

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลิตภัณฑ์ลูกกวาด (Confectionery products)

ผลิตภัณฑ์ลูกกวาดได้เริ่มมีมาตั้งแต่เมื่อสองพันปีก่อนคริสตศักราช ชาวชาติอียิปต์เป็นชาติแรกที่มีศิลปะในการทำผลิตภัณฑ์และประดิษฐ์เครื่องมือขึ้นมาใช้ ซึ่งผลิตภัณฑ์ชนิดแรกที่ผลิตขึ้นมาเรียกว่า sweetmeats ทำจากการนำผลไม้ น้ำ สมุนไพรรสหวาน และเครื่องเทศ มาผสมกับน้ำผึ้ง ต่อมาชนชาติกรีกได้นำแป้งเปียกมาช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงรูปมากขึ้น สิ่งที่ทำให้รสหวานในสมัยแรกนั้นจะเป็นน้ำผึ้ง เนื่องจากยังไม่มีการผลิตน้ำตาลทราย และส่วนประกอบในการทำผลิตภัณฑ์เหล่านี้ก็มีไม่มาก จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ในสมัยนั้นยังไม่มีหลากหลาย ต่างจากในสภาพปัจจุบันที่พบว่าอุตสาหกรรมลูกกวาดมีขนาดใหญ่เป็นอันดับ 9 ของอุตสาหกรรมอาหารทั้งหมด เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะซ่อนอยู่มากมาย และเป็นกลุ่มของผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบแตกต่างกันมากที่สุด ผลิตภัณฑ์ลูกกวาดสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ (สายสนมและสิริ, 2539)

1. Sugar Confectionary เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำตาลเป็นส่วนใหญ่ รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่เคลือบด้วยน้ำตาล เช่น high boiled sweet, toffee, fudge, fondant และ jellies เป็นต้น
2. Chocolate Confectionary เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากช็อกโกแลตทั้งในรูปแบบแท่งหรือแผ่น และรวมถึงพวกที่เคลือบผิวด้วยช็อกโกแลต
3. Flour Confectionary เป็นผลิตภัณฑ์ที่อาจจัดอยู่ในพวกขนมอบ ส่วนใหญ่จะเป็นขนมเค้กชนิดพิเศษ หรืออยู่ในรูปแบบที่แปลกออกไป และอาจรวมถึงบิสกิตด้วย

ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้น ลูกกวาดจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำตาล มีลักษณะแข็ง เมื่อเคี้ยวจะแตก ผลิตโดยละลายน้ำตาล กูโคสไซรัปหรือเบะแซ และน้ำเข้าด้วยกัน นำมาเคี่ยวจนได้ที่ นวดผสม ริด อัดเป็นเม็ด แล้วทำให้เย็นลง ในระหว่างกรรมวิธีอาจเติมส่วนผสมอื่นๆ อีกก็ได้ (มอก. 696-2530)

ในประเทศสหรัฐอเมริกาจะกำหนดให้ผลิตภัณฑ์ลูกกวาดจัดอยู่ในสองกลุ่มแรกเท่านั้น และนิยมใช้คำว่า แคนดี้ (candies) มากกว่าคำว่า คอนเฟกชันนารี และสามารถแบ่งกลุ่มของแคนดี้ตามลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้ (สายสนมและสิริ, 2539)

ลูกกวาดแข็ง (Hard candies หรือ High boiled sweet) เป็นลูกกวาดที่มีความแข็ง คงรูปแน่นอนตามต้องการ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเคี้ยวน้ำตาลให้มีความเข้มข้นสูงมากๆ แล้วทำให้เย็นตัวลง ซึ่งจะมีความชื้นในผลิตภัณฑ์ต่ำกว่า 1% ส่วนประกอบที่เสริมเข้าไปกับน้ำตาลทรายคือน้ำตาลแปร (inverted sugar) หรือกลูโคสไซรัป หรือเบะแซ อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้งสองอย่างร่วมกัน ขึ้นอยู่กับสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ สัดส่วนโดยทั่วไปจะประกอบด้วยน้ำตาลทราย 70 ส่วน ผสมกับกลูโคสไซรัป 30 ส่วน และทำการเคี้ยวให้เข้มข้นในแบบดั้งเดิม แต่ถ้าทำการเคี้ยวภายใต้สูญญากาศจะใช้น้ำตาลทราย 60 ส่วน และเบะแซ 40 ส่วน ถ้าต้องการให้ลูกกวาดละลายช้าๆ จะใช้สัดส่วนของเบะแซสูงขึ้น จากลักษณะทางกายภาพของลูกกวาดนี้ ยังพอแบ่งตามลักษณะเนื้อสัมผัสได้เป็น 2 พวกคือ พวกที่แตกผลึก (grained type) จะมีลักษณะขุ่นขาวเนื่องจากมีฟองอากาศกระจายทั่วไป และแข็งน้อยกว่าชนิดที่ไม่แตกผลึก (non grained type) ซึ่งจะมีลักษณะใส โปร่งแสง และมีความแข็งสูงกว่า สำหรับลูกกวาดแบบที่แตกผลึกนั้น นิยมทำในผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า after dinner mint และทำเพื่อสอดไส้ด้วยแยม หรือช็อกโกแลตชั้น (chocolate paste) กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีการสอดไส้นี้จะรวมเรียกว่า บอน บอนส์ (bonbons) (สายสนมและสิรี, 2539)

ลูกกวาดแบบเคี้ยว (Chewy confections) เป็นลูกกวาดที่มีส่วนประกอบต่างไปจากประเภทแรก มีส่วนของไขมันและ milk solid เข้ามาผสมกับน้ำตาลทรายและเบะแซ แล้วเคี้ยวจนมีความชื้นเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ 12-15% จึงทำให้มีลักษณะที่แข็งไม่มากนัก ในการอมลูกกวาดประเภทนี้ จึงต้องเคี้ยวร่วมไปด้วย เนื่องจากมีลักษณะเหนียวหนึบ เนื้อสัมผัสเนียน ไม่หยาบสาก ชนิดของเบะแซที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ชนิดนี้จะมีค่า D.E. เท่ากับ 42 เพราะช่วยให้เนื้อสัมผัสเหมาะกับการเคี้ยวได้ดี (chewability) ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ คาราเมลที่ไม่มีผลึก (non grain caramel หรือ chewy caramel) กัม และเฮลลี (สายสนมและสิรี, 2539)

ลูกกวาดแบบมีฟองอากาศ (Aerated confections) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเคี้ยวน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูง แต่จะไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ยังคงมีสองส่วนผสมกันอยู่ คือ ส่วนที่เป็นน้ำเชื่อมหรือของเหลวอื่นๆ ซึ่งมักเรียกว่า เฟสต่อเนื่อง (continuous phase) กับอีกส่วนหนึ่งที่เป็นฟองก๊าซหรือฟองอากาศกระจายอยู่ โดยทั่วไปเรียกว่าเฟสกระจาย (disperse phase) ในส่วนนี้อาจมีผลึกน้ำตาลที่เป็นของแข็งกระจายอยู่ด้วยก็ได้ ผลิตภัณฑ์ในรูปนี้บางสูตรจำเป็นต้องอาศัยสารลดแรงตึงผิว (surface active agent) เข้าช่วยทำหน้าที่ควบคุมความคงตัวของฟองก๊าซดังกล่าวไว้ให้คงสภาพอยู่ และไม่เกิดการรวมตัวขึ้น ความหนืดและลักษณะเนื้อของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะขึ้นกับความเข้มข้นของเฟสต่อเนื่อง และขนาดของฟองก๊าซที่กระจายอยู่ ผลของการเติมอากาศ

(aeration) จะทำให้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ลดลงเหลือประมาณ 0.2 ซึ่งดูเหมือนเป็นการเพิ่มมูลค่า เพราะมองด้วยตาจะมีขนาดใหญ่ขึ้นในน้ำหนักที่เท่ากัน และยังมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสในแง่ความรู้สึกในปาก (mouthfeel) ที่แตกต่างกันไป อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อกลิ่นรสด้วย แต่อายุการเก็บรักษาอาจเปลี่ยนไป เนื่องจากผลของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้ เช่น ช็อกโกแลตที่มีฟองอากาศ และมาร์ชเมลโล (สายสนมและสิริ, 2539)

อุตสาหกรรมลูกกวาดมีขนาดตั้งแต่ที่เป็นร้านค้าเล็กๆ ทำการผลิตภายในบ้าน ไปจนถึงที่เป็นสาขาย่อยของบริษัทใหญ่ในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผลิตภัณฑ์ลูกกวาดที่มีน้ำตาลเป็นส่วนผสมหลัก มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน โดยไม่ต้องทำการแช่เย็น และสามารถวางขายในตลาดได้คราวละหลายปี (Edwards, 2000)

ลูกกวาดชนิดที่ทำให้เกิดเจล (gelled confections) จัดเป็นหนึ่งในกลุ่มผลิตภัณฑ์ลูกกวาดที่มีการขยายตัวทางตลาด และมีการพัฒนารูปแบบของผลิตภัณฑ์ไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสามารถปรับปรุงหรือดัดแปลงลักษณะของเนื้อสัมผัสได้อย่างหลากหลาย โดยการผสมผสานกันของสารที่ทำให้เกิดเจลชนิดต่างๆ และใช้ระดับความเข้มข้นของสารและวิธีการผลิตที่แตกต่างกันออกไป (Poppe, 1997) นอกจากนี้วัฒนธรรมและความเป็นอยู่ ก็ยังมีส่วนทำให้รสชาติของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีความแตกต่างกันอีกด้วย ตัวอย่างเช่น เยลลี่เบบี้ของประเทศอังกฤษซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาโดยนักผลิตลูกกวาดชาวออสเตรเลีย จะมีลักษณะภายนอกที่คล้ายคลึงกับกัมมีเบอร์ของประเทศเยอรมนี แต่ทั้งสองจะมีรสชาติและเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง นอกจากนี้ กัมและเจลาตินพาสติลล์ที่ผลิตในประเทศฝรั่งเศสและอังกฤษ ก็มีความแตกต่างในลักษณะนี้เช่นเดียวกัน (Edwards, 2000)

2.2 กัมและเยลลี่

กัมและเยลลี่จัดเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของลูกกวาด (confectionery product) ชนิดที่มีน้ำตาลเป็นส่วนผสมหลัก (sugar confectionery) เป็นลูกกวาดแบบเคี้ยว (chewy confections) และยังเป็นลูกกวาดชนิดที่เกิดเจล (สุวรรณ, 2543)

ตามพระราชบัญญัติ พ.ศ. 2537 “เยลลี่” หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำตาลไม้ที่ได้จากการคั้น หรือสกัดจากผลไม้ หรือน้ำผลไม้ที่ผ่านกรรมวิธี หรือทำให้เข้มข้น หรือแช่แข็ง ผสมกับสารที่ให้ความหวานและทำให้มีความเหนียวพอเหมาะ โดยไม่มีเนื้อผลไม้เจือปน น้ำผลไม้หรือน้ำที่สกัดได้จากผลไม้ที่ใช้ ต้องผ่านการกรองเพื่อให้ใส ปราศจากชิ้นหรือเศษของผลไม้ และอาจทำให้เข้มข้นโดยการระเหยน้ำออก ปริมาณน้ำตาลไม้หรือน้ำที่สกัดได้จากผลไม้ที่ใช้ต้องไม่น้อยกว่า

20% ของน้ำหนัก เยลลี่ต้องมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว คงรูป ไม่เยิ้ม น้ำ สีสวยสม่ำเสมอ และสีไม่คล้ำ มีกลิ่นและรสชาติตามธรรมชาติของน้ำผลไม้ ต้องใสผ่านแสงได้ ไม่มีจีนของเศษผลไม้ที่ใช้ และอาจใช้สีผสมอาหารในการปรุงแต่งได้ (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2537)

คำนิยามหรือคำจำกัดความของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มกัมและเยลลี่ ในปัจจุบันยังไม่แน่นอนเท่าใดนัก เยลลี่จัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลทั่วๆ ไป ที่สามารถใช้สารที่ทำให้เกิดเจลที่กฎหมายอนุญาตให้ใช้ชนิดใดก็ได้ แต่สำหรับกัมนั้นจะไม่สามารถใช้สารก่อเจลที่เป็นกัมได้ทุกชนิด ปกติจะใช้สตาร์ชตัดแปรผสมกับเจลาตินเป็นส่วนผสมหลักในการทำให้เกิดเจล แต่ในกัมสวีทบางชนิดยังอาจใช้กัมอะคาเซียในการผลิตอยู่ (Edwards, 2000) สำหรับผู้บริโภคทั่วๆ ไปจะเข้าใจว่ากัมและเยลลี่เป็นผลิตภัณฑ์เดียวกัน และมักเรียกรวมๆ กันว่า เยลลี่ เพราะมีลักษณะคล้ายๆ กัน คือ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความยืดหยุ่น นุ่ม เหนียว ต้องเคี้ยวกิน ไม่ได้ใช้แบบลูกกวาด มีเนื้อสัมผัสแตกต่างกันไป ตั้งแต่อ่อนนุ่มแต่มีความยืดหยุ่นสูงไปจนถึงเหนียวแข็งกัดขาดได้ยาก ตัวอย่างที่รู้จักกันดี ได้แก่ เยลลี่ กัมมิแบร์ พาสติลล์ และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่เรียกว่าชื่อทางการค้า ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีความชื้นค่อนข้างสูงอยู่ระหว่าง 10-25% เนื่องจากมีสมบัติในการจับตัวกับน้ำ (water binding) ของไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งมีส่วนทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ต่างกันไปด้วย จึงสามารถใช้ปริมาณความชื้นเป็นตัวชี้บ่งชนิดของผลิตภัณฑ์ได้ ดังนี้ (สุวรรณ, 2543)

ผลิตภัณฑ์เยลลี่ จะมีความชื้น 18-25% มีเนื้อสัมผัสนุ่ม กัดขาดได้ง่าย ใช้มีดตัดได้ โดยไม่เหนียวติดใบมีด

ผลิตภัณฑ์กัม ชนิดแข็ง (hard gum) มีความชื้น 10-13% ลักษณะเนื้อแข็งและเหนียว กัดขาดได้ยาก หนึบมาก เคี้ยวได้นาน ชนิดนุ่ม (soft gum) มีความชื้นอยู่ในช่วง 16-20% เนื้อจะนุ่มเหนียว มีความยืดหยุ่นสูง

พาสติลล์ (pastilles) เป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่กึ่งกลางระหว่างกัมและเยลลี่ ที่พบในตลาด มักจะทำเป็นขยวม

ส่วนประกอบโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มกัมและเยลลี่ได้แสดงดังในตารางที่ 2.1 ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของกัมและเยลลี่ มีส่วนแบ่งการตลาดในประเทศไทยประมาณครึ่งหนึ่งของตลาดลูกกวาด และมีแนวโน้มว่าจะได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เพราะผู้บริโภคจะนิยมรับประทานผลิตภัณฑ์ที่เคี้ยวได้มากกว่า (สุวรรณ, 2543)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มกัมและเยลลี่⁸

