms k) หรือ W/mK) = ค่าการนำความร้อน

A (m^2) = พื้นผิว

$T_2 - T_1$ (^0C) = ความแตกต่างของอุณหภูมิ

x (m) = ความหนาของวัตถุ

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการนำความร้อนมีหลายประการ เช่น ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อุณหภูมิและความดันรอบๆ อาหาร อุณหภูมิของตัวกลางในการให้ความร้อนแก่อาหาร ค่าการนำความร้อนแก่อาหาร และความร้อนจำเพาะของอาหาร เป็นต้น (วิไล, 2545)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของของเหลวบางชนิด

คุณสมบัติ	ค่าการนำความร้อน (W/m K)	ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg K)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ความหนืด (Ns/m^2)	อุณหภูมิ (^0C)
อากาศ	0.024	1.005	1.29	1.73×10^{-5}	0
	0.031	1.005	0.94	2.21×10^{-5}	100
ออกซิเจน	--	0.92	--	1.48×10^{-5}	20
สารทำความเย็น 12	0.0083	0.92	--	--	--
น้ำ	0.57	4.21	1,000	1.79×10^{-3}	0
	0.68	4.21	958	0.28×10^{-3}	100
สารละลายซูโครส 20 %	0.54	3.8	1,070	1.92×10^{-3}	20
นมสดเต็มรูป	0.56	3.9	1,030	2.12×10^{-3}	20
หางนม	--	--	--	2.80×10^{-3}	10
ครีม (20% ไขมัน)	--	--	1,040	1.40×10^{-3}	25

ที่มา: Earle (1983) Peleg และ Bagley (1983) และLewis (1987)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 ค่าการนำความร้อนของอาหารและวัสดุบางชนิด

วัสดุและอาหาร	ค่าการนำความร้อน (W/mK)	อุณหภูมิที่ทำการวัด (^{0}C)
วัสดุ		
เมทัลไลซ์	220	0
ทองแดง	388	0
สแตนเลส	21	20
โลหะอื่นๆ	45-400	0
กระดาษกล่อง	0.07	20
แก้ว	0.52	20
โพลีเอทธิลีน	0.55	20
อาหาร		
นมสดเต็มรูป[1]	0.56	20
น้ำแอปเปิ้ล	0.56	20
น้ำ[1]	0.57	0

[1] ตั้งสมมติฐานว่าไม่มีการพาความร้อนเกิดขึ้น

ที่มา: Earle (1983) Lewis (1987) และWoodams และ Nowrey (1968)

ตารางที่ 1 และ 2 แสดงค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร แม้ว่าสแตนเลสจะนำความร้อนได้ต่ำกว่าเมทัลไลซ์และทองแดง แต่ค่าดังกล่าวไม่เป็นตัวจำกัดอัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารซึ่งมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่ามาก นอกจากนี้ สแตนเลสยังไวต่อปฏิกิริยาน้อยกว่าโลหะชนิดอื่นๆ จึงนิยมใช้ทำเครื่องมือที่สัมผัสกับอาหารในกระบวนการแปรรูปต่างๆ โดยเฉพาะกับอาหารที่มีความเป็นกรด (วิไล, 2545)

2. การถ่ายเทความร้อนแบบการพา (convective heat transfer)

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของของเหลวจะทำให้ความหนาแน่นของของเหลวเปลี่ยนไปด้วย มีผลทำให้เกิดการไหลเวียนหรือการพาแบบธรรมชาติ ส่วนการพาแบบบังคับ (forced convection) จะเกิดขึ้นเมื่อใช้เครื่องกวนมีผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น และกระจายอุณหภูมิได้รวดเร็วกว่าการพาแบบธรรมชาติ รวมถึงการที่ของเหลวถูกปั๊มผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการต่างๆ (วิไล, 2545 และรุ่งนภา, 2535) อัตราการถ่ายเทความร้อนของของเหลวไปยังผิวหน้าอาหารคำนวณได้จาก

$$Q = h_s A(T_b - T_s)$$

เมื่อ	Q (J/s)	=	อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน
	h_s (W/m^2 K)	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนหรือผิวหน้า
	A (m^2)	=	พื้นที่ผิว
	T_s (^{0}C)	=	อุณหภูมิที่ผิวหน้าวัตถุ
	T_b (^{0}C)	=	อุณหภูมิของของเหลว (bulk fluid)

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวหน้า (surface heat transfer coefficient) วัดได้จากความต้านทานต่อการไหลของความร้อนซึ่งเกิดจากฟิล์มบางๆ รอบวัตถุ โดยมีค่าเท่ากับ k/x ในสมการการนำความร้อน ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวหน้าอาหารในการไหลแบบเทอร์บุเลนซ์จึงมีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวหน้าในการไหลแบบสตรีมไลน์ แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวหน้าวัตถุในตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวหน้าวัตถุ

สสาร	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวหน้า h_s ($W/m^2 K$)	การประยุกต์ใช้
ของเหลวกำลังเดือด	2,400-60,000	การระเหย
ไอน้ำอิ่มตัวที่กำลังควบแน่น	12,000	การฆ่าเชื้ออาหารกระป๋อง การระเหย
ไอน้ำควบแน่น		
มีอากาศผสม 3%	3,500	การฆ่าเชื้ออาหารกระป๋อง
มีอากาศผสม 6 %	1,200	การฆ่าเชื้ออาหารกระป๋อง
แอมโมเนียควบแน่น	6,000	การแช่เยือกแข็ง การแช่เย็น
ของเหลวไหลผ่านท่อ		
มีความหนืดต่ำ	1,200-6,000	การพาสเจอไรซ์
มีความหนืดสูง	120-1,200	การระเหย
อากาศที่กำลังเคลื่อนที่ (3m/s)	30	การแช่เยือกแข็ง การอบ
อากาศนิ่ง	6	ห้องเย็น

ที่มา: วิไล (2545) ดัดแปลงจากรายงานของ Loncin และ Merson (1979) และ Earle (1983)

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าการถ่ายเทความร้อนผ่านอากาศจะช้ากว่าการถ่ายเทความร้อนผ่านของเหลว ดังนั้นในการให้ความร้อนหรือการทำให้เย็นที่ใช้ตัวกลางการถ่ายเทความร้อนเป็นอากาศจึงต้องใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีขนาดใหญ่ และอัตราการถ่ายเทความร้อนจะสูงขึ้นเมื่อใช้อากาศที่เคลื่อนที่ ส่วนไอน้ำควบแน่นจะให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าน้ำร้อนที่อุณหภูมิเดียวกัน และการที่มีอากาศอยู่ในไอน้ำจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง

3. การแผ่รังสีความร้อน (radiative heat transfer)

การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี จะเกิดขึ้นระหว่างสองพื้นผิวโดยการแผ่และดูดซับในเวลาต่อมาของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ตัวกลางในการแพร่ความร้อนเหมือนในแบบการนำหรือการพา ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนแบบนี้จึงเกิดขึ้นในสุญญากาศได้ (รุ่งนภา, 2535)

2.2.2 หลักการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดยใช้ความร้อนในระดับพาสเจอไรซ์

การผลิตเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุ จะมีหลักการที่สำคัญ คือ เครื่องดื่มต้องได้รับความร้อนเพียงพอ และนานพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นปลอดภัยแก่ผู้บริโภค และต้องบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท (hermetic container) ซึ่งจะมีหน้าที่ป้องกันการปนเปื้อนหลังผลิตภัณฑ์ผ่านกระบวนการแล้ว (สายวรุฬ และวรรณา, 2534) ดังนั้นในกระบวนการแปรรูปเครื่องดื่มด้วยความร้อน จึงจำเป็นที่เครื่องดื่มต้องได้รับความร้อนอย่างน้อยในระดับการฆ่าเชื้อทางการค้า (commercial sterility) ซึ่งในบางผลิตภัณฑ์ก็มีคุณภาพเพียงพอเป็นที่น่าพอใจ หรือในบางผลิตภัณฑ์อาจทำให้เสื่อมคุณภาพเสียไป เนื่องจากระดับความร้อนนั้นสูงเกินไป ฉะนั้นจึงต้องให้ความร้อนที่เหมาะสม (นวรัตน์, 2541) ซึ่งการพาสเจอไรซ์ (pasteurization) เป็นกระบวนการใช้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่อาจเพิ่มขึ้นในเครื่องดื่ม มีผลทำให้เกิดการเสื่อมเสีย ต้องใช้เวลาและอุณหภูมิที่เพียงพอในการทำลายจุลินทรีย์ เช่น พวกยีสต์ใช้อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส นาน 2-3 นาทีในการทำลาย ส่วนสปอร์ของเชื้อราใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที พวกแบคทีเรียแลคติก จะถูกทำลายที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที ส่วนสปอร์ของแบคทีเรียไม่สามารถถูกทำลายด้วยความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส (มณฑาทิพย์, 2538)

การพาสเจอไรซ์เซชั่น อาจจะแบ่งเป็น 2 วิธี คือ แบบต่อเนื่อง (continuous) และแบบไม่ต่อเนื่อง (dis-continuous)

แบบต่อเนื่อง โดยวิธีทำให้ร้อนและเย็นลงอย่างรวดเร็ว (flash pasteurization and cooling) วิธีนี้จะช่วยลดอัตราการสูญเสียกลิ่นรส และสีของเครื่องดื่มได้ เนื่องจากระยะเวลาที่ให้ความร้อนจะสั้นมาก หลักสำคัญของวิธีการนี้ คือ ทำให้เครื่องดื่มเย็นลงอย่างรวดเร็วภายหลังการใช้ความร้อน จากนั้นก็บรรจุเครื่องดื่มลงในภาชนะบรรจุที่สะอาดทันที ความร้อนที่ใช้ประมาณ 82-90 องศาเซลเซียส เวลา 2-3 นาที เครื่องมือสำคัญที่ใช้ คือ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) และระบบบรรจุแบบปลอดเชื้อ (aseptic filling system)

แบบไม่ต่อเนื่อง หลังจากเครื่องดื่มถูกบรรจุลงในภาชนะบรรจุแล้ว จะมีการปิดผนึกและฆ่าเชื้อในหม้อฆ่าเชื้อ (กุลวดี, 2530)