ส่วนประกอบ	เยลลี่			เยลลี่เจลาติน / กัมเจลาติน	กัมจากอาราบิก		กัมจากแป้ง	
	เพกทิน	วุ้น	แป้ง		ชนิดนุ่ม	ชนิดแข็ง	ชนิดนุ่ม	ชนิดแข็ง
อัตราส่วนน้ำตาล ต่อ กลูโคสไซรัป	70:30 ถึง 60:40	70:30 ถึง 60:40	60:40 ถึง 45:55	60:40 ถึง 40:60	65:35 ถึง 50:50	70:30 ถึง 65:35	60:40 ถึง 45:55	70:30 ถึง 45:55
เพกทิน	1.0-1.2	0.8-1.2	11-15	5-10	30-35	40-45	20-30	25-35
วุ้น								
แป้งตัดแปร ชนิด thin boiling								
เจลาติน								
กัมอาราบิก								
แป้งตัดแปรชนิด waxy starch								
ปริมาณความชื้น	20-25	20-25	15-20	16-22	15-17	10-13	15-17	10-13
สารทำให้เกิดเจลชนิดอื่น ที่ใช้ร่วมกันได้	เจลาติน			กัมอาราบิก แป้ง เพกทิน วุ้น	เจลาติน แป้ง	แป้ง	เจลาติน กัมอาราบิก	

ที่มา : สุวรรณ (2543)

2.3 ส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตกัมและเยลลี่

วัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการผลิตกัมและเยลลี่ ได้แก่ น้ำตาล สารก่อเจล กรดอินทรีย์ น้ำผลไม้ กลิ่น และสี

2.3.1 น้ำตาล

น้ำตาลเป็นสารให้รสหวานแก่ผลิตภัณฑ์ น้ำตาลที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ลูกกวาด ได้แก่ น้ำตาลซูโครสหรือน้ำตาลทราย กลูโคสไซรัป น้ำตาลฟรักโทส น้ำตาลเดกซ์โทรส และน้ำตาลมอลโทส (Edwards, 2000)

2.3.1.1 น้ำตาลซูโครส

น้ำตาลซูโครสหรือน้ำตาลทรายที่ผลิตเป็นอุตสาหกรรมนั้นจะผลิตจากอ้อย (sugar cane) ซึ่งเป็นพืชที่ปลูกในเขตร้อน ประมาณ 60% และผลิตจากหัวบีท (beet root) ซึ่งปลูกในเขตอบอุ่น ประมาณ 40% (Yudkin, 1971) กรรมวิธีการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อยและหัวบีท มีหลักการคล้ายกัน คือสกัดเอาสารละลายน้ำตาลออกมา (ในกรณีที่เป็นอ้อย ใช้วิธีบีบคั้นเอาน้ำอ้อย ส่วนหัวบีท จะต้องใช้น้ำสกัด) นำมากรองให้สะอาด แล้วต้มระเหยเอาน้ำออกจนถึงระดับที่น้ำตาลสามารถตกผลึกแยกตัวออกมาได้

ก. ชนิดของน้ำตาลซูโครส

น้ำตาลที่ผลิตจากโรงงานแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ (สุวรรณ, 2543)

- **น้ำตาลดิบ** เป็นน้ำตาลที่ไม่ผ่านการฟอกสี ผลิตเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับโรงงานผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ ความบริสุทธิ์ของน้ำตาลดิบที่วัดโดยวิธีโพลาไรเซชัน (polarization) คิดเป็นน้ำตาลซูโครส 97.5% และมีค่าสีประมาณ 3,000 หน่วย (ICUMSA unit วัดที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร)
- **น้ำตาลทรายขาวธรรมดา** น้ำตาลชนิดนี้ถูกผ่านขั้นตอนการใช้สารจับรังควัตถุที่ทำให้เกิดสี แล้วตกตะกอนสารดูดซับออกไป ทำให้ผลึกน้ำตาลมีสีขาวขึ้น ความบริสุทธิ์ 99.5% มีค่าสีมากกว่า 45-100 หน่วย
- **น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (refined sugar)** มีความบริสุทธิ์ถึง 99.9% และค่าสีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 45 หน่วย

น้ำตาลทรายมีหลายรูปแบบ เช่น น้ำตาลทรายเม็ด น้ำตาลไอซิ่ง หรือน้ำตาลทรายปั่น น้ำตาลทรายผงปั่นละเอียด นอกจากนั้นยังอาจใช้ในรูปของน้ำตาลไซรัป ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้อยู่ประมาณ 66% ในทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะเลือกใช้น้ำตาลทรายเม็ด

เนื่องจากมีความคงตัวและขนส่งได้สะดวกกว่าน้ำตาลไซรป์ ส่วนน้ำตาลทรายป่นและน้ำตาลทรายผง มักมีปัญหาในการนำมาใช้ เนื่องจากฟุ้งกระจายได้ง่าย (Edwards, 2000)

น้ำตาลทรายที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบ หรือส่วนผสมในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร เช่น อุตสาหกรรมลูกกวาด อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมขนมอบ จำพวกเค้กและบิสกิต ส่วนที่เหลือจะนำไปขายปลีกเพื่อใช้ปรุงอาหารในครัวเรือน (Yudkin, 1971) ขนาดอนุภาคของน้ำตาลชนิดต่างๆ และรูปแบบการใช้งาน แสดงดังในตารางที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 ขนาดอนุภาคของน้ำตาลชนิดต่างๆ

Type of sugars	Maximum	Minimum
Granulated	400 μm	600 μm
Icing (milled sugar)	10-15 μm mean	10-15 μm mean
Coarse sugar	> 55% above 1.18 mm	< 5% below 850 μm
Medium sugar	< 8% above 1.18 mm	< 12% below 600 μm
Powdered sugar	17% max above 212 μm	23-55% below 53 μm
Ultra fine sugar	< 45% above 355 μm	20-45% below 150 μm
Caster sugar	< 10% above 425 μm	< 22% below 212 μm
Non pareil sugar	< 5% above 850 μm	< 10% below 600 μm
Fine sugar	< 7% above 850 μm	< 13% below 425 μm

ที่มา : Edwards (2000)

ตารางที่ 2.3 รูปแบบของน้ำตาลที่มักใช้ในผลิตภัณฑ์ลูกกวาดที่มีน้ำตาลเป็นส่วนผสมหลัก

Products	White granulated	Speciality white granulated	Screened specialities	Milled specialities	Brown sugar	Liquid sugar	Syrup and treacles
Boiled sweet	yes	yes	yes	yes	no	yes	no
Toffees/fudges	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Gums/pastilles	yes	yes	yes	no	no	yes	no
Chewing gum	yes	no	no	yes	no	no	no
Liquorice	yes	yes	no	no	yes	no	yes

ที่มา : Edwards (2000)

ข. สมบัติของน้ำตาลซูโครส

- **ให้รสหวาน** เป็นลักษณะที่เด่นมากของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มที่มีน้ำตาลเป็นส่วนผสมหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำตาลละลายในน้ำได้ง่าย ทำให้ขณะที่บริโภคผลิตภัณฑ์อยู่ในปาก จะรู้สึกหวานเร็วกว่าการบริโภคผลิตภัณฑ์กลุ่มที่มีไขมันเป็นส่วนผสมหลักในเฟสต่อเนื่องที่มีปริมาณน้ำตาลเท่ากัน ในผลิตภัณฑ์บางชนิดอาจไม่ต้องการรสหวานมากเกินไป สามารถใช้สารอื่นๆ เช่น ไขมัน และสารก่อเจลดิมแต่งลงไปได้
- **ให้เนื้อและน้ำหนักแก่ผลิตภัณฑ์** เนื่องจากในสูตรส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ลูกกวาดโดยทั่วไปจะมีการใช้น้ำตาลถึง 70% ของน้ำหนักทั้งหมด แต่คิดเป็นราคาค้นทุนเพียง 30% เท่านั้น จึงถือว่าเป็นวัตถุดิบที่มีราคาสูง แต่การผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ลูกกวาดที่ปราศจากน้ำตาล (sugar-free confectionery) โดยใช้สารให้รสหวานชนิดอื่นทดแทนน้ำตาล ซึ่งส่วนมากจะให้รสหวานมากกว่าน้ำตาล อาจเป็นร้อยหรือพันเท่า ดังนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงการให้สารที่ให้เนื้อ (bulking agent) แทนน้ำตาลด้วย (สุวรรณา, 2543)
- **การเกิดอินเวอร์ชัน** เนื่องจากน้ำตาลซูโครสเป็นไดแซ็กคาไรด์ที่โมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะทางเคมีชนิดที่ไม่แข็งแรงมาก จึงสามารถถูกแยกให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวได้เป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทสในปริมาณที่เท่าๆ กัน ซึ่งเรียกรวมว่า น้ำตาลอินเวิร์ต ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการเกิดน้ำตาลอินเวิร์ต คือ อัตราการให้ความร้อน ระยะเวลาการให้ความร้อน ปริมาณกรดหรือค่าพีเอชของสารละลาย และเอนไซม์อินเวอร์เทส โดยในระบบที่มีค่าพีเอชต่ำและอุณหภูมิสูง จะทำให้เกิดน้ำตาลอินเวิร์ตในปริมาณที่สูง (ศิริลักษณ์, 2525a) ตัวอย่างเช่น เมื่อเก็บรักษาสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 65% พีเอช 3.2 ไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน พบว่าเกิดอินเวอร์ชันขึ้นประมาณ 10% แต่ที่พีเอช 5.5 จะเกิดเพียง 0.1% เท่านั้น ซึ่งหากต้องการเร่งปฏิกิริยาที่พีเอช 5.5 นี้ จะต้องเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น และแม้ว่าจะเพิ่มสูงถึง 130 องศาเซลเซียส ก็ยังเกิดอินเวอร์ชันได้ต่ำ แต่เมื่อนำสารละลายน้ำตาลไปต้มที่พีเอชต่ำกว่า 4 โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าค่าพีเอชต่ำกว่า 3.5 จะเกิดน้ำตาลอินเวิร์ตถึง 50% หรือมากกว่านั้น (สุวรรณา, 2543) นอกจากนี้ การให้ความร้อนแก่สารละลายของน้ำตาลซูโครสยังสามารถทำให้เกิดสภาพเป็นกรดได้เช่นกัน ซึ่งน้ำตาลซูโครสบางส่วนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทส (Brook, 1971)

น้ำตาลอินเวิร์ตที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อการยับยั้งการตกผลึกของน้ำตาลซูโครส โดยเฉพาะในอาหารที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูง Howell และ Hartel (2001) ได้ศึกษาผลของน้ำตาลอินเวิร์ตที่มีต่ออัตราการเพิ่มขนาดของผลึก พบว่าการเก็บสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 75% ในลักษณะเป็นฟิล์มบางที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปริมาณของน้ำตาลอินเวิร์ต 0.5% และ 1.0% ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำตาล แต่ที่ปริมาณน้ำตาลอินเวิร์ต 5% ทำให้อัตราการเพิ่มขนาดของผลึกลดลงจาก 15 ไมโครเมตรต่ออนาที เป็น 3.5-6.0 ไมโครเมตรต่ออนาที อย่างไรก็ตาม หากมีน้ำตาลอินเวิร์ตมากเกินไป อาจส่งผลให้เกิดการตกผลึกของน้ำตาลเดกซ์โทรสได้ และเนื่องจากน้ำตาลอินเวิร์ตมีสมบัติในการดูดความชื้นได้ง่าย ซึ่งอาจทำให้ลูกกวาดแข็งและเหนียวติดวัสดุที่ห่อ ดังนั้นในการทำผลิตภัณฑ์ลูกกวาด เยลลี่ หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีน้ำตาลสูง จึงต้องมีการควบคุมสภาพกรด พิเอช และการให้ความร้อนอย่างเหมาะสม ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาดังกล่าว (ไพบูลย์, 2532)

- การละลาย (solubility) น้ำตาลละลายได้ดีที่อุณหภูมิห้อง โดยสามารถละลายได้จนมีความเข้มข้นสูงสุดถึง 66.4% ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และ 76.4% ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (Brook, 1971) หากเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 100 องศาเซลเซียส จะละลายได้ถึง 82% อัตราเร็วของการละลายของน้ำตาลจะลดลงขณะที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้น (สายสนมและสิริ, 2539) ความสามารถในการละลายของน้ำตาลซูโครสแสดงดังในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ปริมาณการละลายของน้ำตาลซูโครสที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	น้ำตาลซูโครส (กรัม/น้ำ 100 กรัม)
0	179.2
10	109.5
20	203.9
30	219.5
40	238.1
50	260.4
100	487.2
110	669.0

ที่มา : สายสนมและสิริ (2539)

- **จุดเดือดของสารละลายน้ำตาล** ถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้กับสารละลายน้ำตาลที่อิ่มตัวแล้ว น้ำตาลจะละลายได้เพิ่มขึ้น และจุดเดือดของสารละลายจะสูงขึ้นจากเดิม (ศิริลักษณ์, 2525a) กล่าวได้ว่าสารละลายน้ำตาลซึ่งมีความเข้มข้นคงที่ จะมีจุดเดือดคงที่ที่จุดหนึ่งเสมอ ซึ่งกฎข้อนี้เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อกระบวนการผลิตลูกกวาดให้ได้ลักษณะตามต้องการ ตารางที่ 2.5 จะแสดงถึงจุดเดือดของสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นต่างๆ ที่บรรยากาศปกติ อย่างไรก็ตาม ตารางดังกล่าวยังไม่ค่อยลงตัวนัก แต่จะใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นสูงๆ

ตารางที่ 2.5 จุดเดือดของสารละลายน้ำตาลที่ความเข้มข้นต่างๆ (ที่บรรยากาศปกติ)

ความเข้มข้น (% โดยน้ำหนัก)	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)
40	101.4
50	102
60	103
70	105
75	106.9
80	109.6
85	113.9
90	122
95	130

ที่มา : Lee and Jackson (1973)

- **ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล** ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลมีหน่วยเป็นบริกซ์หรือโบเม ตามคำจำกัดความดังนี้
บริกซ์ (Brix หรือ Balling, °Bx) หมายถึง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของน้ำตาลซูโครสในสารละลายน้ำตาล ที่วัดด้วยเครื่องแฮนดรีแฟกโตมิเตอร์ (hand refractometer)
โบเม (Baume, °Be') มีค่าเท่ากับ M-M/S
เมื่อ M = 145 (ใช้ในสหรัฐอเมริกาและบางประเทศในยุโรป)
หรือ M = 144.3 (ใช้เฉพาะในสหราชอาณาจักร)
S = ความถ่วงจำเพาะของสารละลายน้ำตาล

การวัดค่า จะวัดที่อุณหภูมิมาตรฐาน คือ 20 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการวัดค่าจึงต้องทำให้สารละลายเย็นลงถึงอุณหภูมิดังกล่าวก่อน หรือวัดที่อุณหภูมิอื่น แล้วปรับค่าให้เป็นค่าที่ 20 องศาเซลเซียส (สุวรรณ, 2543)