เนื่องจากอาหารเสื่อมเสียได้ง่ายจากจุลินทรีย์และเอนไซม์ที่อยู่ในอาหารจึงต้องการความร้อนในกระบวนแปรรูปเพื่อช่วยให้อาหารมีความคงตัว และยืดอายุการเก็บรักษา ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการถนอมอาหารด้วยความร้อนให้ดีขึ้น เพื่อคงคุณค่าทางอาหาร เกิดความประหยัด และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (ศูนย์ศึกษาแนวพระราชดำริ, 2546)

นอกจากนี้อาจแบ่งกระบวนการพาสเจอไรซ์ออกเป็น 2 ระบบ คือ

1. ระบบช้าอุณหภูมิต่ำ (low temperature long time, LTLT) เป็นระบบที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วทำให้เย็นลงทันที เป็นวิธีที่ง่ายสามารถทำได้ในระดับครัวเรือน

2. ระบบเร็วอุณหภูมิสูง (high temperature short time, HTST) เป็นระบบที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิในระดับสูงขึ้นแต่ใช้เวลาสั้นลงคือ ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส นาน 15 วินาที แล้วทำให้เย็นลงโดยเร็ว (สมเพียร, 2542 และคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2543)

การพาสเจอไรซ์เป็นการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่แต่ไม่ใช่ทั้งหมดในอาหาร คือทำลายแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคกับมนุษย์ (pathogenic) และไม่สร้างสปอร์ หรือทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสีย แต่ทั้งนี้จะต้องเก็บอาหารไว้ในสภาพที่จุลินทรีย์จะเจริญได้น้อยที่สุด โดยร่วมกับวิธีการแช่เย็นหรือการเติมสารเคมี เป็นต้น อุณหภูมิและเวลาที่ใช้จะขึ้นกับความต้านทานของแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคกับมนุษย์และเซลล์ (vegetative cell) ที่ต้องการทำลายและยังขึ้นกับคุณค่าทางอาหารที่เหลืออยู่หลังจากได้รับความร้อน เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีที่สุด (รุ่งนภา, 2535) มักพิจารณาให้ความร้อนแบบนี้กับอาหารเมื่อ

- อาหารนั้นได้รับความร้อนสูงเกินไปจะเกิดการเสื่อมคุณภาพ เช่น ถ้าได้รับความร้อนสูงเกินไปโปรตีนจะจับตัวกันเป็นก้อน
- ต้องการทำลายเฉพาะเชื้อโรคเท่านั้น
- จุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารนั้นเสียได้เป็นพวกที่ทนความร้อนได้ไม่สูงนัก เช่น ยีสต์ในน้ำผลไม้
- มีการถนอมอาหารวิธีอื่นมาร่วมด้วย เพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ยังหลงเหลืออยู่ในอาหาร เช่น การเก็บน้ำนมไว้ในอุณหภูมิต่ำ
- ต้องการให้อาหารที่ทำลายจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการแล้ว ยังคงมีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดที่ใช้ในการแปรรูปอาหาร เช่น การเติมจุลินทรีย์ลงไปในน้ำนมเพื่อให้เกิดการหมักเป็นเนยแข็ง

การถนอมอาหารอื่นๆ ที่สามารถใช้ร่วมกับการพาสเจอไรซ์ ได้แก่

- การแช่เย็น
- การรักษาอาหารให้ปลอดเชื้อ โดยการบรรจุไว้ในภาชนะปิดสนิท
- การรักษาสภาพแวดล้อมให้มีสภาวะไร้ออกซิเจนในภาชนะปิด
- การเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลาย เช่น นมข้นหวาน

- การเติมสารเคมีบางชนิด เช่น กรดอินทรีย์บางชนิด และสารกันเสีย (สุมาลี, 2535; บุหลัน และทัสนี, 2544; Man และ Jones, 1994 และ Kilcast และ Subramaniam, 2000)

2.2.3 ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อ (factors determining time-temperature of thermal process)

1. ชนิดของอาหาร (type of foods)

ความเป็นกรดด่างของอาหาร จะมีความสำคัญต่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศ (obligate anaerobes) หรือที่ต้องการอากาศเพียงเล็กน้อย (facultative anaerobes) เนื่องจากสปอร์บางชนิดที่ทนทานความร้อนได้สูงมากนั้นไม่สามารถเจริญและก่อให้เกิดอันตรายในอาหารที่มีความเป็นกรดสูง

การให้ความร้อนแก่อาหารเหล่านี้จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของค่าความเป็นกรดด่าง และการเสียของอาหารจะเป็นแบบใดก็ขึ้นอยู่กับระดับของค่าความเป็นกรดด่างด้วย

2. องค์ประกอบและธรรมชาติของผลิตภัณฑ์อาหาร

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (water activity, A_w) คือ ปริมาณน้ำในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ อาหารกระป๋องส่วนใหญ่จะมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี สูงกว่า 0.98 ดังนั้นจุลินทรีย์และสปอร์สามารถเจริญเติบโตได้ดีทำให้ต้องการความร้อนในการฆ่าเชื้อมากขึ้น

ความข้นหนืด (viscosity / consistency) ชนิดและลักษณะชิ้นของอาหารจะมีผลต่ออัตราการส่งผ่านความร้อน

การดูดคืนน้ำ (dehydration) ขององค์ประกอบในอาหาร สปอร์อาจเจริญได้ถ้าอาหารและองค์ประกอบดูดคืนน้ำได้ไม่เพียงพอในระหว่างการแปรรูป สปอร์เหล่านี้จะทนความร้อนได้นานกว่าในความร้อนแห้ง (สุมาลี, 2535 และทิพาพร, 2546)

3. ชนิด จำนวน และความสามารถในการทนความร้อนของจุลินทรีย์

สามารถใช้ความร้อนทำลายยีสต์ และราส่วนใหญ่ได้ง่ายกว่าแบคทีเรีย ส่วนสปอร์ของแบคทีเรียสามารถทนความร้อนได้ดีกว่าเซลล์ทั่วไป (vegetative cell) นอกจากนี้ระยะเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อยังขึ้นกับจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น ถ้าปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นมากเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ อุณหภูมิและเวลาที่กำหนดไว้ในกระบวนการฆ่าเชื้อก็จะไม่สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้หมด ก่อให้เกิดปัญหาอาหารผ่านความร้อนในการฆ่าเชื้อไม่เพียงพอ (under process) ได้ (ทิพาพร, 2546)

4. ค่าความต้านทานความร้อน (heat resistance)

ความต้านทานความร้อน หมายถึง ปริมาณความร้อนสูงสุด คิดเป็นค่าเวลาและอุณหภูมิที่เชื้อจุลินทรีย์จะทนมีชีวิตอยู่ได้ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับค่าความต้านทานความร้อน ได้แก่ ค่า D ค่า Z และค่า F ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในส่วนต่อไป

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทนความร้อนของจุลินทรีย์

การที่เซลล์และสปอร์ของจุลินทรีย์จะทนความร้อนได้มากน้อยแตกต่างกันนั้น บางอย่างขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ แต่บางอย่างเป็นลักษณะของจุลินทรีย์เอง ในประชากรจำนวนหนึ่งของเซลล์หรือสปอร์จะมีความสามารถทนความร้อนแตกต่างกัน

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทนความร้อนของเซลล์หรือสปอร์ ซึ่งมีความสำคัญในการเปรียบเทียบความสามารถในการทนความร้อนของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ และการใช้ความร้อนในการทำลายจุลินทรีย์ชนิดใดชนิดหนึ่ง ได้แก่

1. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ระยะเวลาที่ใช้ในการทำลายเซลล์หรือสปอร์ภายใต้สภาพแวดล้อมที่กำหนดให้จะลดน้อยลง ถ้าให้อุณหภูมิสูงขึ้น

2. จำนวนประชากรเริ่มต้นของสปอร์ (หรือเซลล์) ถ้ามีจำนวนมาก ยิ่งต้องใช้ความร้อนในการทำลายสูงขึ้น

3. ประวัติของเซลล์ และสปอร์ การเจริญของเซลล์หรือสปอร์ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันก่อนจะถูกนำมาทำลายนั้นมีผลต่อการทนความร้อน เช่น

อาหารเลี้ยงเชื้อ เซลล์ที่เจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีสารอาหารครบถ้วนมาก่อนจะทนความร้อนได้ดีกว่าเซลล์ที่เจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่เหมาะสม ถ้ามีสารช่วยการเจริญอยู่ในอาหารนั้นด้วยจะทนความร้อนยิ่งขึ้น จึงเป็นคำตอบหนึ่งในการอธิบายว่า เหตุใดจุลินทรีย์ที่เจริญในน้ำสกัดจากตับ หรือน้ำคั้นจากผักจึงทนความร้อนได้ดีกว่าเดิม ถ้าอาหารมีกลูโคสเพียงเล็กน้อยจะช่วยให้เซลล์ทนความร้อนดีขึ้น แต่ถ้ามีกลูโคสมากเกินไปจะทำให้เกิดกรดในอาหารมากจนทำให้เซลล์ทนความร้อนได้น้อยลง เกลือบางชนิดในอาหาร เช่น ฟอสเฟตและแมกนีเซียมจะไปทำให้สปอร์ทนความร้อนได้น้อยลง

อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มเชื้อ อุณหภูมิในขณะที่เซลล์เจริญหรือสร้างสปอร์จะมีอิทธิพลต่อการทนความร้อนของจุลินทรีย์ ถ้าจุลินทรีย์เจริญที่อุณหภูมิเหมาะสม (optimal temperature) หรือสูงกว่าเล็กน้อย จุลินทรีย์จะทนความร้อนได้เพิ่มขึ้น เช่น *Escherichia coli* ที่เจริญที่อุณหภูมิ 38.5 องศาเซลเซียส จะทนความร้อนได้ดีกว่าพวกที่เจริญในอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส

อายุ การทนความร้อนของเซลล์จะแตกต่างกันไปตามระยะของการเจริญ แบคทีเรียจะทนความร้อนได้ดีที่สุดเมื่อเจริญเต็มที่ ในสปอร์ก็เช่นเดียวกัน สปอร์ที่ยังไม่เจริญเต็มที่จะทนความร้อนได้น้อยกว่าสปอร์ที่เจริญเต็มที่แล้ว สปอร์บางชนิดจะทนความร้อนได้ดีในสัปดาห์แรก แต่หลังจากนั้นแล้วความทนทานจะลดลง

ความแห้ง สปอร์แห้งของแบคทีเรียบางชนิดทำลายได้ยากกว่าสปอร์เปียก

4. ส่วนประกอบของสับสเทรตที่เซลล์หรือสปอร์เจริญอยู่ในขณะให้ความร้อน ส่วนประกอบของสับสเทรตที่มีความสำคัญต่อระยะเวลาที่ให้ความร้อนในอุณหภูมิที่กำหนด ได้แก่

ความชื้น ความร้อนชื้นจะให้ผลในการทำลายเซลล์ได้ดีกว่าความร้อนแห้ง วัสดุแห้งจะต้องใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อสูงกว่าวัสดุเปียก เช่น การฆ่าเชื้อในอาหารหรือเครื่องมือต่างๆ ในหม้อนึ่งความดัน (autoclave) จะใช้ความร้อนชื้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ถึง 30 นาที เท่านั้น ในขณะที่ต้องใช้ความร้อนสูง 160 ถึง 180 องศาเซลเซียส ในการฆ่าเชื้อในเครื่องมือต่างๆ ในเตาอบ (hot air oven) เป็นเวลานานถึง 3-4 ชั่วโมง (ทิพาพร, 2546 และสุมาลี, 2535) โดยธรรมชาติจุลินทรีย์แต่ละชนิดต้องการความชื้นแตกต่างกัน เชื้อแบคทีเรียต้องการความชื้นสูงกว่ายีสต์และรา (สมเพียร, 2542)

ค่าความเป็นกรดด่าง โดยทั่วๆไปเซลล์หรือสปอร์จะทนความร้อนได้ดีที่สุดเมื่ออยู่ในสับสเทรตเป็นกลางหรือเกือบเป็นกลาง ดังนั้น การเพิ่มความเป็นกรดด่างให้กับสับสเทรตจะทำให้ความทนทานของจุลินทรีย์ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มความเป็นกรดจะให้ผลมากกว่า (สุมาลี, 2535) ฉะนั้นการปฏิบัติในทางการค้าจึงมีการเติมสารในอาหารเพื่อทำให้สารนั้นมีสภาพเป็นกรด เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ความร้อนสูงและเวลานาน อันจะมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของอาหารนั้น (สมเพียร, 2542)

การให้ความร้อนสูงอาจเป็นสาเหตุให้ค่าความเป็นกรดด่างในอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำและปานกลางลดลง ยิ่งถ้าในอาหารเดิมมีค่าความเป็นกรดด่างสูงเมื่อได้รับความร้อนจะยิ่งทำให้ค่าความเป็นกรดด่างลดลงมากขึ้น

องค์ประกอบอื่นๆ ของสับสเทรต เช่น เกลือในอาหารซึ่งมักจะเติมอยู่ในรูปของเกลือโซเดียมคลอไรด์ถ้าใช้ความเข้มข้นต่ำช่วยป้องกันสปอร์จากความร้อนได้ น้ำตาลจะช่วยป้องกันความร้อนให้กับเซลล์และสปอร์บางชนิด ซึ่งความเข้มข้นที่เหมาะสมในการป้องกันจะแตกต่างกันไปตามชนิดของจุลินทรีย์ เช่น ถ้าเป็นพวกออสโมฟิลิกแบคทีเรีย จะต้องใช้ความเข้มข้นสูง แต่ถ้าไม่ใช่ก็ต้องใช้ความร้อนต่ำ ซึ่งความสามารถในการป้องกันความร้อนจะสัมพันธ์กับค่าวอเตอร์แอกติวิตีที่ลดลงด้วย (ทิพาพร, 2546 และสุมาลี, 2535)

2.2.5 การทนความร้อนของจุลินทรีย์และสปอร์

การทนความร้อนของจุลินทรีย์แสดงด้วยค่าการทำลายเชื้อด้วยความร้อน (thermal death time, TDT) ซึ่งหมายถึง ระยะเวลาในการใช้ในการทำลายจุลินทรีย์จำนวนหนึ่งที่อุณหภูมิกำหนด แต่ทั้งนี้จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะทนความร้อนแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4

การทนความร้อนของยีสต์และสปอร์

การทนความร้อนของยีสต์และสปอร์จะแตกต่างกันไปตามชนิดของยีสต์และชนิดของสับสเตรต โดยทั่วไปแอสโคสปอร์จะถูกทำลายด้วยความร้อน 100 องศาเซลเซียส สปอร์จะถูกทำลายหมด เซลล์ยีสต์มักจะถูกทำลายที่อุณหภูมิ 50 ถึง 58 องศาเซลเซียส ในเวลา 10 ถึง 15 นาที ดังนั้นการพาสเจอไรซ์น้ำนม (62.8 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที) และการอบขนมปัง (97 องศาเซลเซียส) จึงสามารถทำลายยีสต์ได้หมด

การทนความร้อนของราและสปอร์

รา และสปอร์ส่วนใหญ่ จะถูกทำลายที่ความร้อนชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในเวลา 5 ถึง 10 นาที แต่มีบางสปีชีส์ทนความร้อนได้ดี สปอร์สามารถทนความร้อนได้ดีกว่าไมซีเลียมเล็กน้อย จากการศึกษาพบว่า *Aspergillus, Penicillum* และ *Mucor* บางสปีชีส์จะทนความร้อนได้ดีกว่าราชนิดอื่น

สปอร์ของราจะทนความร้อนแห้งได้ดี จากรายงานต่างๆพบว่า ความร้อนแห้ง 120 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ยังไม่สามารถทำลายสปอร์ของราชนิดที่ทนความร้อนได้เลย

การทนความร้อนของแบคทีเรียและสปอร์

เซลล์ของแบคทีเรียจะทนความร้อนได้แตกต่างกัน เช่น พวกเชื้อโรคจะถูกทำลายได้ง่าย แต่พวกเทอร์โมฟายล์อาจต้องใช้ความร้อนสูง 80 ถึง 90 องศาเซลเซียส นานหลายนาที เป็นต้น

การทนความร้อนของแบคทีเรียจะมีปัจจัยบางประการเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เช่น

- แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ทนความร้อนได้ดีกว่าพวกที่ไม่สร้างสปอร์
- แบคทีเรียสร้างสปอร์พวกเทอร์โมไฟล์ ทนความร้อนได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างสปอร์มีโซไฟล์
- เซลล์แบคทีเรียที่มีรูปร่างกลม (cocci) สามารถต้านทานความร้อนได้สูงกว่าเซลล์ที่มีรูปร่างเป็นท่อน (rod shaped)
- แบคทีเรียที่จับกันเป็นกลุ่มหรือที่สร้างแคปซูล (capsule) ถูกทำลายได้ยากกว่ากลุ่มที่ไม่มีการจับตัว หรือไม่สร้างแคปซูล
- เซลล์แบคทีเรียที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่มากจะทำลายได้ยากกว่าเซลล์

ปกติ (วิลาวัณย์, 2537 และวราวุฒิ, 2538)

การทนความร้อนของสปอร์แบคทีเรียจะแตกต่างกันไปตามชนิดของแบคทีเรียและสภาพแวดล้อม ในขณะเกิดสปอร์ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส สปอร์อาจทนได้แตกต่างกันตั้งแต่ 1 นาที จนถึง 20 ชั่วโมง ในบางครั้งแบคทีเรียที่เจริญร่วมกับแบคทีเรียที่ทนความร้อนได้ดีจะทนความร้อนได้ดีกว่าเดิม เช่น การเจริญร่วมกันของ *Clostridium perfringens* กับ *Clostridium sporogenes* (สุมาลี, 2535)

การทนความร้อนของเอนไซม์

ตามปกติอุณหภูมิ 79.4 องศาเซลเซียส เพียงพอในการทำลายเอนไซม์ของอาหารหรือจุลินทรีย์ ดังนั้นในการกำหนดให้ใช้อุณหภูมิในการทำลายจุลินทรีย์ในอาหารจึงมักจะควบคุมการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวได้ ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุประสงค์หนึ่งของกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อนก็เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งสามารถทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารในระหว่างการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม บางครั้งความร้อนที่ใช้ก็ไม่สามารถทำลายเอนไซม์ทุกชนิด ดังนั้น เอนไซม์นั้นอาจส่งผลกระทบต่ออาหารได้ภายหลัง ดังเช่นในกรณีที่มีเอนไซม์ไฮโดรเลส (hydrolases) เช่น โปรติเนสและไลเปส เป็นต้น เหลืออยู่ภายหลังจากที่อาหารผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูง (ultrahigh temperature) ซึ่งอาจทำให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหารเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน (วราวุฒิ, 2538)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบการทนความร้อนของจุลินทรีย์ต่างๆ

จุลินทรีย์	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
ยีสต์		
Vegetative cell	50-80	10-15
Ascospore	60-70	10-15
มียกเว้นบางชนิด		
เชื้อรา		
Vegetative cell	60-70	5-10
สปอร์ทั่วไป	60-70	5-10
ยกเว้นสปอร์และ Scleratia ของรา		
บางชนิดทนความร้อนได้สูงมาก		
แบคทีเรีย		
แบคทีเรียที่ไม่สร้างสปอร์:		
Vegetative cell ทั่วไป	80	10
Nesisseria gonorhveae	50	2-3
Salmonella typhosa	60	4-5
Staphylococcus aureus	60	18.8
E.coli	57	18
Streptococcus thermophilus	70-75	15
Lactobacillus bulgaricus	71	30
สปอร์ของแบคทีเรีย:	เวลาในการฆ่าเชื้อที่ 100 องศา	
Bacillus anthracis	เซลเซียส	15
Bacillus cereus		6-10
Bacillus subtilis		15-20
Clostridium tetani		5-15
Clostridium perfringens		5-10
Clostridium botulinum (Type A, B)		300-330
Bacillus stearothermophilus		>1030