- **การเป็นสารละลายอิมัตว์วดยิ่ง** จากสมบัติการละลายของน้ำตาลที่ละลายได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้น้ำตาลสามารถอยู่ในรูปของสารละลายอิมัตว์วดยิ่ง โดยน้ำตาลในสภาวะนี้จะอยู่ในรูปอสัณฐาน (amorphous) และเป็นสารละลายที่มีความหนืดสูง โมเลกุลของน้ำตาลเคลื่อนที่มาจับเรียงตัวกันได้ยาก ทำให้ยังไม่มีเกิดการเกิดผลึกขึ้น การเติม co-solute ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าน้ำตาลซูโครส เช่น สตาร์ช มอลโตเดกซ์ทริน และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายสตาร์ชด้วยกรดที่เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส เป็นองค์ประกอบ เป็นการเพิ่มค่า Tg (glass transition temperature) ของสารละลายน้ำตาล (Slade and Levine, 1991) สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงดังกล่าว รวมทั้งน้ำตาลฟรักโทส น้ำตาลแลคโทส น้ำตาลเทรฮาโลส หรือน้ำตาลราไฟโนส จะจับล้อมรอบน้ำตาลซูโครสในรูปของอสัณฐานของสารผสม ซึ่งช่วยชะลอการเกิดผลึกของน้ำตาลซูโครส ทำให้อิมัตว์วดยิ่งของน้ำตาลมีความคงตัวมากขึ้น (Roos and Karel, 1991)
- **การตกผลึกจากสารละลายอิมัตว์วดยิ่ง** ในสภาวะที่สารละลายมีความเข้มข้นต่ำ ซึ่งอยู่ในสภาวะที่ไม่อิมัตว์วดยิ่ง ผลึกของน้ำตาลซูโครสยังคงละลายได้ดี เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลจนถึงค่าสูงสุด ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของสารละลาย จะเกิดความสมดุลระหว่างเฟสของแข็งและเฟสของเหลวของน้ำตาลซูโครส หากมีการเพิ่มความเข้มข้นอีกเพียงเล็กน้อย สารละลายจะอยู่ในช่วงสภาวะอิมัตว์วดยิ่งในระดับต่ำที่มีความคงตัวและไม่มีการเกิดผลึกในช่วงเวลาหนึ่ง อาจนานเป็นสัปดาห์หรือเป็นเดือน แต่ผลึกที่มีอยู่ในสารละลายจะค่อยๆ เพิ่มขนาดขึ้น และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสูงขึ้นอีก สารละลายจะอยู่ในสภาวะอิมัตว์วดยิ่ง ในช่วงนี้นิวเคลียสผลึกเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเพิ่มขนาดอย่างรวดเร็ว และหากยังคงเพิ่มความเข้มข้นต่อไป สารละลายจะมีความหนืดเพิ่มมากขึ้นทันที อัตราการถ่ายเทมวลสารลดลง ทำให้อัตราการเกิดผลึกช้าลงด้วย (Shastry and Hartel, 1996) เมื่อความหนืดมีค่าเท่ากับ 10^{12} Pa.s หรือ 10^{15} centipoise น้ำตาลซูโครสจะเปลี่ยนสภาวะเป็นกลาส (glass transition) ซึ่งการทำให้สารละลายมีความเข้มข้นสูงกว่าจุดนี้ จะเกิดสภาวะกลาสที่คงตัว นอกจากนั้นการทำให้สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงๆ เย็นลงอย่างรวดเร็วจะเกิดสภาวะกลาสได้โดยไม่ผ่านขั้นตอนการเกิดผลึก (Roos and Karel, 1991)

การตกผลึกนี้สามารถควบคุมให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมได้โดยใช้ร่วมกับน้ำตาลอินเวิร์ต ซึ่งเป็นแนวทางที่ใช้ในกระบวนการการผลิตฟองดองต์ ครีม และฟัจด์ (ศิริลักษณ์, 2525a) ผลึกภัณฑ์ที่ได้จะมีพฤติกรรมเป็นแบบ non-Newtonian (ไม่สามารถไหลเทได้) มีลักษณะขุ่นทึบ เนื่องจากแสงที่หักเหออกจากผลึกเล็กๆ จำนวนมาก (สุวรรณ, 2543) อุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึก จะมีผลต่อขนาดของผลึก การตกผลึกที่อุณหภูมิสูง ผลึกที่ได้จะมีลักษณะหยาบ ส่วนการตกผลึกที่ อุณหภูมิต่ำ เช่น ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ผลึกที่ได้จะมีความละเอียด นอกจากนั้น การคน ส่วนผสมจะช่วยให้เกิดผลึกที่ละเอียดกว่าการปล่อยให้ตั้งทิ้งไว้ให้เกิดผลึกเอง (ศิริลักษณ์, 2525b)

- **การเกิดโครงสร้างแบบเจล** น้ำตาลเป็นส่วนผสมสำคัญที่ทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้เพกทินที่มีหมู่เมทอกซีสูง (high methoxyl pectin) เป็นสารก่อเจล โดยทำหน้าที่เป็น dehydration agent และเป็นปัจจัยที่สนับสนุนให้เกิดโครงสร้างตาข่าย (Crandall and Wicker, 1986) ซึ่งน้ำตาลจะดึงชั้นของน้ำที่อยู่ล้อมรอบสายเพกทิน ทำให้สายเพกทินเข้ามาใกล้กัน นอกจากนั้น น้ำตาลยังมีผลต่อการเกิด hydrophobic interaction และมีผลทำให้สายเพกทินเข้ามาใกล้กันมากขึ้น (Okenfull and Scott, 1984)

2.3.1.2 กลูโคสไซรัป

กลูโคสไซรัป (คอร์นไซรัปหรือเบะแซ) ได้จากการนำแป้งที่บริโภคดี เช่น แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง หรือแป้งมันฝรั่ง มาทำการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดหรือเอนไซม์เพียงบางส่วน โดยผ่านการทำให้บริสุทธิ์ และทำให้เข้มข้นขึ้น กลูโคสไซรัปที่ได้จะเป็นสารละลายเนื้อเดียวของ ดี(+)-กลูโคส มอลโทส และพอลิเมอร์อื่นๆ ของกลูโคส ในสัดส่วนที่แตกต่างกันไป ผลึกภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยแป้งด้วยตัวกลางและกระบวนการที่ต่างกันแสดงดังรูปที่ 2.1 ระดับการสลายตัวของสตาร์ชจะมีผลต่อชนิดและสมบัติของกลูโคสไซรัป ซึ่งนิยามกำหนดด้วยค่าสมมูลเดกซ์โทรส (dextrose equivalent, D.E.) หมายถึง ปริมาณของน้ำตาลรีดิวิชันในรูปดี-กลูโคสที่มีในน้ำหนักแห้งทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ หากการไฮโดรไลซ์สตาร์ชแล้วทำให้โมเลกุลของสตาร์ชกลายเป็นสายตรงทั้งหมด เรียกว่าเดกซ์ทริน ผลผลิตจะมีค่า D.E. เป็นศูนย์ และหากไฮโดรไลซ์สตาร์ชจนได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งหมด ผลผลิตจะมีค่า D.E. เป็น 100 ปกติกลูโคสไซรัปที่ผลิตได้จะมีค่า D.E. อยู่ในช่วงกว้างมาก (สายสนมและสิริ, 2539)

ก. ชนิดของกลูโคสไซรัป

กลูโคสไซรัปแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิด ตามค่า D.E. ที่ผลิตได้

- กลูโคสไซรัปชนิดที่มีค่า D.E. ต่ำ (low conversion) มีค่า D.E. 20-38
- กลูโคสไซรัปชนิดที่มีค่า D.E. ปกติ (regular conversion) มีค่า D.E. 38-48

- กลูโคสไซรัปชนิดที่มีค่า D.E. ปานกลาง (intermediate conversion) มีค่า D.E. 48-58
- กลูโคสไซรัปชนิดที่มีค่า D.E. สูง (high conversion) มีค่า D.E. 58-68
- กลูโคสไซรัปชนิดที่มีค่า D.E. สูงมาก (extra high conversion) มีค่า D.E. สูงกว่า 68 สำหรับสตาร์ชที่นำมาย่อยแล้วได้ค่า D.E. ต่ำกว่า 20 จะไม่เรียกว่ากลูโคสไซรัป แต่จะเรียกว่า มอลโตเดกซ์ทริน

ผลิตภัณฑ์กลูโคสไซรัปที่จำหน่ายทั่วไปจะมีลักษณะทั้งที่เป็นกึ่งแข็งกึ่งเหลว ขึ้นหนืด และลักษณะที่เป็นผง ตามมาตรฐานทางการค้าจะต้องมีสารแห้ง (dry substance) ไม่น้อยกว่า 70% โดยน้ำหนัก ตามปกติจะมีอยู่ 80-82% ต้องมีค่า D.E. ไม่ต่ำกว่า 20 มีเถ้าซัลเฟตได้ไม่เกิน 1% ของน้ำหนักแห้ง ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ควรต่ำกว่า 20 ส่วนต่อล้านส่วน (ppm) แต่ชนิดที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์ลูกกวาด อนุญาตให้มีได้ถึง 400 ppm (สายสนมและสิริ, 2539)

กลูโคสไซรัปสามารถนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ลูกกวาดมากขึ้นกว่าแต่ก่อน ผลิตภัณฑ์บางชนิดอาจใช้กลูโคสไซรัปในปริมาณที่มากกว่าน้ำตาลทราย (Edwards, 2000) โดยทั่วไปกลูโคสไซรัปที่ใช้ในอุตสาหกรรมลูกกวาด มีอยู่ 3 ชนิด คือ ชนิดที่ D.E. ต่ำ ประมาณ 20 ชนิดปกติ ที่ D.E. 40-42 และชนิดสูงที่ D.E. 60-65 และที่จำหน่ายตามท้องตลาดจะมีความเข้มข้นประมาณ $43^{\circ}\text{Be}'$ หรือประมาณ 80 องศาบริกซ์ และ $45^{\circ}\text{Be}'$ หรือประมาณ 85 องศาบริกซ์ ไม่นิยมใช้ที่ความเข้มข้นสูงกว่านี้ เพราะจะหนืดและไหลได้ยาก ขนย้ายลำบาก ราคาแพง และสิ้นเปลืองพลังงานในการขนถ่ายมาก การเก็บรักษาไม่ค่อยมีปัญหา เพราะสามารถทนอากาศร้อนได้ แต่ต้องระวังไม่ให้มีน้ำผสมเข้าไป

กลูโคสไซรัปจัดเป็นวัตถุดิบที่สำคัญต่อการผลิตลูกกวาดทุกชนิดรองลงมาจากน้ำตาล จึงทำหน้าที่เสมือนเป็นเนื้อของลูกกวาด แต่สำหรับหน้าที่อันแท้จริงของกลูโคสไซรัปนั้น คือ การทำหน้าที่เป็น “doctor sugar” ทำให้น้ำตาลในลูกกวาดที่อยู่ในสภาวะเป็นสารละลายอิมัลชันด้วยวุ้น ไม่ตกผลึกออกมา หรือเกิดผลึกซาลงหรือน้อยลง นอกจากนั้นยังมีผลต่อรสชาติและอายุการเก็บรักษาของลูกกวาดด้วย (สุวรรณ, 2543)

กลูโคสไซรัปที่มีค่า D.E. ต่ำ จะมีความหนืดสูง มีความหวานต่ำ ช่วยป้องกันการตกผลึกได้ดี มีการดูดซึมน้ำต่ำ (สายสนมและสิริ, 2539) ส่วนกลูโคสไซรัปที่มีค่า D.E. สูง จะมีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาน้ำตาลได้ง่ายขึ้นกว่าแบบที่มีค่า D.E. ต่ำ เนื่องจากสตาร์ชถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นน้ำตาลรีดิวซ์มากขึ้น ในทางปฏิบัติ การผลิตผลิตภัณฑ์ confectionery จะคำนึงถึงสมบัติที่สำคัญบางประการของน้ำตาล ได้แก่ การดูดความชื้น การเกิดสีน้ำตาล การควบคุมการตกผลึก ความหวาน ความหนืด การเหนียวติดกัน และคุณค่าทางโภชนาการ ตามลำดับ (สุวรรณ, 2543)

ข. สมบัติที่สำคัญบางประการของกลูโคสไซรัป

- ชนิดของคาร์โบไฮเดรตที่เป็นส่วนประกอบ วิธีง่าย ๆ ที่สามารถใช้ในการแบ่งชนิดของกลูโคสไซรัปคือ การวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ซึ่งจะไม่ได้แสดงอัตราส่วนของน้ำตาลแต่ละชนิดที่เป็นส่วนประกอบของกลูโคสไซรัป ส่วนวิธีที่เหมาะสมในการตรวจสอบชนิดของคาร์โบไฮเดรตที่เป็นส่วนประกอบ คือ การใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ส่วนประกอบของกลูโคสไซรัปจะแตกต่างกันตามกรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตและเอนไซม์ที่นำมาใช้ไฮโดรไลซ์แป้ง และความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. และสมบัติของกลูโคสไซรัป แสดงดังในตารางที่ 2.6 และตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 ชนิดของคาร์โบไฮเดรตที่เป็นส่วนประกอบของกลูโคสไซรัปที่ผลิตโดยใช้กรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน

D.E. กลูโคสไซรัป	วิธีการผลิต	Dextrose	Maltose	Maltotriose
42	ใช้กรด	19	14	12
	กรด-เอนไซม์	6	45	12
	เอนไซม์-เอนไซม์	3-4	40-45	20-25
25-29	Low temperature	3-4	11-13	12-13
	Heat stable	2-3	10-12	15-17

ที่มา : Belitz and Grosch (1987)

- รสหวาน รสหวานของกลูโคสไซรัปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้
 - รสหวานจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น
 - รสหวานเพิ่มขึ้นเมื่อค่า D.E. เพิ่มขึ้น
 - รสหวานเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น
 - รสหวานลดลงเมื่อความเป็นกรดเพิ่มขึ้น
 - รสหวานลดลงเมื่อความหนืดเพิ่มขึ้น
- ความสามารถในการดูดความชื้นจากบรรยากาศ โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (Equilibrium Relative Humidity ; ERH) ต่ำกว่าสิ่งแวดล้อม จะดูดความชื้นจากบรรยากาศ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า ERH สูงกว่าสิ่งแวดล้อม จะสูญเสียความชื้นออกไป ดังนั้น กลูโคสไซรัปที่มีค่า D.E. สูง ซึ่งมีค่า ERH ต่ำ จะมีโอกาสที่จะดูดความชื้นได้สูง ในขณะที่กลูโคสไซรัปที่มีค่า D.E. ต่ำ จะมีค่า ERH

เพิ่มสูงขึ้นจะมีโอกาสที่จะดูความชื้นจากบรรยากาศได้ต่ำ นอกจากนี้ เกลืออนินทรีย์ จะทำให้อัตราเร็วในการดูความชื้นจากบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้น (ศิริลักษณ์, 2525)

ตารางที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า D.E. และสมบัติของกลูโคสไซรัป

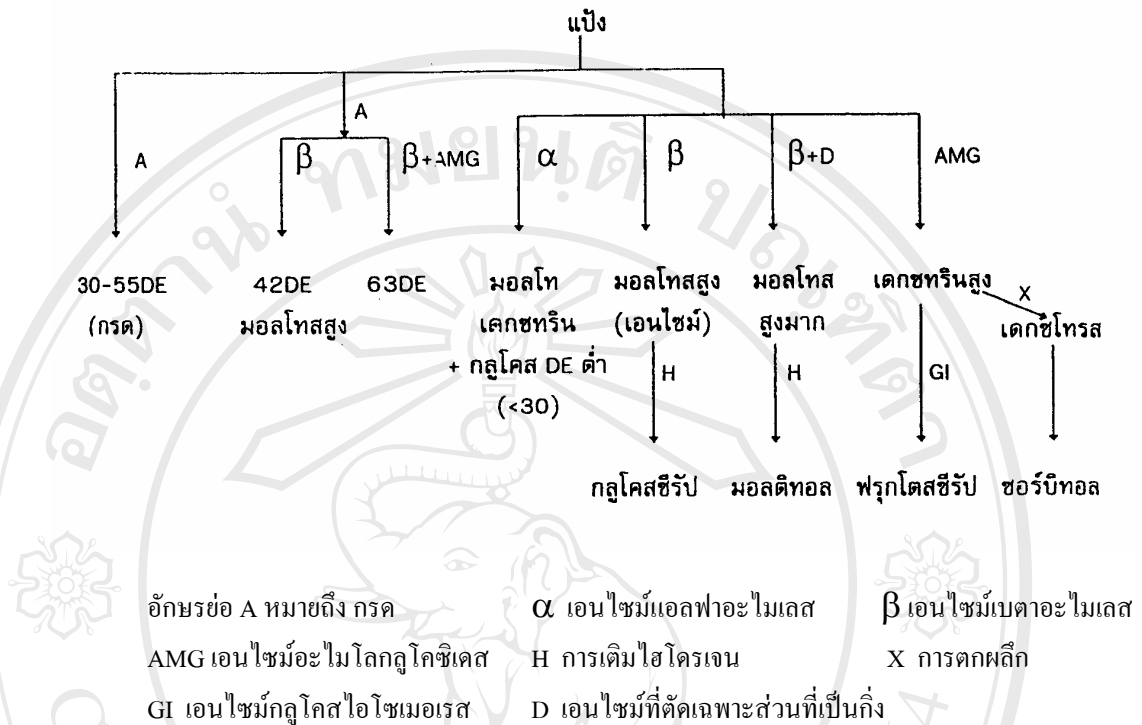
สมบัติหรือบทบาท	D.E. ของกลูโคสไซรัป				
	20-38	38-48	48-58	58-68	68 ขึ้นไป
ช่วยสีคงตัว	น้อย	→			มาก
ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล	น้อย	→			มาก
ใช้เป็นอาหารของยีสต์	น้อย	→			มาก
ช่วยเพิ่มกลิ่นรส	น้อย	→			มาก
เป็นตัวกลางนำพากลิ่นรส	น้อย	→			มาก
ดูความชื้น	น้อย	→			มาก
ความหวาน	น้อย	→			มาก
การให้เนื้อ	มาก	←			น้อย
การเหนียวติดกัน	มาก	←			น้อย
ป้องกันไม่ให้น้ำตาลตกผลึก	มาก	←			น้อย
ความหนืด	มาก	←			น้อย
ทำให้ผลิตภัณฑ์ชุ่มชื้น	←		เท่ากัน	→	
ทำให้ผลิตภัณฑ์แฉะวาว	←		เท่ากัน	→	
ผลต่อสารละลาย	←		เท่ากัน	→	
สามารถควบคุมให้เกิดผลึก	←		เท่ากัน	→	

ที่มา: Jackson and Howling (1995)

■ **ความหนืด** ความหนืดของกลูโคสไซรัปขึ้นกับอุณหภูมิ ความเข้มข้น และอัตราส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่เป็นส่วนประกอบ โดย

- เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความหนืดของกลูโคสไซรัปลดลง
- เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ความหนืดของกลูโคสไซรัปเพิ่มขึ้น
- เมื่อน้ำตาลที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ในกลูโคสไซรัปมีปริมาณเพิ่มขึ้น ความหนืดจะเพิ่มขึ้น

หากมีน้ำตาลโมเลกุลขนาดเล็กเพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลง



ที่มา : Jackson and Howling (1995)

รูปที่ 2.1 ผังแสดงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยแป้งด้วยตัวกลางและกระบวนการที่ต่างกัน

- **การเกิดดี** ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดดีคือ ปฏิกิริยามอลลาร์ด โดยเกิดจากคาร์โบไฮเดรตทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโน เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสีน้ำตาล วิธีการลดการเกิดดี คือ การลดปริมาณโปรตีน การเพิ่มซัลเฟอร์ไดออกไซด์ การลดค่าความเป็นกรด-ด่าง และการลดค่า D.E. ของกลูโคสไซรัปให้ต่ำลง ซึ่งจะทำให้หมู่อัลดีไฮด์อิสระลดลง จึงเกิดปฏิกิริยาได้น้อยลง (ศิริลักษณ์, 2525a)
- **การเกิดผลึก** ในการผลิตอาหารที่มีน้ำตาลทราย น้ำตาลกลูโคส หรือน้ำตาลแลกโทส ในปริมาณสูง จะเกิดการตกผลึกของน้ำตาลได้ง่าย ดังนั้นจึงต้องป้องกันโดยการใช้ มอลโทเดกซ์ตริน หรือกลูโคสไซรัปที่มีค่า D.E. ต่ำ การศึกษาผลของกลูโคสไซรัป ในการควบคุมการเกิดผลึกของน้ำตาลซูโครส โดยใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำตาลซูโครสและกลูโคสไซรัปที่มีความเข้มข้นรวม 10% นำไปทำให้แห้งด้วยวิธีอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และบดให้เป็นผง เก็บรักษาไว้ในโถสุญญากาศที่มีสารดูดความชื้น

พบว่าการใช้กลูโคสไซรัปที่ปริมาณ 10 และ 20% โดยน้ำหนักของน้ำตาลทั้งหมด มีผลรบกวนการเกิดผลึกของน้ำตาลซูโครสที่มีอยู่ในรูปอสัณฐาน ในขณะที่การใช้ กลูโคสไซรัปที่ปริมาณมากกว่า 50% ขึ้นไป จะสามารถป้องกันการเกิดผลึกของ น้ำตาลซูโครสได้ (Gabarra and Hartel, 1998)

- การช่วยเสริมกลิ่น กลูโคสไซรัปที่มีค่า D.E. สูง จะช่วยเสริมกลิ่นแก่ผลิตภัณฑ์
- การเกิดความเลื่อมมัน กลูโคสไซรัปช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์หลายชนิดมีลักษณะปรากฏ เลื่อมมัน เช่น ผลไม้แห้ง เค้ก และไอซิ่ง (ศิริลักษณ์, 2525a)

ค. ความสำคัญของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจล

น้ำตาลเป็นสารที่ช่วยให้เกิดรสหวาน ให้เนื้อและน้ำหนักแก่ผลิตภัณฑ์ เป็นส่วนประกอบ สำคัญที่ช่วยให้เกิดโครงสร้างแบบเจลในผลิตภัณฑ์ที่ใช้เพกทินชนิดเมทอกซีสูง (high methoxy pectin) โดยน้ำตาลจะส่งเสริมให้เกิดแรง hydrophobic interaction ระหว่างหมู่เมทิลเอสเทอร์ ในสายพอลิเมอร์ของเพกทิน ช่วยเพิ่มความคงตัวให้แก่ junction zone (Oakenfull and Scott, 1984) ความแข็งแรงของเจลและอุณหภูมิในการเกิดเจลของเพกทินจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น ของน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นจนถึงระดับต่างๆ แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำตาลที่ใช้ (Pilnik and Rombouts, 1985)

การใช้น้ำตาลฟรักโทสจะส่งผลทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดเจลต่ำกว่าการใช้น้ำตาล ซูโครสและกลูโคส ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำตาลฟรักโทสจะมีหมู่ primary alcohol ที่อยู่ใน โมเลกุลมากกว่าน้ำตาลซูโครสและกลูโคส ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล ของน้ำตาลกับหมู่คาร์บอกซิลและหมู่เมทอกซิลบนโมเลกุลของเพกทิน ทำให้โมเลกุลของ เพกทินจับกันเป็น โครงสร้างตาข่ายได้ยากที่อุณหภูมิสูงๆ (Evageliou *et al.*, 2000) แต่การใช้ ฟรักโทสไซรัปมีผลทำให้เยลลี่จากเพกทินสามารถเกิดเจลได้ที่ปริมาณความเข้มข้นของ น้ำตาลและพีเอชในช่วงกว้างกว่าการใช้น้ำตาลซูโครสและกลูโคสไซรัป ตามลำดับ (อุไรรัช, 2538) ในการศึกษาผลของน้ำตาลต่อการเกิดเจลของโปรตีนเคซีน พบว่าการเติมน้ำตาล สามารถช่วยลดระยะเวลาของการเกิดเจล และช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้แก่เจลได้ (Dickinson and Merino, 2002)

2.3.2 สารก่อเจล

กัมและเยลลี่ จัดเป็นผลิตภัณฑ์ sugar confectionery ชนิดที่มีลักษณะเป็นเจล ส่วนผสมหลัก ที่สำคัญนอกจากน้ำตาล กลูโคสไซรัป และ/หรือน้ำตาลอินเวิร์ตแล้ว ยังมีสารก่อเจล (gelling agent) ซึ่งเป็นสารประเภทไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) รวมอยู่ด้วย จึงทำให้มีการเรียกชื่อผลิตภัณฑ์ ในกลุ่มนี้ว่า hydrocolloid confectionery หรือ hydrocolloid sweets สารไฮโดรคอลลอยด์นี้ ช่วยให้

ได้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แตกต่างกันออกไป สารไฮโดรคอลลอยด์ที่นำมาใช้มีหลายชนิด เช่น วุ้น เพกทิน เจลาติน แป้ง กัมอาระบิก หรือบางครั้งใช้ผสมรวมกัน (สุวรรณ, 2543) ซึ่งในกลุ่มประเทศยุโรปได้มีการนำสารไฮโดรคอลลอยด์มาใช้กับผลิตภัณฑ์ sugar confectionery ถึง 33% รองลงมาเป็นผลิตภัณฑ์นมและ desserts 24% (Gordon, 1992) ในผลิตภัณฑ์กัมมีเซลลีนัน เจลาตินเป็นส่วนผสมสำคัญที่ทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์ (Burg, 1998)

วุ้น (agar) เป็น colloidal polygalactoside สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดงประกอบด้วยส่วนของอะกาโรส (agarose) ซึ่งเป็นสายโซ่ตรงของ agarobiose และส่วนของอะกาโรเพกทิน (agaropectin) ซึ่งเป็นอะกาโรสที่ถูก sulfonate บางส่วน (Lapasin and Priel, 1999) รูป sulfate ester นี้ อาจมีได้ถึง 5-10% ช่วยทำให้เจลของวุ้นมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น แต่อาจมีเนื้อขุ่นถ้าใช้กับน้ำกระด้างถาวร วุ้นละลายได้ดีในน้ำที่ร้อนเกินกว่า 90 องศาเซลเซียส ใช้น้ำในการละลายค่อนข้างมาก ประมาณ 30-50 เท่าโดยน้ำหนัก (สุวรรณ, 2543) ความเข้มข้นของวุ้นเพียง 0.04% ก็สามารถเกิดเจลที่คงตัวได้ แต่จะใช้เวลาเซตตัวค่อนข้างนาน โดยที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในช่วง 8 ชั่วโมงแรก เจลจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเพียง 1% ต่อชั่วโมง หลังจากนั้นจะค่อยๆ ใช้เวลานานขึ้น และจะคงตัวเต็มที่เมื่อเวลาผ่านไปถึง 15 ชั่วโมง เจลของวุ้นที่ได้จะมีลักษณะเป็นโครงสร้างสายสั้น (short texture) มีความคงรูป ไม่ยืดหยุ่น สามารถทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ ได้ (Smewing, 1999)

เพกทิน (pectin) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่ง ที่นำมาใช้เป็นสารก่อเจลในอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวาง และเป็นสารที่มีความสำคัญต่อเนื้อสัมผัสในแยมและผลิตภัณฑ์เจลที่มีรสหวาน เช่น ผลิตภัณฑ์ลูกกวาด (Thakur *et al.*, 1997) โดยทั่วไปเพกทินจะสกัดจากเปลือกผลไม้ตระกูลส้ม หรือจากกากแอปเปิล เมื่อผ่านกระบวนการผลิตจะได้เป็นเพกทิน 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีหมู่เมทอกซีสูง และชนิดที่มีหมู่เมทอกซีต่ำ โดยชนิดที่มีหมู่เมทอกซีสูง เหมาะสำหรับนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีพีเอชต่ำ เช่น เยลลี่ผลไม้ เนื่องจากสามารถเกิดเจลได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูงและมีพีเอชต่ำ เจลที่ได้จากเพกทินจะมีลักษณะอ่อนนุ่ม ไม่ยืดหยุ่น และเป็นโครงสร้างสายสั้น (Smewing, 1999) ส่วนชนิดที่มีเมทอกซีต่ำนั้น การเซตตัวจะเกิดขึ้นเมื่อมีไอออนของแคลเซียมปนอยู่ด้วย โดยใช้ปริมาณน้ำตาลเพียงเล็กน้อยหรือไม่ใช้เลยก็ได้ และสามารถเกิดเจลกับแคลเซียมได้ในช่วงพีเอชระหว่าง 3.0-4.5 (May, 1997)

เจลาติน (gelatin) เป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่ได้จากการไฮโดรไลซ์คอลลาเจน ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน กระดูก และเอ็นของสัตว์ทุกชนิด การใช้เจลาตินในผลิตภัณฑ์นั้น ต้องละลายเจลาตินให้หมดก่อน ซึ่งทำได้ 2 วิธี คือ แช่เจลาตินในน้ำเย็นก่อน 1-5 ชั่วโมง หรือแช่ค้างคืนไว้ในห้องเย็น เพื่อหลีกเลี่ยงการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ แล้วให้ความร้อน

โดยการคั้นด้วยมือ 2 ชั้น จนได้อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส หรืออาจใช้วิธีค่อยๆ เติม เจลาตินลงไปใต้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 75-90 องศาเซลเซียส พร้อมกับกวนอย่างแรงและเร็ว อุณหภูมิ ในการเซตตัวให้เป็นเจลอยู่ระหว่าง 18-25 องศาเซลเซียส (สุวรรณ, 2543) เจลที่ได้จากเจลาติน จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่ม มีความยืดหยุ่น และสั้นไหวได้ มีความใส และเกือบจะไม่มีสี สามารถละลายได้ในปาก ให้ความรู้สึกละเอียดและรสชาติที่ดีเมื่อรับประทาน (Smewing, 1999)