ที่มา: ไพโรจน์ (2546)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร มหาวิทยาลัยศิลปากร

2.2.6 การหาค่าการทำลายเชื้อด้วยความร้อนของจุลินทรีย์

การหาค่าการทำลายเชื้อด้วยความร้อนของจุลินทรีย์ตามวิธีของ Esty และ Meyer (1992) เป็นวิธีง่ายๆ ซึ่งทำได้ดังนี้คือ บรรจุสารแขวนลอย (suspension) ของสปอร์หรือเซลล์ของจุลินทรีย์จำนวนมาตรฐานในสารละลายบัฟเฟอร์ หรือในอาหารเหลวลงในหลอดแก้วเล็กๆ แล้วอุดจุกให้แน่น นำไปให้ความร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ต้องการได้ตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ตามลำดับ จากนั้นทำให้เย็นทันที นำสารแขวนลอยนี้ไปเพาะเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมเพื่อหาจำนวนเชื้อที่ยังไม่ตาย

การเตรียมสารแขวนลอยของสปอร์ (หรือเซลล์)

นำจุลินทรีย์ที่ต้องการทดสอบมาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิหนึ่ง ปล่อยให้เจริญหรือสร้างสปอร์จนเต็มที่ แล้วย้ายเชื้อออกจากอาหาร โดยการล้างแยกออกไปถ้าเลี้ยงไว้ในอาหารแข็ง หรือปั่นให้ตกตะกอนแยกออกไปถ้าเลี้ยงไว้ในอาหารเหลว ต้องมีการระวังในการจับกลุ่ม อย่าให้มีการจับกลุ่มกันเพราะถ้าเกิดการจับกลุ่มของสปอร์จะทำให้ผลที่ได้ผิดพลาด บางครั้งอาจจะต้องบ่มสารแขวนลอยของสปอร์อีก 24 ชั่วโมง เพื่อให้การสร้างสปอร์เป็นไปอย่างสมบูรณ์ นำสารแขวนลอยสปอร์ไปพาสเจอไรซ์เพื่อทำลายเซลล์ซึ่งอาจเป็นตัวช่วยป้องกันความร้อนให้หมดไป แล้วจึงนำไปหาจำนวนต่อหนึ่งหน่วยโดยวิธีนับโดยตรงหรือเพาะเชื้อนับโคโลนี แล้วนำสารแขวนลอยไปเจือจางในอาหารที่ใช้ทดสอบ (heating medium) ซึ่งอาจจะเป็นบัฟเฟอร์ฟอสเฟตหรืออาหารเหลวก็ได้ ให้มีความเข้มข้นตามต้องการแล้วดูดสารแขวนลอยที่เจือจางแล้วนี้ใส่หลอดแก้วเล็กๆหลอดละ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ปิดจุกแล้วนำไปแช่เย็นทันที (วิลาวัณย์, 2537 และ สุมาลี, 2541)

การให้ความร้อน

การให้ความร้อนกับซัสเพนชันหรือสปอร์ในหลอดแก้วนั้น จะทำให้อ่างน้ำที่สามารถควบคุมความร้อนได้ ในอ่างจะมีเครื่องเขย่า (shaker) ด้วย อาจใช้น้ำมันแทนน้ำได้ถ้าต้องการความร้อนสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส การให้ความร้อนจะทำที่อุณหภูมิเดียวกันทั้งหมด แต่ระยะเวลาไม่เท่ากันแล้วแต่จะกำหนด สิ่งที่ควรระวังในการให้ความร้อนคือ

(1) หลอดอาหารที่จะให้ความร้อนควรจะเก็บไว้ในอุณหภูมิที่กำหนดเดียวกันก่อน เช่น เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส หรือแช่ไว้ในน้ำแข็งก่อน ประมาณ 30 วินาที จึงนำไปให้ความร้อน

(2) ถ้าใช้น้ำมันในการให้ความร้อนต้องเช็ดหลอดอาหารให้แห้ง เพื่อป้องกันน้ำมันกระเด็น

(3) ถ้านำหลอดอาหารที่แช่เย็นแล้วใส่ในอ่างให้ความร้อนในเวลาเดียวกันหลายๆ หลอดพร้อมกัน อาจทำให้อุณหภูมิของน้ำในอ่างลดลง

(4) ควรทำซ้ำหลายๆครั้งเพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องแน่นอน

(5) การให้ความเย็นหลังจากให้ความร้อนแล้วควรทำในทันทีซึ่งมักใช้วิธีแช่น้ำแข็ง (วิลาวัณย์, 2537)

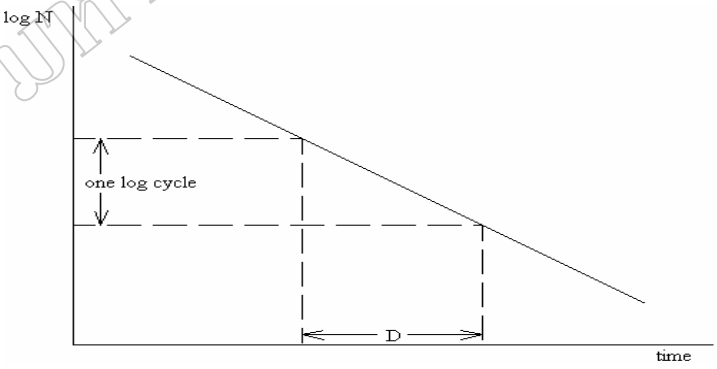
การตรวจหาสปอร์และเซลล์ที่ยังมีชีวิต

ถ้าสับสเทรตที่ใช้ในการให้ความร้อนนั้นเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์อยู่แล้วและจุลินทรีย์นั้นสามารถเจริญได้ในสภาวะไร้ออกซิเจน สามารถนำหลอดอาหารนั้นไปบ่มที่อุณหภูมิที่เหมาะสมได้ในทันที แต่ถ้าสับสเทรตไม่เหมาะสม ให้นำไปเพาะเชื้อในอาหารที่เหมาะสม ถ้ามีการเจริญของจุลินทรีย์ให้นับจำนวนไว้ อาหารที่ใช้ในการตรวจหาการเจริญของจุลินทรีย์นั้นสำคัญมาก เนื่องจากสปอร์หรือเซลล์ที่ได้รับความร้อนแล้วจะต้องการสารอาหารมากกว่าปกติ (สุมาลี, 2541)

การเขียนกราฟการทำลายเชื้อด้วยความร้อน (TDT curve)

ในการคำนวณหาเวลาในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน มีสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ 3 ตัว คือ D Z และ F โดยตัวแปรเหล่านี้บอกให้ทราบถึงความทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์และบ่งชี้ว่าการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อนั้นๆ มีผลในการฆ่าเชื้อมากเท่าไร

1. ค่า D (decimal reduction time หรือ death rate constant) หมายถึง ความสามารถในการทนต่อความร้อนของจุลินทรีย์หรือหมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการทำลายสปอร์ของจุลินทรีย์ลงร้อยละ 90 ของที่มีอยู่ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่า D แตกต่างกัน



D = 1/ความชัน

ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสปอร์และเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิคงที่
ที่มา: Singh และ Heldman (1993)

การหาค่า D ทำได้โดยใส่สปอร์ของจุลินทรีย์ที่ทราบจำนวนแน่นอนลงในภาชนะบรรจุ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิคงที่โดยใช้เวลานานต่างๆ กัน ข้อมูลที่ได้นำมาแสดงในรูปของกราฟซึ่งเป็นกึ่งลอการิทึม (semi-logarithmic graph) ดังภาพที่ 1 โดยจำนวนสปอร์ที่รอดชีวิตจะเขียนไว้ในแกนตั้งและเวลาให้อยู่ในแนวนอน เส้นที่ได้จะเป็นกราฟอัตราการตายของสปอร์เส้นที่ลากผ่านจุดเหล่านี้จะใช้แทนกราฟการทำลายเชื้อด้วยความร้อน (TDT curve) ได้ โดยกราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรง แสดงว่าอัตราการตายของจุลินทรีย์คงที่ ในทางทฤษฎีไม่สามารถทำลายแบคทีเรียให้เหลือศูนย์ได้เลย เห็นได้จากกราฟแสดงการอยู่รอดไม่ลดลงถึงศูนย์ จึงเป็นเพียงการทำให้จุลินทรีย์ลดเหลือใกล้ศูนย์มากที่สุดเท่าที่สามารถจะทำได้ (สุมาลี, 2541 และสายวรุฬ, 2546)

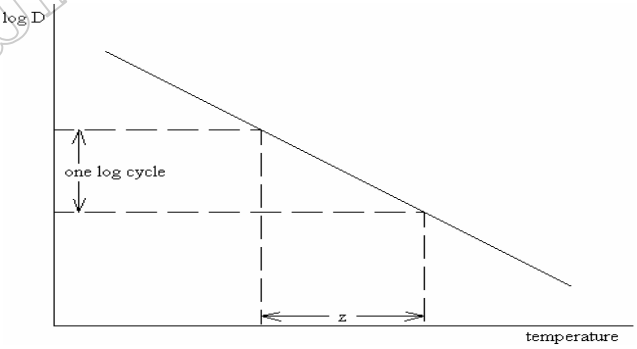
สายวรุฬ (2546) ได้กล่าวถึงลำดับความทนทานต่อความร้อนของจุลินทรีย์ไว้ ดังนี้ จุลินทรีย์ที่มีค่า D_{250} มากกว่า 1 เป็นพวกที่ทนต่อความร้อนได้สูงมาก (extremely high heat resistance)

มากกว่า 0.1 เป็นพวกที่ทนความร้อนได้สูง (high heat resistance)

มากกว่า 0.01 เป็นพวกที่ทนต่อความร้อน (heat resistance)

น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.01 ไม่ทนต่อความร้อน (not heat resistance)