คาร์ราจีแนน (carrageenan) เป็นสายโซ่พอลิแซ็กคาไรด์ที่มีหมู่ซัลเฟตเป็นองค์ประกอบอยู่ จำนวนมาก สกัดได้จากสาหร่ายทะเล คาร์ราจีแนนที่ผลิตได้จะมี 3 ชนิด คือ แคปปา-คาร์ราจีแนน (κ-carrageenan) ไอโอตา-คาร์ราจีแนน (ι-carrageenan) และแลมบ์ดา-คาร์ราจีแนน (λ-carrageenan) ซึ่งแตกต่างกันตรงจำนวนและตำแหน่งของหมู่ซัลเฟต (Lapasin and Pricl, 1999) เจลของแคปปา-คาร์ราจีแนนและไอโอตา-คาร์ราจีแนน เกิดในสภาวะที่มีไอออนบวก เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม และแอมโมเนียม เป็นต้น เจลที่ได้จากคาร์ราจีแนนทั้ง 3 ชนิด จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ต่างกัน และความแข็งแรงของเจลที่ได้จะขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนบวกที่มาจับในโครงสร้าง ไอโอตา-คาร์ราจีแนน เจลที่ได้มีความใส อ่อนนุ่ม และยืดหยุ่น แต่เจลที่ได้จากแคปปา-คาร์ราจีแนนจะมีลักษณะแข็งกระด้าง และเปราะ (Smewing, 1999)

2.3.3 กรด

กรดเป็นสารปรุงแต่งที่ช่วยให้กัมและเซลล์มีรสชาติดีขึ้น โดยต้องให้มีความสมดุล ระหว่างรสหวานและรสเปรี้ยว ซึ่งดูได้จากอัตราส่วนของบrikซ์กับกรด กรดที่นิยมใช้มากที่สุดในการผลิตกัม confectionery คือ กรดซิตริก ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และมีรสเปรี้ยวของกรดอย่างเด่นชัด (สุวรรณ, 2543) สำหรับกรดชนิดอื่น ได้แก่ กรดมาลิก กรดทาร์ทาริก และกรดแลกติก (Gross, 1978) หลักในการใช้กรดนั้น ปริมาณที่ใช้จะผันแปรตามกลิ่นของผลไม้ ในลักษณะช่วยเสริมกันให้ดีขึ้น โดยใช้เกณฑ์ดังนี้

สำหรับผลไม้กลิ่นอ่อน ใช้กรด 0-0.5% (ของน้ำหนักสุดท้าย)

สำหรับผลไม้ทั่วไป ใช้กรด 1%

สำหรับพวก acid drop ใช้กรด 1.5-2%

ตัวอย่างปริมาณการใช้กรดในการแปรรูปในอุตสาหกรรม

ลูกกวาดกลิ่นส้มและผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว เช่น บ๊วย 1-2%

ลูกกวาดกลิ่นราสเบอร์รี่ สตรอเบอร์รี่ 0.75-1.0%

ลูกกวาดกลิ่นผลไม้ในเขตเมืองร้อน เช่น แดง ลิ้นจี่ 0.5-0.75%

นอกจากนั้น กลิ่นบางกลิ่นที่ไม่ต้องการรสเปรี้ยว อาจจะใช้กรดแต่งรสเล็กน้อย เช่น เมนทอล ยูคาลิปตัส จะใช้กรดเพียง 0.25-0.5% เป็นต้น (สุวรรณ, 2543)

กรดสามารถแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนที่มีความสำคัญต่อการเกิดเจลของเพกทินชนิดที่มีเมทิลเอสเทอร์สูง โดยเมื่อปริมาณไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้น ไอออนลบบนสายเพกทินจะลดลง (Nussinovitch, 1997) ทำให้แรงผลักระหว่างสายน้อยลง ดังนั้นสายเพกทินจะเข้าใกล้กันมากขึ้น ส่งผลให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างเพกทิน น้ำ และน้ำตาล เกิดเป็นโครงสร้างเจลได้ หากมีปริมาณไฮโดรเจนไอออนมากเกินไปจะยับยั้งการเกิดเจล เนื่องจากสายพอลิเมอร์ของเพกทินจะถูกตัดให้เป็นสายสั้นๆ หรืออีกทางหนึ่ง สายเพกทินจะเข้ามารวมตัวกันมากจนเกิดการแยกตัวออกจากสารละลาย (อุไรรัช, 2538) กรดยังมีความสำคัญต่อการเกิดเจลของเจลาติน ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่า isoelectric point (pI) เจลาตินจะไม่สามารถละลายได้หากอยู่ในสถานะที่มีค่าพีเอชเท่ากับค่า pI ของมัน นอกจากนั้นในสถานะที่มีพีเอชต่ำกว่า 5 หรือสูงกว่า 9 พบว่าค่าความแข็งแรงของเจลที่ใช้เจลาตินทั้งชนิด type A และ type B จะมีค่าลดลง (Imeson, 1997)

ในการผลิตกัมและเยลลี่ มักจะใช้กรดร่วมกับสารที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ เพื่อควบคุมค่าพีเอชให้คงที่ โดยใช้กรดอ่อนที่กล่าวมาข้างต้นร่วมกับเกลือของกรดอ่อนชนิดนั้นๆ เช่น การใช้กรดซิตริกร่วมกับเกลือโซเดียมซิเตรตหรือโพแทสเซียมซิเตรต ปริมาณของการใช้โซเดียมซิเตรตหรือบัฟเฟอร์อื่นที่ใกล้เคียงกัน โดยทั่วไปอยู่ที่ 85 กรัม ต่อน้ำหนักสารให้ความหวาน 45 กิโลกรัม การใช้บัฟเฟอร์สามารถช่วยชะลอการเซตตัวของผลิตภัณฑ์ (Gross, 1978) และช่วยป้องกันไม่ให้น้ำตาลซูโครสถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นน้ำตาลอินเวิร์ต เนื่องจากน้ำตาลอินเวิร์ตที่เกิดขึ้น จะมีสมบัติในการดูดความชื้นได้ง่าย ซึ่งอาจทำให้ผลิตภัณฑ์อึมและเหนียวติดวัสดุที่ใช้ห่อ (อุไรรัช, 2538)

2.3.4 น้ำผลไม้

ขั้นตอนการเตรียมผลไม้สำหรับทำเยลลี่ผลไม้จะแตกต่างจากการทำแยมผลไม้ คือ ผลไม้ที่ใช้ผลิตเยลลี่จะเตรียมมาจากน้ำผลไม้ที่ผ่านการกรองอากาศออกแล้ว ซึ่งจะมีปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย ทำให้เยลลี่ผลไม้ที่ผลิตได้มีความใสและโปร่งแสง การผลิตเยลลี่ผลไม้ในระดับอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่จะผลิตจากน้ำผลไม้เข้มข้นมากกว่าที่จะใช้น้ำผลไม้ธรรมดา หรือน้ำผลไม้คั้นสด โดยจะทำการเคี่ยวน้ำผลไม้ น้ำตาล และสารก่อเจล จนได้ความเข้มข้นตามที่ต้องการ แล้วจึงเติมส่วนผสมของกรด สี และกลิ่นในขั้นตอนสุดท้าย (สุวรรณ, 2543; Shi and Luh, 1999)

2.3.5 สารที่ให้กลิ่นรส (flavor)

สารที่ให้กลิ่นรสในอาหารจัดเป็นสารประกอบที่มีความซับซ้อน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ สารให้กลิ่นรสจากธรรมชาติ สารให้กลิ่นรสที่ดัดแปลงจากสารธรรมชาติ และสารให้กลิ่นรสสังเคราะห์ (Edwards, 2000) ในผลิตภัณฑ์กัมและเยลลี่มักจะเติมสารให้กลิ่นรสภายนอกมากกว่าที่จะใช้กลิ่นรสจากน้ำผลไม้หรือจากเนื้อผลไม้เพียงอย่างเดียว เนื่องจากกลิ่นรส

ที่มากับผลไม้โดยตรงนั้น เมื่อผ่านกระบวนการผลิตจนถึงขั้นตอนสุดท้ายแล้ว จะมีกลิ่นรสเจือจางลงไปจากเดิมมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใช้สารให้กลิ่นรสควบคู่ไปด้วย (Edwards, 2000)

จุดหลอมเหลวของเจลมีผลต่อการปลดปล่อยกลิ่นรสออกจากผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจล ผลการศึกษาการปลดปล่อยกลิ่นรสในเยลลี่ที่เตรียมจากเจลาติน โดยผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครส ในช่วง 20-50% ในสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 20% พบว่า ความเข้มข้นของน้ำตาลในช่วง 20-30% เจลหลอมละลายเร็วกว่าที่ความเข้มข้นในช่วง 40-50% และพบว่าเยลลี่ที่มีจุดหลอมเหลวของเจลต่ำกว่าอุณหภูมิภายในปาก จะมีการปลดปล่อยกลิ่นรสได้เร็วกว่าเยลลี่ที่มีจุดหลอมเหลวของเจลสูงกว่าอุณหภูมิภายในปาก (Harrison and Hills, 1996)

2.4 ขั้นตอนในกระบวนการผลิตกัมและเยลลี่

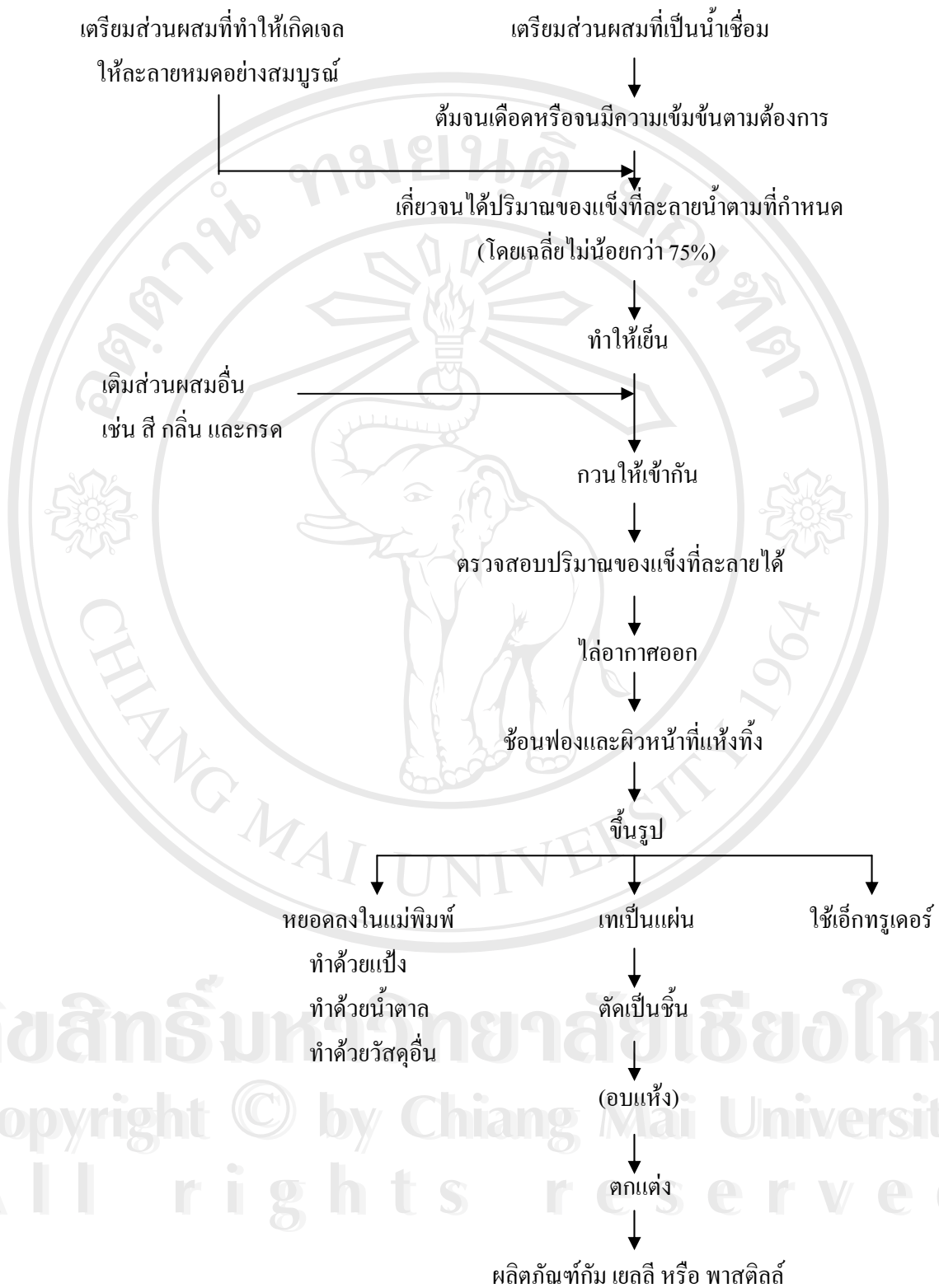
การเตรียมส่วนผสมของสารที่ทำให้เกิดเจล จะต้องแน่ใจว่าส่วนผสมทั้งหมดละลายได้อย่างสมบูรณ์ ในกรณีที่จะใช้ไฮโดรคอลลอยด์มากกว่า 1 ชนิด ควรเตรียมแต่ละชนิดแยกกัน แล้วจึงผสมรวมกันภายหลัง หรือปฏิบัติตามข้อแนะนำของผู้ขาย การละลายไฮโดรคอลลอยด์จะใช้วิธีเทหรือเติมไฮโดรคอลลอยด์ลงในน้ำเสมอ เพื่อให้ละลายได้ง่าย และปริมาณของน้ำจะขึ้นกับชนิดของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ เช่น เจลาติน คุณน้ำได้ 5-10 เท่าของน้ำหนักตัว แต่สามารถแช่เจลาตินในน้ำอัตราส่วน 1:1 ไว้ก่อน แล้วจึงอุ่นให้ละลายที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส วันที่เป็นเส้นจะต้องแช่นานถึง 12 ชั่วโมง แต่ถ้าเป็นวันผงแช่น้ำเพียง 1 ชั่วโมง สิ่งที่ควรระวัง คือ สารที่ต้องแช่น้ำไว้นานๆ ควรเก็บไว้ในที่เย็นเพื่อป้องกันการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ (สุวรรณ, 2543) สำหรับการละลายเพกตินนั้นสามารถเติมเพกตินลงไปในน้ำได้โดยตรง แต่จะต้องมีการคนให้กระจายตัวอย่างรวดเร็ว เพราะหากคนช้าไปจะทำให้เพกตินเกาะตัวกันเป็นก้อนเจลหรืออาจเลือกใช้อีกวิธีหนึ่งคือ นำเพกตินมาผสมกับน้ำตาลทรายในอัตราส่วน 1 : 5 ก่อนเทลงในน้ำ น้ำตาลจะช่วยไม่ให้เพกตินเกาะตัวกันเมื่อสัมผัสกับน้ำ (Edwards, 2000)

การเตรียมส่วนผสมที่เป็นน้ำเชื่อมจะแยกเตรียมไว้ต่างหาก โดยเฉพาะถ้าใช้เพกตินเป็นส่วนผสม จำเป็นต้องควบคุมให้พีเอชน้อยกว่า 4.5 เพื่อป้องกันไม่ให้เพกตินถูกไฮโดรไลซ์ แต่การต้มที่พีเอช 4.5 เป็นเวลานานๆ อาจมีผลทำให้น้ำตาลเกิดอินเวอร์ชันได้เช่นกัน ดังนั้นการแยกเตรียมส่วนผสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นในกรณีดังกล่าวนี้ เมื่อเทส่วนผสมที่มีไฮโดรคอลลอยด์ลงในน้ำเชื่อม (รวมเรียกว่าลิเคอร์) จะต้มเคี่ยวต่อจนได้ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ตามต้องการ อย่างน้อยที่สุด 75% อุณหภูมิสุดท้ายของส่วนผสมทั้งหมด จะมีผลวิกฤตต่อเวลาในการเซตตัวของเจล เช่น ลิเคอร์เพกตินที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะแข็งตัวได้เร็วกว่าลิเคอร์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ถึง 2 เท่า

ภายหลังจากต้มเคี้ยวและปล่อยให้ลิเคอร์เย็นลง จึงเติมส่วนผสมอื่นๆ เช่น สี กลิ่น และ ลำดับสุดท้าย คือ กรด ซึ่งต้องเติมเป็นลำดับสุดท้ายเสมอ เนื่องจากมีผลต่อความแข็งของเจล เป็นอย่างมาก และสามารถทำลายสภาพของไฮโดรคอลลอยด์ได้ ถ้าลิเคอร์ร้อนเกินไป สำหรับ ลิเคอร์ของเพกทินจะเกิดเจลอย่างรวดเร็วภายในครึ่งชั่วโมงหลังจากเติมกรด ตรวจวัดปริมาณ ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในลิเคอร์อีกครั้ง ถ้ายังต่ำกว่ากำหนดต้องต้มเคี้ยวต่อไป ถ้าสูงกว่า จะใช้วิธีเจือจางด้วยน้ำร้อน ในทางปฏิบัติแล้วควรหลีกเลี่ยงการต้มเคี้ยวต่อ เพราะไฮโดรคอลลอยด์ บางชนิดเสื่อมสภาพได้ง่าย และหากสังเกตพบว่ามีฟองอากาศอยู่มาก ต้องไล่อากาศออกก่อน โดย เทลิเคอร์ใส่ในภาชนะ แล้วนำเข้าตู้อบ อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20-30 นาที ซ้อนฟองและผิวหน้าที่แห้งทิ้งไป (สุวรรณ, 2543)

หลังจากได้ส่วนผสมที่ไล่ฟองออกและมีความใสแล้ว จะนำมาเทลงในแม่พิมพ์ (Edwards, 2000) การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์กัมและเยลลีนิยมทำกัน 3 แบบ คือ หยอดลงในพิมพ์ เทแผ่นเป็นแผ่น และใช้เอ็กซ์ทรูเดอร์ การขึ้นรูปโดยการหยอดลงในแม่พิมพ์นั้น อาจใช้แม่พิมพ์ที่ทำด้วยแป้งหรือ ทำด้วยน้ำตาล ซึ่งแป้งที่ใช้ควรมีความชื้นน้อยกว่า 6% และควรเป็นแป้งเก่า (สุวรรณ, 2543) การผสม น้ำมันแร่เพียงเล็กน้อยลงในแป้งจะช่วยให้แป้งจับตัวกันได้ดีขึ้น ทำให้ขึ้นรูปพิมพ์ได้ง่าย (Edwards, 2000) หากใช้น้ำตาลเป็นแม่พิมพ์ (sugar molding) จะผสมกลีเซอรินลงไปใต้น้ำตาล เล็กน้อย แต่วิธีนี้จะอบผลิตภัณฑ์ให้แห้งได้ช้าและยาก เพราะน้ำตาลดูดซับน้ำออกจากเนื้อขนม ได้ไม่ดีเท่าแป้ง ในกรณีของเยลลีนต้องใส่แป้งที่อบให้อุ่น เพื่อป้องกันไม่ให้เนื้อขนมเกิด thermal chock แต่ถ้าจะหยอดเยลลีนหรือกัมจากเจลาคิน ต้องใส่แป้งที่แช่เย็นเล็กน้อย เพื่อช่วยให้ เกิดชั้นผิวได้เร็ว การหยอดเนื้อขนมลงในแม่พิมพ์อาจใช้วัสดุแข็ง เช่น พลาสติก โลหะ หรือเซรามิก ที่เคลือบด้วยเทปลอนซึ่งจะมีรูเล็กๆ อยู่ที่ก้นแม่พิมพ์ (สุวรรณ, 2543) หรืออาจใช้แม่พิมพ์ที่เป็น วัสดุโค้งงอได้ เช่น ซิลิโคนหรือยาง (Edwards, 2000)

การอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้ว มักจะใช้ในกรณีที่ยอดเยลลีนลงในแม่พิมพ์แป้ง (Edwards, 2000) ในห้องอบความร้อนขนาดใหญ่ (stoving chamber) ซึ่งเป็นห้องปิดที่มีฉนวนหุ้ม มีอุปกรณ์ดูดซับความชื้น (dehumidifier) ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในช่วง 30-50% มีการ หมุนเวียนของอากาศดี อุณหภูมิอยู่ที่ 40-60 องศาเซลเซียส การอบนี้ใช้เวลาไม่น้อยตามแต่ละ ชนิดของผลิตภัณฑ์ เช่น ถ้าเป็นเจลาคินเนื้อนิ่ม อาจใช้เวลาเพียง 1 ชั่วโมง ถ้าเป็นกัมเนื้อแข็ง และชิ้นใหญ่ อาจต้องใช้เวลาราว 10 วัน (Edwards, 2000) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ในผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นหลังจากอบ 70-90% หลังจากนั้นจะโรยแป้งบนขนม เพื่อให้ผิวหน้า แห้งทั่วกัน นำออกจากตู้อบและปล่อยให้เย็นไว้ได้ (สุวรรณ, 2543)



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนในกระบวนการผลิตกัม เยลลี่ และพาสติลล์
ที่มา : สุวรรณ (2543)

2.5 ไฮโดรคอลลอยด์

ไฮโดรคอลลอยด์หมายถึงสารประกอบประเภทพอลิแซ็กคาไรด์กัม (polysaccharide gums) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายยาว และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ในโมเลกุลอาจประกอบด้วย โมโนแซ็กคาไรด์ชนิดเดียวกันทั้งหมด เป็นไฮโมพอลิแซ็กคาไรด์ เช่น เดกซ์แทรน (dextran) หรือประกอบด้วยโมโนแซ็กคาไรด์หลายชนิด เป็นเฮเตอร์โรพอลิแซ็กคาไรด์ เช่น กัมอะราบิก (gum arabic) กัมเกตติ (gum ghatti) และกัมคารายา (gum karaya) เป็นต้น

คำว่ากัม (gums) เป็นภาษาอียิปต์ หมายถึงสารที่มีลักษณะเหนียว (sticky substance) ดังนั้น เมื่อพอลิแซ็กคาไรด์ละลายหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำ จะทำให้สารละลายที่ได้มีความหนืดสูง หรือมีลักษณะเป็นเจล ในอุตสาหกรรมอาหารจึงได้นำเอาพอลิแซ็กคาไรด์กัมไปใช้ประโยชน์ เป็นสารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) สารเพิ่มความหนืด (thickener) อิมัลซิฟายเออร์, suspending agent, gelling agent, film-forming agent, encapsulating agent และหน้าที่อื่นๆ โดยหน้าที่ต่างๆ ดังได้กล่าวมานั้นจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพดีขึ้น เช่นมีลักษณะเนื้อและลักษณะปรากฏที่ดี และมีอายุการวางขายได้นาน (นิธิยา, 2543)

ไฮโดรคอลลอยด์สามารถจำแนกเป็นชนิดต่างๆ ได้ 2 วิธี คือ

1. จำแนกตามแหล่งที่มา ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

- ไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากธรรมชาติ ส่วนใหญ่สกัดได้จากส่วนต่างๆ ของพืช และสาหร่ายทะเล เช่น กัมอะราบิกสกัดได้จากยางพืช โลกัสต์บินกัมสกัดได้จากเมล็ดเพกทินสกัดได้จากผลไม้ และอะการ์หรือวุ้นสกัดได้จากสาหร่ายทะเล บางชนิดได้มาจากสัตว์ เช่น เจลาติน
- ไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นอนุพันธ์ของสารที่ได้จากธรรมชาติ หรือดัดที่แปรจากธรรมชาติ เช่น อนุพันธ์ของเซลลูโลส และอนุพันธ์จากสตาร์ช
- ไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นสารสังเคราะห์ เช่น พอลิไวนิลไพโรลิดีน และพอลิเอทิลีนออกไซด์พอลิเมอร์

2. จำแนกตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุล และ functional หรือ reactive group ที่อยู่ในโมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งอาจเป็นประจุลบ ไม่มีประจุ หรือเป็นกลาง สำหรับพอลิแซ็กคาไรด์กัมที่มีประจุลบ คือพวกที่มีหมู่ซัลเฟต หมู่คาร์บอกซิลิก และหมู่ฟอสเฟต (นิธิยา, 2543)

2.5.1 เจลาติน

เจลาติน (gelatin) เป็นพอลิเพปไทด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ผลิตจากโปรตีนคอลลาเจน ซึ่งเป็นโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของสัตว์ รวมไปถึง กระดูก เอ็น ฟังซีด กล้ามเนื้อ และหนังปลา เป็นต้น (Ledward, 2000) การผลิตเจลาตินมีขั้นตอนพื้นฐานอยู่ 3 ขั้นตอน คือ

- ก. การเตรียมวัตถุดิบ ได้แก่ การแยกส่วนประกอบที่ไม่ใช่คอลลาเจน เช่น ไขมันและแร่ธาตุต่างๆ ออกจากวัตถุดิบที่เป็นคอลลาเจนทั้งหมด
- ข. การเปลี่ยนคอลลาเจนเป็นเจลาติน
- ค. การทำเจลาตินให้บริสุทธิ์

การผลิตเจลาตินทำได้โดยนำเอาวัสดุที่เป็นแหล่งของคอลลาเจนมาล้างทำความสะอาดบดสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายกรดหรือด่าง เพื่อให้คอลลาเจนซึ่งเป็นโปรตีนโมเลกุลใหญ่ถูกย่อยสลายให้แตกตัวเป็นโปรตีนโมเลกุลที่เล็กลงได้ง่ายขึ้น (Poppe, 1997) และช่วยกำจัดส่วนที่ไม่ใช่เนื้อเยื่อเกี่ยวพันออก (Fennema, 1996) การแช่ในสารละลายกรดหรือด่างนั้นขึ้นอยู่กับแหล่งของคอลลาเจนที่ใช้เป็นวัตถุดิบและเป้าหมายของการนำเจลาตินไปใช้งาน โดยถ้าวัตถุดิบเป็นหนังหมูและกระดูก (ossein) มักจะมีการสกัดด้วยสารละลายกรด วิธีนี้ใช้แพร่หลายในทวีปอเมริกา ส่วนในทวีปยุโรปจะใช้หนังสัตว์ต่างๆ และกระดูกมาเป็นแหล่งของวัตถุดิบ และทำการสกัดด้วยสารละลายด่าง การแช่ในสารละลายกรดนั้นจะใช้เวลานานกว่าการแช่ในสารละลายด่าง คือ 10-48 ชั่วโมง และ 6-20 สัปดาห์ ตามลำดับ หลังจากที่แช่คอลลาเจนในสารละลายกรดหรือด่างแล้ว จะนำไปปรับสภาพให้เป็นกลาง และล้างด้วยน้ำ (Poppe, 1997) จากนั้นจะนำมาต้มในน้ำเดือด เพื่อทำลายพันธะที่ยึดสายโครงสร้างที่ประกอบเป็นเกลียวของคอลลาเจน โดยโมเลกุลของเจลาตินที่แตกออกมาจะกระจายอยู่ในน้ำร้อน ซึ่งจะถูกรองเพื่อแยกไขมันและสารแขวนลอยออก แล้วจึงนำไปประเหยให้เข้มข้น และอบให้แห้งต่อไป (Ledward, 2000) ปริมาณของเจลาตินที่ผลิตได้จะแตกต่างกันตามวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิต ดังนี้ จากกระดูก 16% กระดูกอ่อน 65%, dry splits 60%, wet splits 15% และจากหนังหมู 20% (Tourtellotte, 1978)

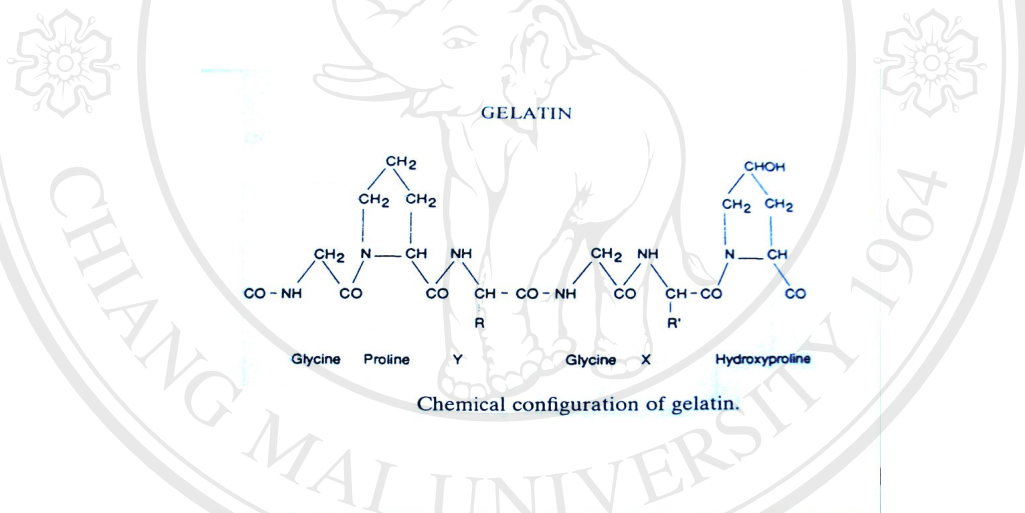
2.5.1.1 การจำแนกชนิดของเจลาติน

เนื่องจากกรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตเจลาตินจากคอลลาเจนนั้น สามารถเตรียมได้โดยใช้วัตถุดิบตั้งต้นหลายชนิด และขั้นตอนการเปลี่ยนคอลลาเจนเป็นเจลาตินสามารถทำได้ทั้งจากการแช่ในสารละลายกรด หรือสารละลายด่างดังกล่าวข้างต้น ทำให้เจลาตินที่ได้มีสมบัติแตกต่างกัน และสามารถแบ่งเจลาตินในทางการค้าได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ เจลาติน type A และ type B (ตารางที่ 2.8)