2. ค่า Z (thermal resistance constant) หมายถึง อุณหภูมิเป็นองศาฟาเรนไฮต์หรือองศาเซลเซียสที่ต้องการเปลี่ยนแปลงกราฟการทำลายเชื้อด้วยความร้อนลงไป 10 เท่า ถ้าทราบค่า D ของสารแขวนลอยสปอร์ที่กำหนดให้ที่อุณหภูมิต่างๆ จะสามารถเขียนกราฟการทำลายเชื้อด้วยความร้อนได้ โดยนำค่า D (นาที) มาเขียนแกนตั้ง และอุณหภูมิ (°F) เขียนไว้ในแกนนอน และจากเส้นตรงนี้จะสามารถหาค่าการทำลายเชื้อด้วยความร้อนต่างๆ ในแต่ละอุณหภูมิที่ไม่ได้ทดลองได้ ซึ่งความชันของเส้น (slope) ให้แทนค่าด้วย Z ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟการทำลายเชื้อด้วยความร้อน (thermal death time curve)
ที่มา: Singh และ Heldman (1993)

นอกจากนี้ระดับการให้ความร้อนในอาหารขึ้นกับชนิดของจุลินทรีย์ที่พบในอาหารแต่ละชนิด ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่า D และค่า Z ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่า D และ Z ในการพาสเจอไรซ์อาหารเพื่อทำลายจุลินทรีย์บางชนิด

จุลินทรีย์	ค่า D (นาที) D_{180} - D_{150}	ค่า Z (องศาฟาเรนไฮต์)
เชื้อโรคและจุลินทรีย์ซึ่งสร้างสารพิษ		
Prucella spp.	0.1-0.2	8-10
Mycobacterium tuberculosis	0.2-3.0	8-10
Coxiella burnetti	0.5-6.0	8-10
Salmonella spp.	0.02-0.25	8-10
Staphylococcus aureus	0.2-2.0	8-12
Staphylococcus pyogenes	0.2-2.0	8-12
Clostridium botulinum (Type E spore)	0.1-3.0	9-16
จุลินทรีย์ซึ่งก่อให้อาหารเน่าเสีย (spoilage microorganism)		
แบคทีเรียซึ่งไม่สร้างสปอร์ ยีสต์และเชื้อรา	0.5-3.0	8-12

ที่มา: ไพโรจน์ (2546)

3. ค่า F (thermal death time) คือ ระยะเวลาหน่วยเป็นนาทีที่อุณหภูมิหนึ่งซึ่งใช้เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทราบจำนวนแน่นอนในอาหารภายใต้สภาวะที่กำหนด การใช้ค่า F จำเป็นต้องบอกระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อน และบอกค่า Z ของจุลินทรีย์ที่เป็นเป้าหมาย เขียนสัญญลักษณ์เป็น F_T^Z โดยคำนวณได้จากสูตร เพื่อหาเวลาที่ต้องการลดจำนวนสปอร์เริ่มต้นลงมาถึงจำนวนที่ต้องการหลังจากผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิคงที่อุณหภูมิหนึ่ง ดังนี้

$$F = D (\text{Log } N_0 - \text{Log } N_f)$$

เมื่อ D คือ เวลาเป็นนาทีที่อุณหภูมิคงที่ สามารถฆ่าได้ร้อยละ 90 ของจุลินทรีย์ที่มีอยู่

F คือ เวลาในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิหนึ่ง (นาที)

N_0 คือ จำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น

N_f คือ จำนวนจุลินทรีย์ที่เหลือรอดสุดท้ายหลังจากได้รับความร้อน

โดยค่า Z และค่า F นี้อาจเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนประชากร การทนความร้อนของจุลินทรีย์ และชนิดของอาหารที่ใช้ในขณะให้ความร้อน ในกรณีที่ต้องการเปรียบเทียบกระบวนการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน อาจแสดงค่า F ที่อุณหภูมิอื่นนอกเหนือไปจาก 250 องศาฟาเรนไฮต์ ค่านี้สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{Lethal Rate} = 10^{(T - Tref)/Z}$$

เมื่อ Z คือ อุณหภูมิที่ทำให้ค่า D เปลี่ยนแปลงไป 1 วงจรลอการิทึม

T คือ อุณหภูมิที่จุดที่ร้อนช้าที่สุดในภาชนะ

T_{ref} คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอ้างอิง

อัตราการทำลาย (lethal rate) เป็นการแสดงความทนทานต่อความร้อนสูงของแบคทีเรียนั้น สามารถแสดงโดยเส้นกราฟของการทำลายด้วยความร้อน ซึ่งเป็นเวลาที่ต้องใช้ในการทำลายสปอร์ของแบคทีเรียได้สูงที่สุดที่อุณหภูมิหนึ่งๆ จากกราฟของเวลาและอุณหภูมินี้จะให้ค่าอัตราการทำลายของแต่ละอุณหภูมิบนเส้นกราฟที่ให้ความร้อน หรือทำให้เย็นลงของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในแต่ละจุดบนกราฟของการให้ความร้อนหรือกราฟการทำให้เย็นในระหว่างการฆ่าเชื้อจะเป็นตัวแทนแสดงค่าของเวลา อุณหภูมิ และอัตราการทำลาย (ไพบูลย์, 2532)

ค่าอัตราการทำลายมีความสำคัญโดยเฉพาะเมื่อต้องการหาประสิทธิภาพในการฆ่า (lethal effect) ของช่วงอุณหภูมิที่กำลังให้ความร้อนแต่ยังไม่ถึงอุณหภูมิที่ต้องการ (come-up portion) และช่วงที่กำลังทำให้เย็น (cool-down portion) (ทิพาพร, 2546) ดังตัวอย่างในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตัวอย่างข้อมูลการคำนวณหาอัตราการทำลาย (T_{ref} = 140^{0}C และ Z =11^{0}C)

เวลา (วินาที)	อุณหภูมิ ณ จุดกึ่งกลาง (^{0}C)	อัตราการตาย (วินาที)
0.8	107	0.001
1.8	114.8	0.005
2.8	122.4	0.025
3.8	128.7	0.094
4.8	132.9	0.226
5.8	136.25	0.456
6.8	138.3	0.701
7.8	139.4	0.882
8.8	140	1.000
9.8	140	1.000
10.8	140	1.000
11.8	140	1.000
12.8	129.2	0.104
13.8	117.25	0.008
14.8	111	0.002
15.8	108	0.001
		6.505

ที่มา: Singh และ Heldman (1993)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 บรรจุภัณฑ์

2.3.1 ความหมายและประเภทของบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ หมายถึง ภาชนะหรือโครงสร้างใดๆ ที่ใช้เพื่อบรรจุ ห่อหุ้มและรวบรวมผลิตภัณฑ์ให้เป็นหน่วย เพื่อนำผลิตภัณฑ์ถึงผู้บริโภคในสภาพที่สมบูรณ์ นอกจากนี้ยังรวมถึงฉลากและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการมัดหรือปิดภาชนะบรรจุด้วย (ขวัญใจ, 2541)

ในการเลือกบรรจุภัณฑ์อาหาร ผู้ประกอบการจะต้องพิจารณาถึงสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

ประเภทของอาหาร

การปรับปรุงและพัฒนาอาหาร

บรรจุภัณฑ์อาหาร

1. ประเภทของอาหาร สามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทดังต่อไปนี้

1.1 ชนิดของแห้ง เช่น เส้นหมี่อบแห้ง เห็ดหอมแห้ง

1.2 ชนิดของเหลว เช่น น้ำผลไม้ต่างๆ เครื่องดื่มชนิดต่างๆ

1.3 ชนิดความเข้มข้น เช่น เครื่องแกง กะปิ น้ำตาลมะพร้าว

1.4 ชนิดเป็นเมล็ด เช่น ข้าวสาร น้ำตาลทราย เมล็ดถั่วต่างๆ

2. การปรับปรุงและพัฒนาอาหาร

การปรับปรุงและพัฒนาอาหารมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาคุณภาพ คุณค่า และยืดอายุอาหารให้ยาวนานขึ้น โดยการควบคุมเชื้อแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อราไม่ให้เจริญเติบโต หรือเติบโตในอัตราที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ การยืดอายุอาหารนี้สามารถทำได้ในกระบวนการก่อนการบรรจุอาหารลงในบรรจุภัณฑ์ เช่น การตากแห้ง การต้มโดยใช้ความร้อน และการทำพาสเจอไรซ์ เป็นต้น

3. บรรจุภัณฑ์อาหาร

บรรจุภัณฑ์ได้จากการแปรรูปวัสดุต่างๆ เช่น การแปรรูปเยื่อไม้ไปเป็นกระดาษ จากทรายหรือซิลิกอนออกไซด์ไปเป็นแก้ว จากเหล็กเป็นกระป๋องโลหะ และจากผลผลิตของการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมไปเป็นพลาสติก บรรจุภัณฑ์แบ่งออกได้เป็นระบบปิดและระบบเปิด บรรจุภัณฑ์ระบบเปิดอนุญาตให้อากาศและความชื้นผ่านเข้าออกได้ แต่ระบบปิดจะป้องกันการผ่านเข้าออกของสารดังกล่าวระบบปิดจึงสามารถเก็บผลิตภัณฑ์อาหารได้ยาวนานกว่าระบบเปิด การศึกษาเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์นั้นเป็นทั้งศาสตร์และศิลป์ โดยที่เป็นศาสตร์ หมายถึง การศึกษาและพัฒนาวัสดุที่ใช้การบรรจุภัณฑ์ ส่วนที่เรียกว่าศิลป์นั้นหมายถึงรูปลักษณะของบรรจุภัณฑ์ สีสันและความสวยงามของฉลาก

2.3.2 หน้าที่ของบรรจุภัณฑ์

1. บรรจุภัณฑ์จะมีส่วนช่วยถนอม ยืดอายุ และช่วยป้องกันคุ้มครองผลิตภัณฑ์อาหาร โดยการป้องกันหรือลดการซึมผ่านของไอน้ำ อากาศ กลิ่น ความร้อน จากภายนอกไม่ให้เข้าไปปะปนกับผลิตภัณฑ์อาหาร และยังทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อาหารไหลซึมผ่านออกสู่ภายนอกบรรจุภัณฑ์อีกด้วย