ตารางที่ 2.8 สมบัติของเจลาติน type A และเจลาติน type B

สมบัติของเจลาติน	type A	type B
วัตถุดิบ	หนังหมูและกระดูก	กระดูกและหนังสัตว์
สารละลายที่ใช้เตรียมเจลาติน	กรด	ด่าง
Bloom strength	75-300	75-275
ความหนืด (cp)	2.0-7.5	2.0-7.5
เถ้า (%)	0.3-2.0	0.05-2.0
ค่าพีเอช	3.8-6.0	5.0-7.4
isoelectric point (pI)	7.0-9.4	4.8-5.2

ที่มา : Poppe (1997) และ Johnson & Peterson (1974)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของเจลาติน

ที่มา : Poppe (1997)

2.5.1.2 โครงสร้างทางเคมีของเจลาติน

โมเลกุลของเจลาตินประกอบด้วยสายโซ่ยาวของกรดอะมิโน ที่เชื่อมกันด้วยพันธะเพปไทด์ ขนาดของโมเลกุลแปรผันตั้งแต่ที่เป็นพอลิเมอร์สายเดี่ยวมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 50,000 ไปจนถึงพอลิเมอร์หลายสายที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 1,000,000 (Ledward, 2000) functional group ของเจลาตินมีทั้งชนิดที่เป็นกรดและเป็นด่าง (Johnson and Peterson, 1974) เจลาตินที่ผลิตได้เกือบทั้งหมดจะเป็นอนุพันธ์ของคอลลาเจนชนิด type I ซึ่งจะทำให้เจลาตินขาดกรดอะมิโนซิสตีน แต่ในกรณีที่ผลิตจากหนังสัตว์จะเป็นคอลลาเจน type III ซึ่งจะมีซิสตีนเป็นองค์ประกอบอยู่

บางส่วน ทำให้เป็นแหล่งของซิสตีนได้บ้าง กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในเจลาตินส่วนใหญ่ ได้แก่ ไกลซีน โพรลีน และไฮดรอกซีโพรลีน (ตารางที่ 2.9) โดยไกลซีนจะมีจำนวน 1 ใน 3 ของกรดอะมิโนทั้งหมด และมักจัดเรียงตามลำดับ คือ ไกลซีน-X-Y ซึ่ง X และ Y จะเป็นโพรลีนและไฮดรอกซีโพรลีน ตามลำดับ เป็นส่วนใหญ่ (Poppe, 1997) การจัดเรียงโครงสร้างโมเลกุลของเจลาตินแสดงดังรูปที่ 2.3

ตารางที่ 2.9 กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในคอลลาเจนและเจลาติน type A และ type B

กรดอะมิโน	คอลลาเจน type I	เจลาติน type A	เจลาติน type B
อะลานีน	114	112	117
อาร์จินีน	51	49	48
แอสปาร์จิน	16	16	-
กรดแอสปาร์ติก	29	29	46
กลูตามีน	48	48	-
กรดกลูตามิก	25	25	72
ไกลซีน	332	330	335
ฮิสติดีน	4	4	4
4-ไฮดรอกซีโพรลีน	104	91	93
ไฮดรอกซีไลซีน	5	6	4
ไฮโซลูซีน	11	10	11
ลูซีน	24	24	24
ไลซีน	28	27	28
เมไทโอนีน	6	4	4
ฟีนิลอะลานีน	13	14	14
โพรลีน	115	132	124
ซีรีน	35	35	33
ทรีโอนีน	17	18	18
ไทโรซีน	4	3	1
วาเลีน	22	26	22

ที่มา : Ledward (2000)

2.5.1.3 สมบัติของเจลาติน

ก. การละลายน้ำ

เมื่อนำเจลาตินมาแช่ในน้ำเย็น เจลาตินจะดูดซับน้ำและพองตัวได้ 5-10 เท่า (Poppe, 1997) แต่จะสามารถละลายได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ที่ความเข้มข้นของเจลาตินไม่เกิน 34% และเมื่อนำเจลาตินมาอุ่นจนได้อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส เจลาตินจะละลายหมดภายในเวลาประมาณ 30 นาที การใช้น้ำร้อนจะช่วยให้เจลาตินละลายได้เร็วขึ้น แต่ทั้งนี้ควรจะมีการคนอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเจลาตินละลายหมด ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการเตรียมสารละลายเจลาติน

ในกรณีที่น่าเจลาตินที่อยู่ในรูปซอล (sol) มาอบแห้งโดยใช้วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยหรืออบแห้งแบบลูกกลิ้ง จะทำให้เจลาตินสามารถละลายได้ในน้ำเย็นและเกิดเจลอย่างรวดเร็ว แต่เจลที่ได้จะไม่ใส จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในการผลิตพุดดิ้งหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ไม่ต้องการความใสมากนัก

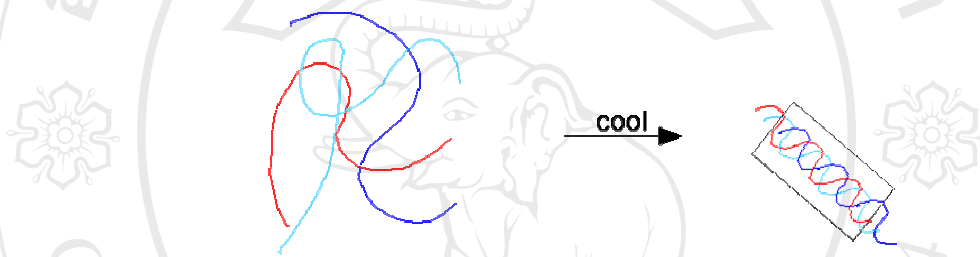
ในผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นน้อยๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ลูกกวาด การใช้กลูโคสไซรัปในปริมาณที่ไม่เหมาะสม อาจมีผลทำให้น้ำที่มีอยู่ถูกแย่งโดยน้ำตาล เจลาตินบางส่วนจะตกตะกอน ทำให้เกิดเจลได้น้อยลง และผลิตภัณฑ์จะมีความขุ่น (Marrs, 1982)

นอกจากนี้การละลายของเจลาตินจะขึ้นอยู่กับประจุบนโมเลกุลของโปรตีนหรือค่าพีเอชของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเจลาตินเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนสภาพได้ทั้งในรูปกรดและด่าง เมื่ออยู่ในสารละลายที่สภาพเป็นกรดและด่าง เจลาตินจะแสดงประจุบวกและประจุลบ ตามลำดับ และที่ค่าพีเอชหนึ่งๆ ที่เจลาตินจะมีประจุรวมเป็นศูนย์ คือเมื่อค่าพีเอชเท่ากับ Isoelectric point ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการละลายของโปรตีน

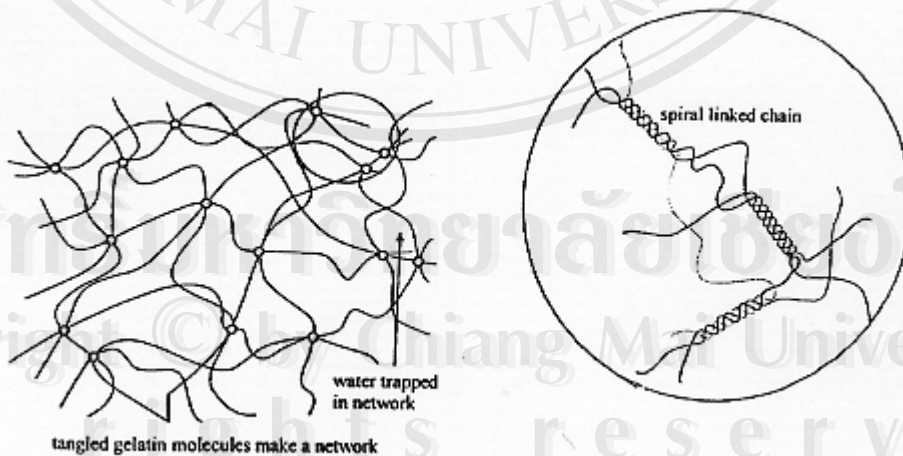
โดยทั่วไปแล้ว คอลลาเจนจะมี acidic group ที่อยู่ในรูปเอไมด์ (amide form) ถึง 35% และมีค่า Isoelectric point เท่ากับ 9.4 (Imeson, 1997) การผลิตเจลาตินโดยเตรียมคอลลาเจนในสารละลายกรดมีผลทำให้รูปของ acidic group เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจากการแช่เพียงระยะสั้น ทำให้ค่า Isoelectric point ของเจลาติน type A ยังอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับคอลลาเจน คือ 7.0-9.4 ส่วนการผลิตเจลาตินที่เตรียมโดยใช้สารละลายด่างนั้น ต้องแช่คอลลาเจนในสารละลายด่างเป็นระยะเวลานาน ทำให้มี acidic group ในรูปเอไมด์เหลืออยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่งผลให้ Isoelectric point ของเจลาติน type B ลดลงมาอยู่ในช่วง 4.8-5.2 (Poppe, 1997)

ข. การเกิดเจล (gelation)

ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันแล้วว่ากลไกในการเกิดเจลของเจลาตินนั้น เกิดจากการผันกลับไปเป็น random coil-helix (Imeson, 1997) โดยขณะที่เจลาตินละลายอยู่ในน้ำร้อน โมเลกุลของเจลาตินจะยังคงอยู่ในรูปพอลิเมอร์สายเดี่ยว แต่หลังจากที่ลดอุณหภูมิลง ตำแหน่งที่มีหมู่ imino acid จำนวนมากบนสายพอลิเพปไทด์ จะเกิดการบิดตัวกลายเป็นโครงสร้างแบบเกลียวซิดกันเป็น triple helical ด้วยพันธะไฮโดรเจน เป็นช่วงสั้นๆ โดยทำหน้าที่เป็น junction zone และทำให้เกิดเป็นโครงสร้างของเจลแบบ 3 มิติ (Ledward, 2000) ภาพจำลองในการเกิดเจลของเจลาตินแสดงดังรูปที่ 2.4 และ 2.5



รูปที่ 2.4 การเกิด โครงสร้างแบบเกลียว triple helical ของสายพอลิเมอร์ของเจลาติน ขณะทำให้เย็นตัว



รูปที่ 2.5 โครงสร้างตาข่ายของเจลาตินเจล

ที่มา : Ogborn (2004)

ตำแหน่งที่เกิดเกลียวแบบ triple helical ของสายพอลิเมอร์ดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็น junction zone ในโครงข่ายสามมิติ ที่คงตัวอยู่ได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน (Babin and Dickinson, 2001) และเนื่องจากพันธะที่ช่วยให้เจลของเจลาตินคงตัวอยู่ได้นั้นเป็นเพียงพันธะไฮโดรเจน ซึ่งจะมีความไวต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น และสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก (reversible gel) นอกจากนั้นเจลาตินยังสามารถหลอมละลายได้ที่อุณหภูมิ 27-34 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าในร่างกายมนุษย์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดเจลโดยเจลาตินสามารถละลายได้ในปาก ช่วยให้ความเคี้ยวที่ติดขยับรับประทาน (Poppe, 1997)

ค. ความแข็งแรงของเจล (gel strength)

ความแข็งแรงของเจล คือ น้ำหนักเป็นกรัมที่ต้องใช้ในการกด probe ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร ให้ลึกลงไปจากผิวเจลเป็นระยะ 4 มิลลิเมตร วิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวัดความแข็งแรงของเจลเพื่อกำหนดเกรดของเจลาตินหรือค่า bloom strength จะใช้เครื่องมือ bloom meter ตามวิธีของ British Standards Institute (BS 757, 1975) โดยทำการวัดความแข็งแรงของเจลเยลลี่ที่เตรียมจากสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 6.67% บรรจุอยู่ในพลาสติกมาตรฐาน และได้ผ่านการบ่มที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง ความแข็งแรงของเจลาตินเจล (gel strength) จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของเจลาตินเพื่อช อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการบ่มเจล

เจลาตินในทางการค้าจะมีค่า bloom strength อยู่ระหว่าง 50-300 bloom (กรัม) การผลิตเยลลี่ชนิดอ่อน (soft jellies) หรือกัมมีแบร์ จะใช้เจลาตินตั้งแต่ 6-9% ขึ้นอยู่กับเกรดของเจลาตินที่ใช้ในช่วง 150 ถึง 250 bloom และจะนิยมใช้เจลาติน type A เนื่องจากจะให้เจลที่มีความหนืดต่ำ (Imeson, 1997)

ง. จุดหลอมเหลว

จุดหลอมเหลวของเจลาตินตามวิธีของ British Standards Institute คือ อุณหภูมิที่ทำให้เจลของเจลาตินอ่อนตัวจนยอมให้หยดของคาร์บอนเตตระคลอไรด์จมลงไปได้ ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อจุดหลอมเหลว ได้แก่ ระยะเวลาในการบ่มเจล ความเข้มข้นของเจลาติน และชนิดของเกลือ โดยจุดหลอมเหลวของเจลาตินเกรดสูงๆ จะขึ้นอยู่กับสภาวะของการบ่มเจลในชั่วโมงแรก นอกจากนั้นจุดหลอมเหลวจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของเจลาติน ส่วนการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์จะมีผลทำให้จุดหลอมเหลวของเจลาตินลดลง

โดยทั่วไปจุดหลอมเหลวของเจลาตินที่ความเข้มข้น 10% มีค่าอยู่ในช่วง 27-32 องศาเซลเซียส ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่า bloom strength และชนิดของเจลาตินที่นำมาใช้เตรียม (Imeson, 1997)

จ. จุดเซตตัว

จุดเซตตัวของสารละลายเจลาตินขึ้นอยู่กับสภาวะการให้ความร้อนและการกระทบกระเทือนระหว่างรอให้เซตตัว โดยเมื่อมีแรงภายนอกมากระทบจะมีผลทำให้เจลาตินใช้เวลาเซตตัวนานขึ้น นอกจากนั้นอุณหภูมิในการเซตตัวจะสูงขึ้นหากเจลาตินที่อยู่ในสภาพชอลถูกทำให้เย็นลงอย่างช้าๆ เมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีที่ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว และจุดเซตตัวของสารละลายเจลาตินความเข้มข้น 10% จะแปรผันอยู่ในช่วง 27-29 องศาเซลเซียส ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า bloom strength และชนิดของเจลาตินด้วย (Imeson, 1997)

ฉ. ความหนืด

การวัดความหนืดของสารละลายเจลาตินโดยทั่วไปจะวัดจากเวลาที่ใช้ในการไหลของสารละลายผ่านปิเปตมาตรฐาน วิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดจะเป็นวิธีของ British Standards Institute (BS 757, 1975) โดยจะใช้เครื่องวัดความหนืดที่ทำด้วยท่อคาปิลลารีแก้ว ปรับตั้งค่ามาตรฐานตาม BS 188 ท่อคาปิลลารีที่ใช้วัดจะต้องสะอาดและแห้ง ในการวัดจะใช้สารละลายเจลาตินที่มีความเข้มข้น 6.66% (เตรียมโดยใช้เจลาติน 7.5 กรัม ละลายในน้ำ 105 มิลลิลิตร) วัดเวลาการไหลผ่านท่อคาปิลลารีที่อุณหภูมิ 60 ± 0.1 องศาเซลเซียส (Ledward, 2000)