2. บรรจุภัณฑ์ช่วยลดการกระแทก การแตกหัก บุบสลายของผลิตภัณฑ์อาหารตลอดจนช่วยให้การขนส่งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

3. ให้ข้อมูลทางโภชนาการแก่ผู้บริโภค เช่น ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์อาหาร แหล่งผลิต ปริมาณการบรรจุ วัน เดือน ปี ที่ผลิตและวันหมดอายุ วิธีการบริโภคหรือการใช้

4. ดึงดูดให้ผู้บริโภคซื้อสินค้า ทำได้จากการออกแบบรูปลักษณ์ภายนอกของบรรจุภัณฑ์ ตลอดจนการบรรจุหีบห่อที่สวยงาม สะอาด ถูกหลักอนามัย น่าสัมผัส น่าซื้อ น่ารับประทาน

5. บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม ก่อให้เกิดความสะดวก และประหยัดเวลา ยกตัวอย่าง เช่น อาหารบางประเภทถูกออกแบบบรรจุภัณฑ์เพื่อให้สามารถใช้ได้กับตู้ไมโครเวฟ ซึ่งจะใช้เวลาน้อยกว่าการปรุงอาหารโดยใช้เตาหุงต้มแบบธรรมดา บรรจุภัณฑ์ทำให้เกิดความง่าย สะดวกและประหยัดในการขนส่ง เช่น การนำเอากล่องกระดาษลูกฟูกมาใช้ในการขนส่งสินค้า (สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, 2547)

2.3.3 ประเภทของภาชนะบรรจุ

ประเภทของภาชนะบรรจุแยกตามวัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตได้ 4 ประเภท คือ

1. เยื่อ และกระดาษ นับได้ว่าเป็นภาชนะบรรจุที่ใช้มากที่สุด และมีแนวโน้มใช้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากการรีไซเคิลได้ง่าย กระดาษที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีหลายประเภท และสามารถพิมพ์ตกแต่งได้ง่ายและสวยงาม นอกจากนี้ยังสะดวกต่อการขนส่งจากผู้ผลิตไปยังผู้ใช้เนื่องจากสามารถพับได้ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

2. พลาสติก เป็นวัสดุที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงมาก คุณประโยชน์ของพลาสติกคือ มีน้ำหนักเบา ป้องกันการซึมผ่านของอากาศและก๊าซได้ระดับหนึ่ง สามารถต่อต้านการทำลายของแบคทีเรีย และเชื้อรา มีคุณสมบัติหลายอย่างที่สามารถเลือกใช้ในงานที่เหมาะสม พลาสติกบางชนิดยังเป็นฉนวนกันความร้อนอีกด้วย พลาสติกสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ได้ 2 แบบด้วยกันคือ ฟิล์มพลาสติก และภาชนะพลาสติก

ฟิล์มพลาสติก ทำมาจากฟิล์มชั้นเดียวหรือหลายชั้นก็ได้ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งานเช่น

- ใช้ห่อสินค้า เช่น ลูกกวาด ท๊อฟฟี่ ขนมปัง
- ฟิล์มหด จากการใช้ความร้อน เช่นการทำฉลากสินค้า ฟิล์มที่ใช้ คือ โพลีไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride, PVC), โพลีเอทิลีน (polyethylene) เพราะมีคุณสมบัติในการติดผนึกและหดตัวได้ดีเมื่อถูกความร้อน
- ฟิล์มยืด เป็นฟิล์มที่ยืดได้เล็กน้อยเมื่อถูกดึงให้ยืดออก ใช้ในการรัดกล่องกระดาษลูกฟูกหรือสิ่งของที่วางอยู่บนแผ่นไม้หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการขนส่ง (pallet) ให้ยึดติดกันแน่นไม่ให้หล่นในระหว่างการขนส่ง ฟิล์มที่ใช้คือ โพลีสไตรีน (polystyrene, PS)
- ฟิล์มหลายชั้น ได้จากการนำฟิล์มชั้นเดียวมาติดกันโดยใช้ความร้อน (lamination) และสามารถขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์รูปแบบต่างๆ เช่น ถุงกาแฟ ขนมขบเคี้ยวต่างๆ
- ฟิล์มหลายชั้น ยังสามารถทำได้จากการเป่าฟิล์มมากกว่าหนึ่งชนิดพร้อมๆ กัน (co-extrusion) ทำให้สามารถเพิ่มคุณค่า คุณสมบัติทางกายภาพ การทนความร้อน และการป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและอากาศได้ดียิ่งขึ้น (สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, 2547)

จากเอกสารบรรจุภัณฑ์กับการใช้งานที่ได้รับจากบริษัทเขาช่องได้ระบุไว้ว่า ภาชนะพลาสติก ที่นิยมใช้ในการบรรจุอาหาร ได้แก่ โพลีเอทิลีน (polyethylene) โพลีโพรพิลีน (polypropylene, PP) โพลีไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride, PVC) และโพลีสไตรีน (polystyrene, PS) ในที่นี้จะขอกล่าวถึงโพลีโพรพิลีน และโพลีสไตรีนเท่านั้นเนื่องจากใช้เฉพาะบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิดนี้ในการวิจัย

- บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ทำจากโพลีสไตรีน (PS) โดยพื้นฐานแล้วแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่ทนการกระแทกสูง (high impact polystyrene, HIPS) จะขุ่นเหนียว และชนิดทั่วไป (general purpose polystyrene, GPPS) จะใสแต่เปราะ ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ โดยทั่วไป ได้แก่ สามารถขึ้นรูปเป็นรูปทรงต่างๆ ได้ดี ทนทานต่อความร้อนและความเย็นได้ประมาณ –20 ถึง 80 องศาเซลเซียส สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้ดี ไม่ทนทานต่อน้ำมัน และกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้ไม่ดี

บรรจุภัณฑ์ที่ทำจากโพลีสไตรีน สามารถขึ้นรูปเป็นถาดบรรจุผัก ผลไม้ ขนมและอาหารแห้ง ซึ่งไม่ต้องการระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานนัก รวมถึงถ้วยใสซึ่งทำจาก GPPS ซึ่งเหมาะสำหรับใส่เครื่องดื่มที่แสดงออกถึงสีสันของเครื่องดื่มที่อยู่ภายใน คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ทำจากโพลีสไตรีนแสดงดังตารางที่ 7

บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ทำจากโพลีโพรพิลีน (PP) มีคุณสมบัติโดยทั่วไป ดังนี้ ทนต่อน้ำมัน ทนความร้อนและความเย็นได้ดี ประมาณ –30 ถึง 110 องศาเซลเซียส สามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้ดี ป้องกันความชื้นได้ดี แต่ไม่ป้องกันออกซิเจน ขุ่น และมีความคงตัวต่ำ สามารถนำเข้าไปใช้งานในเตาไมโครเวฟรวมถึงบรรจุอาหาร และผ่านกรรมวิธีฆ่าเชื้อแบบสเตอริไรซ์ได้ นอกจากนี้ยังเหมาะสมที่จะใช้บรรจุอาหาร หรือขนมที่มีน้ำมันได้โดยไม่เกิดการอ่อนตัวเหมือนโพลีสไตรีน คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ทำจากโพลีโพรพิลีน แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 คุณสมบัติของพลาสติกแต่ละประเภท

ชนิดของพลาสติก	ความหนาแน่น (kg/m^3)	การดูดซึมน้ำ (24 h) (%)	อัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (38^0C, 90% RH) (g/25 μm per m^2d)	อัตราการแพร่ผ่านของออกซิเจน (25^0C, 50% RH) (cm^3/25 μm per m^2d)	ความโปร่งแสง
โพลีโพรพิลีน	900-910	0.01-0.03	11	2400-3800	ต่ำ
โพลีสไตรีน	1030-1070	0.05-0.07	120	2700	ดี
โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง	945-965	0.01	4.7	2100-2900	ดี
โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ	900-930	0.01	16-24	7100-7800	ดี

ที่มา: Paine และ Paine (1992)

3. แก้ว นับเป็นภาชนะบรรจุที่มีความเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยากับสารเคมีชีวภาพต่างๆ เมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ และรักษาคุณภาพสินค้าได้ดีมาก ข้อดีของแก้วคือ มีความใสและทำเป็นสีต่างๆ ได้ สามารถทนต่อแรงกดได้สูงแต่เปราะแตกง่าย ในด้านสิ่งแวดล้อมแก้วสามารถนำกลับมาใช้ได้หลายครั้ง และสามารถหมุนเวียนนำกลับมาหลอมใช้ใหม่ได้ สิ่งที่พึงระวังในเรื่องการบรรจุ คือ ฝาขวดแก้วจะต้องเลือกใช้ฝาที่ได้ขนาด และต้องสามารถปิดได้สนิทแน่น เพื่อช่วยรักษาคุณภาพและยืดอายุของสินค้า

4. โลหะ ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร วัสดุที่ใช้มี 2 ชนิด คือ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. เหล็กเคลือบดีบุก เป็นภาชนะบรรจุที่แข็งแรงป้องกันอันตรายจากสิ่งแวดล้อม และสภาวะอากาศ การลงทุนในการผลิตไม่สูงนักและไม่สลับซับซ้อน สามารถใช้บรรจุอาหารได้ดี เนื่องจากสามารถปิดผนึกได้สนิทและฆ่าเชื้อได้ด้วยความร้อน

2. เมทัลไลซ์ มีน้ำหนักเบา อีกทั้งมีความแข็งแรงทนต่อการซึมผ่านของอากาศ ก๊าซ แสง และกลิ่นรสได้ดี มักใช้เคลือบกับวัสดุอื่นซึ่งให้ภาพลักษณ์ที่ดีเนื่องจากความเงาวับของเมทัลไลซ์และเป็นตัวเหนี่ยวนำความเย็นได้ดี

แผ่นฟิล์มเมทัลไลซ์คือเมทัลไลซ์ที่รีดให้เป็นแผ่นบางๆ (กัลยา, 2536) ในการใช้งานปิดปากภาชนะจะประกบกับพลาสติก เช่น โพลีเอทีลีน (PE) จนสนิทเป็นเนื้อเดียวกัน โดยเมทัลไลซ์จะทำหน้าที่เป็นวัสดุป้องกันไอน้ำและอากาศ ส่วนพลาสติกจะเป็นวัสดุในการปิดผนึก เพราะจะละลายติดกับปากภาชนะพลาสติกเมื่อถูกความร้อน ชนิดของแผ่นเมทัลไลซ์ปิดปากภาชนะ มี 2 ชนิด คือ

1. อย่างหนา เป็นเมทัลไลซ์ที่มีความหนา ขนาด 60 ไมครอน ประกบกับพลาสติกโพลีเอทิลีน (PE) หนา 90 ไมครอน

2. อย่างบาง เป็นเมทัลไลซ์ที่มีความหนา 30 ไมครอน ประกบกับพลาสติกโพลีเอทิลีน (PE) หนา 100 ไมครอน ชนิดนี้ปิดผนึกได้ดี (นวรัตน์, 2541)

2.3.4 การเลือกบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม

เป็นการใช้ความรู้จากวิทยาการที่รวมเทคโนโลยี 2 สาขาเข้าด้วยกัน คือ เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์

1. เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ ประกอบไปด้วย กระบวนการผลิต กระบวนการบรรจุ และกระบวนการเก็บรักษา

- กระบวนการผลิต ได้แก่ การตากแห้งซึ่งเป็นพื้นฐานของการถนอมอาหาร การใช้ความเย็นเพื่อชะลอการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราบางชนิด การใช้ความร้อนเพื่อเป็นการฆ่าเชื้อ

- กระบวนการบรรจุ ได้แก่ การบรรจุแบบปลอดเชื้อ การปรับสภาวะภายในภาชนะที่ใช้บรรจุ เช่น การลดพื้นที่ว่างในภาชนะ (head space) การทำให้เกิดสุญญากาศภายในภาชนะบรรจุ และการอัดแก๊สเฉื่อย (O_2, CO_2, N_2) ลงในภาชนะ หรือเรียกว่าบรรจุภัณฑ์ปรับสภาวะอากาศ (modified atmosphere packaging, MAP) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีกระบวนการบรรจุที่สำคัญอีก 2 อย่างคือ การควบคุมและเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของแก๊สและอุณหภูมิภายใน (controlled atmosphere packaging, CAP) หรือการใส่สารเคมีลงในซองพลาสติกเล็กๆ แล้วใส่ลงไปร่วมกับ

ผลิตภัณฑ์ (active atmosphere packaging, AAP) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการดูดออกซิเจนและความชื้นภายในบรรจุภัณฑ์

- กระบวนการเก็บรักษา ได้แก่ การเก็บในห้องเย็นแช่แข็ง การเก็บในตู้เย็น และการเก็บที่อุณหภูมิปกติ

2. เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ที่ดีไม่ควรให้ความสำคัญแต่ในเรื่องของความสวยงาม รูปลักษณ์ และฉลากที่สร้างความประทับใจต่อผู้บริโภคเพียงอย่างเดียว ควรมองและมีความเข้าใจในภาพรวมของบรรจุภัณฑ์โดยให้ความสำคัญของบรรจุภัณฑ์ในการจะช่วยทำหน้าที่รักษาคุณภาพ และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ให้ยืนนานที่สุดเท่าที่จะทำได้

- การป้องกันเชิงรับ หมายถึง บรรจุภัณฑ์ที่สามารถทำหน้าที่ในการป้องกันการรั่วซึมผ่านของผลิตภัณฑ์ ความชื้น อากาศ แสง ความร้อน และความเย็น

- การป้องกันเชิงรุก หมายถึง การนำเอาความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีมาใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่มีความสลับซับซ้อน และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เช่น บรรจุภัณฑ์ปลอดเชื้อ บรรจุภัณฑ์ปรับสภาวะอากาศ และบรรจุภัณฑ์พิเศษ เป็นต้น

- การประเมินอายุอาหาร หมายถึง การประมาณหรือคำนวณระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์อาหารสามารถเก็บอยู่ในบรรจุภัณฑ์โดยที่คุณภาพและคุณลักษณะของอาหารยังเหมือนเดิม หรืออยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับได้ การคำนวณอายุอาหารจะต้องอาศัยข้อมูลจากตัวอาหารเอง คุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ และสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาอาหารนั้น การทราบข้อมูลต่างๆ ทำให้สามารถทำนายอายุอาหารได้อย่างคร่าวๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมาก เพราะจะทำให้สามารถเลือกบรรจุภัณฑ์ได้อย่างถูกต้องสอดคล้องกับอายุอาหารที่ต้องการ (สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, 2547)

2.3.5 การป้องกันการปนเปื้อนและการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์บนวัสดุบรรจุภัณฑ์

เนื่องจากวัสดุบรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติกจะมีการปนเปื้อนอันเนื่องมาจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต ฉะนั้นจึงมีวิธีการป้องกันการปนเปื้อนและวิธีการฆ่าเชื้อดังต่อไปนี้

1. การป้องกันการปนเปื้อน

ในการป้องกันการปนเปื้อนจำเป็นต้องให้กระบวนการผลิตวัสดุบรรจุภัณฑ์อยู่ในห้องสะอาด (clean room) และต้องเก็บรักษาวัสดุบรรจุภัณฑ์ในสถานที่เก็บซึ่งไม่มีฝุ่นละอองและมีการจัดการอย่างถูกสุขลักษณะ การเพิ่มความชื้นเพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตก็สามารถทำได้ แต่อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เชื้อราในห้องเจริญเติบโตได้ดี จึงต้องระวังเรื่องวิธีการและสภาวะการ

จัดเก็บให้เหมาะสม รวมทั้งต้องมีการจัดการสภาพแวดล้อมในขั้นตอนการบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารให้ถูกสุขลักษณะด้วยเพื่อป้องกันการปนเปื้อน

2. การฆ่าเชื้อบนวัสดุบรรจุภัณฑ์

โดยปกติวิธีการฆ่าเชื้อบนวัสดุบรรจุภัณฑ์ในรูปแบบที่เป็นแผ่น และแบบถาดจะใช้สารฆ่าเชื้อหรือรังสีอัลตราไวโอเลต

1. วิธีการฆ่าเชื้อด้วยสารฆ่าเชื้อ สารฆ่าเชื้อที่รู้จักกันโดยทั่วไป คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารฆ่าเชื้อกลุ่มคลอไรด์ แอลกอฮอล์ สารประกอบไอโอดีน เป็นต้น แต่เมื่อพิจารณาความสามารถในการฆ่าเชื้อ ความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยแล้ว มักนิยมใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การฆ่าเชื้อวัสดุบรรจุภัณฑ์โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้นไม่ใช่พิจารณาเพียงแค่ความเข้มข้นและอุณหภูมิเท่านั้น ต้องพิจารณาวิธีการด้วย เช่น วิธีการทา (ทาพื้นผิวด้วยลูกกลิ้ง) วิธีการจุ่มแช่ (จุ่มแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์) วิธีการสเปรย์พ่น หลังจากฆ่าเชื้อแล้วจะต้องไล่หรือกำจัดไล่หรือกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยการใช้ลมร้อน (hot air) หรือวิธีการอื่นๆ เป็นต้น

2. วิธีการฆ่าเชื้อด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต ในการฆ่าเชื้อบนวัสดุบรรจุภัณฑ์ด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตนั้นมักจะใช้อุปกรณ์ผลิตรังสีอัลตราไวโอเลตแรงสูงฆ่าเชื้อบนวัสดุบรรจุภัณฑ์แบบ แผ่นฟิล์มก่อนขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์แบบถ้วย (สุวิมล, 2546)

2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการพาสเจอไรซ์

2.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการพาสเจอไรซ์อาหารที่ผ่านการบรรจุแล้ว

การพาสเจอไรซ์อาหารเหลวบางชนิด เช่น เบียร์ และน้ำผลไม้ เป็นการพาสเจอไรซ์หลังการบรรจุอาหารลงภาชนะแล้ว สำหรับอาหารที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์พลาสติกจะใช้บรรจุภัณฑ์ประเภทพลาสติกจะใช้ส่วนผสมของไอน้ำและอากาศ หรือน้ำร้อนเพราะมีความเสี่ยงต่อการแตกร้าวต่ำ อาหารจะถูกทำให้เย็นลงไปยัง 40 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยน้ำบนผิวบรรจุภัณฑ์ กระบวนการพาสเจอไรซ์อาหารหลังการบรรจุมีทั้งแบบกะและแบบต่อเนื่อง เครื่องมือที่ง่ายที่สุดประกอบด้วยอ่างน้ำร้อนซึ่งจะให้ความร้อนแก่อาหารที่บรรจุภาชนะแล้ว และวางในเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาที่กำหนด หลังจากนั้นจะมีการปล่อยน้ำเย็นเข้าไปเพื่อทำให้อาหารเย็นลง สำหรับในระบบต่อเนื่องจะมีสายพานลำเลียงอาหารที่บรรจุแล้วเข้าไปในหน่วยให้ความร้อนและหน่วยทำให้เย็นลง (วิไล, 2545) ระบบพาสเจอไรซ์อื่นๆ อาจจะประกอบด้วยอุโมงค์ที่แบ่งหน่วยให้ความร้อนเป็นหลายหน่วย มีการพ่นละอองน้ำซึ่งละเอียดมากเพื่อให้ความร้อนแก่

อาหารในบรรจุภัณฑ์บนสายพานที่ผ่านเข้ามาในแต่ละหน่วย อุณหภูมิของอาหารจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการพาสเจอไรซ์อย่างสมบูรณ์ ในส่วนการทำให้เย็นจะมีละอองน้ำฉีดลงมาด้วยเช่นกัน การหมุนเวียนน้ำทำได้โดยใช้น้ำในส่วนของการให้ความร้อนเบื้องต้น (pre-heating) ซึ่งจะเย็นลงโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอาหารที่ผ่านเข้ามาและในส่วนการทำให้เย็นซึ่งจะร้อนขึ้นด้วยการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอาหารที่มีอุณหภูมิสูงหลังได้รับความร้อน (Anon, 1981)

ภาพที่ 3 เครื่องพาสเจอไรซ์แบบอุโมงค์
ที่มา : รุ่งนภา (2535) อ้างจาก APV (1988)

ข้อดีของการใช้อุโมงค์ไอน้ำในการพาสเจอไรซ์ (steam tunnel) เทียบกับเครื่องพาสเจอไรซ์ที่มีขนาดเล็กคือ การให้ความร้อนที่เร็วกว่าและใช้เวลาในการให้ความร้อนแก่อาหารสั้นกว่า อุณหภูมิในหน่วยให้ความร้อนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น โดยการลดปริมาณของอากาศในส่วนผสมของไอน้ำและอากาศ การทำให้เย็นทำได้โดยการฉีดละอองน้ำหรือโดยการแช่ผลิตภัณฑ์ลงในอ่างน้ำเย็น (วิไล, 2545)

2.4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการพาสเจอไรซ์อาหารเหลวก่อนการบรรจุ

การพาสเจอไรซ์อาหารเหลวบางชนิดในปริมาณไม่มากนัก อาจใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดปาดผิว หรือใช้หม้อต้มเปิดในการต้มก็ได้ อย่างไรก็ตามการพาสเจอไรซ์ของเหลวที่มีความหนืดต่ำก่อนการบรรจุในปริมาณมาก เช่น นม น้ำผลไม้ เบียร์ และไวน์ นิยมใช้เครื่องที่ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง เช่น การใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น สำหรับน้ำผลไม้ ไวน์ และผลิตภัณฑ์บางชนิดจำเป็นต้องมีขั้นตอนการกำจัดอากาศออกเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในระหว่างการเก็บรักษา อาหารเหลวเหล่านี้จะถูกฉีดพ่นเข้าไปในภาชนะสุญญากาศ และมีการกำจัดอากาศออกไปด้วยปั๊มสุญญากาศก่อนการพาสเจอไรซ์

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดขูดผิว (scraped-surface heat exchanger)

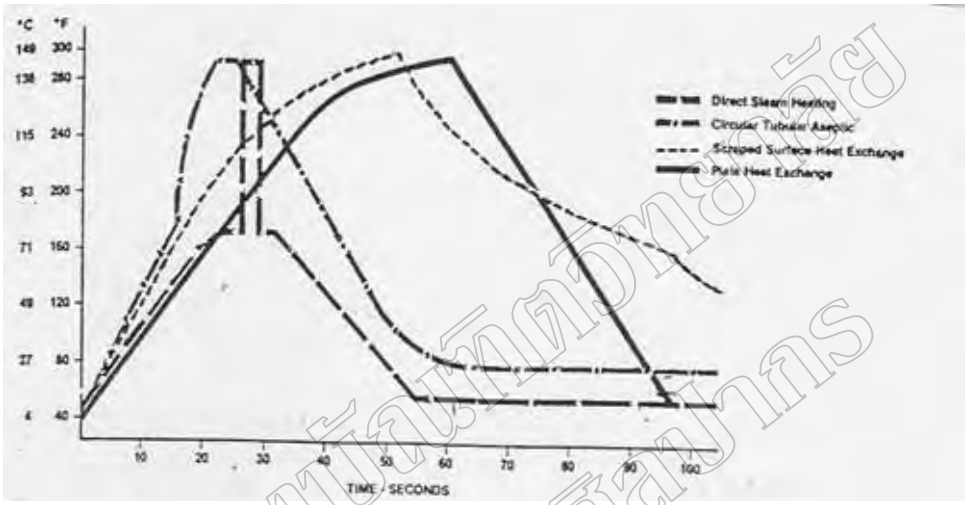
ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ความร้อนที่เกิดขึ้นในท่อมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ความต้านทานที่เกิดขึ้นนี้สามารถลดลงได้น้อยที่สุด ถ้าผิวในท่อถูกขูดออกไปอย่างต่อเนื่อง การขูดจะทำให้ถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น (รุ่งนภา, 2535) ข้อดีที่สำคัญของเครื่องนี้ คือ เหมาะที่จะใช้กับอาหารข้นหนืด และอาหารที่มีขนาดชิ้นเล็กกว่า 1 เซนติเมตร และสามารถปรับเปลี่ยนการใช้กับอาหารได้หลายชนิดโดยการเปลี่ยนรูปทรงเลขาคณิตของโรเตอร์ อย่างไรก็ตามต้องใช้เงินลงทุนสูงมากสำหรับเครื่อง และไม่สามารถนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ได้ นิยมใช้เครื่องนี้ในการเตรียมซอสผลไม้ (วิไล, 2545)

2. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (plate heat exchanger)

ประกอบด้วยแผ่นเหล็กแสตนเลสบางๆ หลายแผ่นวางประกบและยึดติดกันด้วยกรอบโลหะ การประกบเรียงเช่นนี้จะทำให้เกิดช่องขนานกันระหว่างแผ่นอาหารเหลวและตัวกลางถ่ายเทความร้อน เช่น น้ำร้อนหรือไอน้ำ ซึ่งจะถูกปั๊มผ่านช่องเหล่านี้สลับกัน โดยส่วนใหญ่จะไหลในลักษณะสวนทางกัน (counter-current flow) แผ่นโลหะทั้งหมดจะถูกปิดแน่นด้วยยางสังเคราะห์เพื่อป้องกันการผสมกันระหว่างผลิตภัณฑ์และตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนและการทำให้เย็น มีข้อจำกัด คือ ความเร็วในการไหลต่ำทำให้การให้ความร้อนไม่สม่ำเสมอ และเกิดของแข็งตกค้างทำให้ต้องทำความสะอาดบ่อย สามารถใช้กับอาหารเหลวที่มีความหนืดต่ำเท่านั้น แต่มีข้อดี คือ ราคาค่อนข้างถูก ใช้พื้นที่และน้ำน้อย มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง (นำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ได้มากกว่าร้อยละ 90) ปรับอัตราการผลิตได้โดยการเพิ่มหรือลดจำนวนแผ่นถ่ายเมความร้อน และตรวจเช็คเครื่องได้ง่ายเพียงถอดแผ่นโลหะออกมา (วิไล, 2545) แสดงดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 การพาสเจอไรซ์โดยการใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น
ที่มา: รุ่งนภา (2535) อ้างจาก APV (1988)

การเลือกใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใดนั้น จะขึ้นกับชนิดของอาหาร ซึ่งรุ่งนภา (2535) ได้เปรียบเทียบความแตกต่างของการให้ความร้อน และการทำให้เย็นลงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 4 ชนิด ได้แก่ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดมีใบขูดผิว และการใส่ไอน้ำเข้าไปโดยตรง ดังในภาพที่ 5 จะแสดงกราฟเวลาและอุณหภูมิที่ใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 4 ชนิดนี้



ภาพที่ 5 กราฟเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ฆ่าเชื้อด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดต่างๆ
ที่มา: รุ่งนภา (2535) อ้างจาก APV (1988)

ในความเป็นจริงแล้วกราฟเวลาและอุณหภูมิของอาหารแต่ละชนิดในแต่ละระบบจะมีลักษณะเฉพาะตัว อย่างไรก็ตาม จากภาพที่ 5 สามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ระบบในการฆ่าเชื้อภายนอกภาชนะบรรจุให้เหมาะสมได้เช่น ในระบบการให้ไอน้ำโดยตรง (direct steam infusion) แบบท่อ (tubular) นั้น จะใช้เวลาในการฆ่าเชื้อน้อยที่สุด ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ นม หรือไอศกรีมซึ่งเมื่อได้รับความร้อนสูงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสได้ (รุ่งนภา, 2535)

2.4.3 กระบวนการแปรรูปแบบกะและแบบต่อเนื่อง

การแปรรูปอาหารทำได้ทั้งแบบกะ และแบบต่อเนื่อง การเลือกกระบวนการต่างกันจะมีผลต่อการออกแบบเครื่องมือ โดยทั่วไปข้อดีของการแปรรูปแบบกะเมื่อเทียบกับแบบต่อเนื่องคือ

1. มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์หลายชนิดหรือเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตได้

2. ใช้เงินลงทุนสำหรับเครื่องจักเครื่องมือต่ำกว่า

3. การทำงานและการควบคุมง่ายกว่า

ข้อเสียที่สำคัญ คือ

1. ใช้แรงสูงกว่า

2. ใช้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสำหรับพลังงานและน้ำสูง ประสิทธิภาพในการใช้วัตถุดิบและพลังงานต่ำกว่า

3. ใช้พื้นที่มากกว่า

4. ผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอกันน้อยกว่า

ข้อดีของการผลิตแบบต่อเนื่องคือ สามารถประหยัดพลังงาน พื้นที่ และแรงงานได้มากกว่า ทำให้ได้ผลกำไรกลับคืนมาเร็ว ให้อัตราการผลิตสูง สามารถควบคุมกระบวนการได้ง่ายกว่าทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและความสม่ำเสมอดีกว่า นิยมใช้การผลิตต่อเนื่องเมื่อต้องการการผลิตผลิตภัณฑ์ในปริมาณสูง ในทางกลับกันการผลิตแบบต่อเนื่องจะมีความยืดหยุ่นในการใช้งานต่ำกว่าแบบกะ แม้ว่าการพัฒนาการควบคุมแบบอัตโนมัติจะช่วยปรับปรุงความเร็วและทำให้สามารถเปลี่ยนผลิตภัณฑ์หรืออัตราการผลิตได้ง่ายขึ้น เงินลงทุนสำหรับการผลิตแบบต่อเนื่องจะแพงกว่าแบบกะ

นิยมใช้การแปรรูปแบบกะในกรณีที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีสูตรต่างกันในแต่ละวันหรือแต่ละอาทิตย์และการผลิตปริมาณน้อยหรือเมื่อมีการผลิตเป็นช่วงๆ เท่านั้นทำให้ไม่คุ้มค่าในการลงทุนเครื่องมือที่ใช้ระบบต่อเนื่อง (วิไล, 2545)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์