ค่าความหนืดของสารละลายเจลาตินจะขึ้นกับแรงยึดเหนี่ยวทางไฮโดรไดนามิก (hydrodynamic interaction) ระหว่างโมเลกุลของเจลาตินเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งผลจากตัวทำละลายและจากโมเลกุลของเจลาตินแต่ละโมเลกุลจะลดน้อยลงมากเมื่อเจลาตินมีความเข้มข้นสูงขึ้น นอกจากนั้น ค่าความหนืดยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและค่าพีเอชของสารละลาย เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นกว่า 40 องศาเซลเซียส ความหนืดของสารละลายจะมีค่าลดลง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะของกราฟเอกซโปเนนเชียล และค่าความหนืดจะลดลงต่ำสุดเมื่อสารละลายมีค่าพีเอชเท่ากับค่า isoelectric point ของเจลาติน (Imeson, 1997) สารละลายเจลาตินที่มีค่าความหนืดต่ำและมีความแข็งแรงของเจลสูง เหมาะที่จะนำมาใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ลูกกวาด ส่วนสารละลายเจลาตินที่มีความหนืดสูงจะเหมาะในการนำมาผลิตขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม

2.5.1.4 การใช้เจลาตินในอุตสาหกรรมอาหาร

เจลาตินถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากกว่าอุตสาหกรรมชนิดอื่น โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ลูกกวาด ขนมหวาน และแมชชัวร์โลว์ (Ledward, 2000) เหตุผลหลักที่ใช้เจลาตินกันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารคือ

- ก. เจลของเจลาตินจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่ม ยืดหยุ่น มีความใส ส่วนใหญ่จะไม่มีสี ในทางอุตสาหกรรมอาหารได้นำเจลาตินมาใช้เป็นสารก่อเจลกันอย่างแพร่หลาย

(Babin and Dickinson, 2001) และนิยมใช้มากในผลิตภัณฑ์ลูกกวาดและเยลลี่ผลไม้ (Imeson, 1997)

- ข. เจลาตินให้เจลที่มีคุณภาพสูงในสารละลายที่เจือจาง
- ค. ในสภาวะที่มีความเข้มข้นสูง เจลของเจลาตินจะมีเนื้อสัมผัสที่ยืดหยุ่นคล้ายกัม และค่อยๆ ละลายอย่างช้าๆ ในปาก
- ง. เจลาตินสามารถใช้เป็น emulsifying agent, thickening agent และ foaming agent ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- จ. สามารถใช้เจลาตินเป็น flocculating agent ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ไวน์ และเบียร์ ซึ่งจะช่วยจับอนุภาคของสารแขวนลอยและรวมตัวกันตกตะกอน จึงทำให้ส่วนผสมมีความใสมากขึ้น (Ledward, 2000)

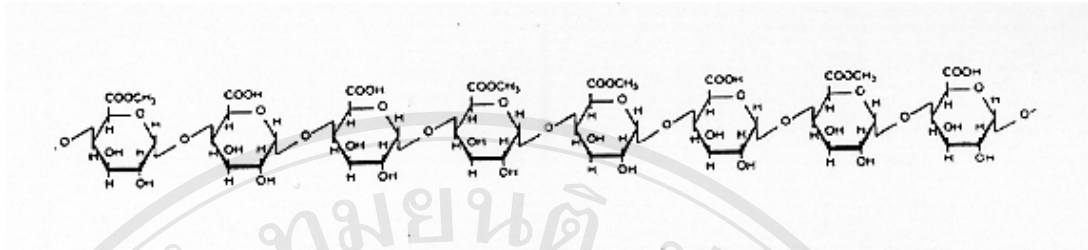
2.5.2 เพกทิน

เพกทินเป็นสารประกอบประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ทำหน้าที่เป็นตัวยึด (adhesive) หรือ firming agent ในผลไม้และผักหลายชนิด (Gross, 1978) สามารถสกัดได้จากเปลือกผลไม้ตระกูลส้มและพบได้ในเนื้อผลไม้ เช่น แอปเปิลและฝรั่ง (นิธิยา, 2543) เพกทิน ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่ และเป็นสารคงตัว (stabilizer) ในผลิตภัณฑ์นมที่มีสภาพเป็นกรด โดยป้องกันไม่ให้เคซีนที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในน้ำนมรวมตัวกันตกตะกอน (Pilnik and Rombouts, 1985)

เพกทินที่พบในผลไม้มีทั้งรูปที่ไม่ละลายน้ำ เรียกว่า โปรโทเพกทิน (protopectin) และรูปที่ละลายน้ำได้ ซึ่งประกอบด้วยกรดเพกทินิก (pectinic acid) และกรดเพกติก (pectic acid) (Crandall and Wicker, 1986) ในผลไม้ที่ยังไม่สุกโมเลกุลของเพกทินจะประกอบด้วยหมู่เมทิลจำนวนมากและไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อผลไม้สุกโปรโทเพกทินจะละลายน้ำได้มากขึ้น และเมื่อผลไม้แก่จัดและเริ่มมีการเสื่อมสลาย เพกทินจะถูกไฮโดรไลซ์จนถึงจุดที่ทำให้ผลไม้สูญเสียความแน่นของเนื้อ และเพกทินจะมีกำลังในการเกิดเจลลดลง (Gross, 1978)

2.5.2.1 โครงสร้างของเพกทิน

โมเลกุลของเพกทินประกอบด้วยสายพอลิเมอร์หลักของกรดกาแลกทูโรนิก (D-galacturonic acid) จำนวน 200-1,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α (1-4) (Nussinovitch, 1997; Schols and Voragen, 2002) แสดงผังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์สายหลักของเพกทิน

ที่มา : Schols and Voragen (2002)

นอกจากนั้น ในโมเลกุลของเพกทินยังมีสายแขนงเป็นน้ำตาลอะราบีโนสและน้ำตาลกาแลกโทส โดยที่บางส่วนของหมู่คาร์บอกซิลในโมเลกุลของ D-galacturonic acid จะถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยหมู่เมทิลได้เป็นเมทิลเอสเทอร์ (นิธิยา, 2543) ในเพกทินบางชนิด บางส่วนของหมู่เมทิลเอสเทอร์จะถูกแทนที่ด้วยหมู่เอไมด์ ซึ่งอาจมากที่สุดถึง 80% (Nussinovitch, 1997)

อัตราส่วนของหมู่ methoxylated galacturonic acid ต่อหมู่ของ D-galacturonic acid ทั้งหมดที่มีอยู่ในโมเลกุลของเพกทิน เรียกว่า degree of methylation (DM) (นิธิยา, 2543) หรือ degree of esterification (DE) (Nussinovitch, 1997)

2.5.2.2 ชนิดของเพกทิน

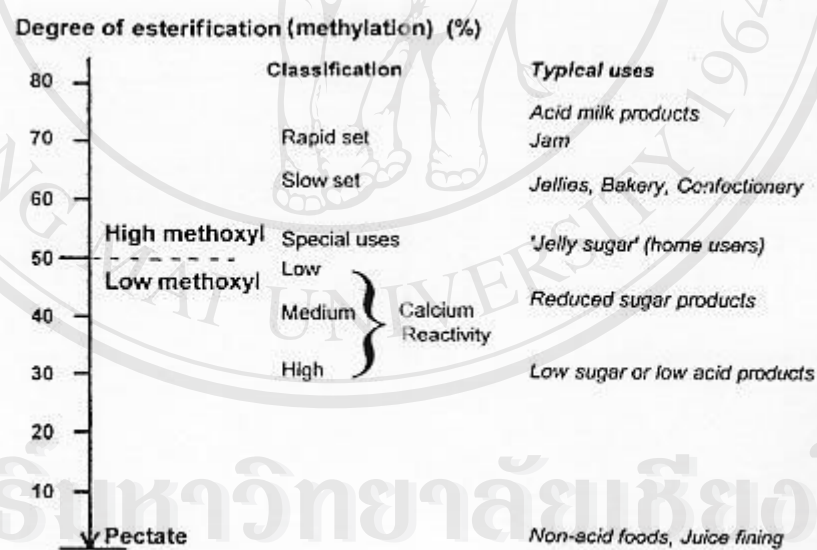
เพกทินในทางการค้าแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามค่า degree of methylation คือ เพกทินชนิดเมทอกซีสูง และเพกทินชนิดเมทอกซีต่ำ (Rolin and De Vries, 1990)

ก. เพกทินชนิดเมทอกซีสูง (**High methoxyl pectin**) คือเพกทินที่มีค่า DM ตั้งแต่ 50% ขึ้นไป เพกทินที่มีในทางการค้าจะมีค่า DM แปรผันในช่วง 55-75% การเกิดเจลโดยเพกทินชนิดนี้จะต้องมีส่วนผสมที่เหมาะสม คือ มีปริมาณน้ำตาล 55-65% ค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 2.9-3.1 (Rolin and De Vries, 1990) เพกทินชนิดเมทอกซีสูง ยังสามารถแบ่งออกได้ตามอัตราเร็วของการเกิดเจล คือ

- ชนิด rapid set จะมีค่า DM อยู่ในช่วง 70-75% เพกทินชนิดนี้จะเกิดการเซตตัวเป็นเจลอย่างรวดเร็ว เหมาะในการนำมาใช้ทำแยมผลไม้ เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการเซตตัวของเจลดน้อย ช่วยป้องกันการจมตัวของผลไม้
- ชนิด slow set จะมีค่า DM อยู่ในช่วง 55-70% เพกทินชนิดนี้จะเกิดการเซตตัวเป็นเจลช้า การเกิดเจลต้องมีปริมาณน้ำตาลในระบบสูง อุณหภูมิที่ใช้ในการเซตเจลจะต่ำกว่าชนิดแรก เหมาะในการนำมาใช้ทำเยลลี่และผลิตภัณฑ์ลูกกวาดชนิดอื่นๆ (May, 1997)

ข. เพกทินชนิดเมทอกซีต่ำ (Low methoxyl pectin) คือเพกทินที่มีค่า DM ต่ำกว่า 50% ส่วนใหญ่จะมีค่า DM อยู่ในช่วง 20-40% (Dumitriu, 1998) แต่ในทางการค้าจะนิยมใช้ค่า DM ในช่วง 20-40% การเกิดเจลโดยเพกทินชนิดนี้สามารถเกิดเจลได้โดยต้องมีแคลเซียมไอออนอยู่ด้วยอย่างเพียงพอต่อการเกิดเจล (May, 1997) อาจใช้น้ำตาลในปริมาณเพียงเล็กน้อย หรือไม่ใช้เลยก็ได้ (Axelos and Thibault, 1991) เพกทินชนิดเมทอกซีต่ำ ยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มตามอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยากับอนุพลของแคลเซียมไอออน คือ กลุ่มที่มีความไวต่อแคลเซียมสูง จะมีค่า DM มาก และเกิดเจลได้เร็วที่สุด กลุ่มที่มีความไวต่อแคลเซียมปานกลาง จะมีค่า DM ปานกลาง และกลุ่มที่มีความไวต่อแคลเซียมต่ำ จะมีค่า DM ต่ำ โดยการเกิดเจลของเพกทินชนิดเมทอกซีต่ำทั้ง 3 กลุ่ม จะเกิดเจลได้เร็ว ปานกลาง และช้า ตามลำดับ

ชนิดของเพกทิน และการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การแบ่งชนิดของเพกทินตามค่า DM และการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์

ที่มา : May (2000)

2.5.2.3 สมบัติของเพกทิน

ก. การละลายของเพกทิน

เพกทินสามารถละลายได้ในน้ำเย็นและให้สารละลายที่มีความหนืด การละลายเพกทินจะต้องคนให้ผงเพกทินกระจายตัวในน้ำอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเป็นชั้นเจลเคลือบผิวนอกของก้อนเพกทิน ซึ่งจะทำให้เพกทินละลายได้ช้าและยากขึ้น (May, 1997) เพกทินไม่ละลายที่สภาวะเดียวกันกับที่เกิดเจล และจะละลายได้ดีขึ้นในน้ำอุ่นที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส เมื่อผงเพกทินสัมผัสกับน้ำ จะจับตัวกันเป็นก้อนได้ง่าย ทำให้ยากต่อการละลาย ดังนั้นจึงต้องมีเทคนิคในการละลายเพกทิน (Rolin and De Vries, 1990) ซึ่งมีอยู่ 3 วิธี ดังนี้

- วิธีที่ 1 เป็นการใช้เครื่องมือสำหรับผสมที่มีความเร็วสูง เช่น เครื่องปั่น โดยเทผงเพกทินให้กระจายตัวในน้ำร้อนที่มีเครื่องผสมและกวนด้วยความเร็วต่ำก่อน หลังจากนั้นจึงเพิ่มความเร็วให้สูงขึ้น เมื่อสารละลายเพกทินเริ่มมีความหนืดเพิ่มขึ้น อุณหภูมิที่เหมาะสมกับวิธีนี้จะอยู่ในช่วง 60-80 องศาเซลเซียส
- วิธีที่ 2 เป็นการทำให้เพกทินเปียกหรือกระจายตัวในของเหลวที่เพกทินไม่ละลาย เช่น แอลกอฮอล์และไอโซโพรพานอล โดยเติมเพกทินลงไปให้กระจายตัวในสารดังกล่าวแล้วจึงเติมน้ำ และคนอย่างต่อเนื่อง
- วิธีที่ 3 โดยใช้การผสมผงเพกทินกับน้ำตาลทรายให้เข้ากัน ในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 โดยน้ำหนัก แล้วจึงเทส่วนผสมของเพกทินลงในน้ำ คนอย่างต่อเนื่องจนเพกทินละลาย (Rolin, 2002) กรณีที่ไม่ได้ใช้เครื่องมือที่มีความเร็วสูง อาจต้มสารละลายเพกทินให้เดือดเป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าเพกทินละลายจนหมด (Rolin and De Vries, 1990)

ข. ความหนืด

ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของสารละลายเพกทิน ได้แก่ ความเข้มข้นของเพกทิน ปริมาณแคลเซียมหรือโลหะที่ไม่ใช่หมู่ alkali ค่าพีเอช สมบัติทางเคมีของเพกทิน ค่า degree of methylation และน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของเพกทิน

สารละลายเจือจางของเพกทิน (ที่ความเข้มข้นไม่เกิน 0.5%) จะมีสมบัติเป็น Newtonian และมีการตอบสนองต่อแคลเซียมไอออนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (May, 1997) สำหรับสารละลายเพกทินที่มีความเข้มข้นเกิน 1% จะมีสมบัติเป็น Pseudoplastic (Kawakatsu *et al*, 2001) และเมื่อพีเอชของสารละลายเพกทินเจือจางมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น เกลือที่มีประจุ +1 จะมีผลทำให้ความหนืดของสารละลายเพกทินลดลง เนื่องจากแรงดึงดูดประจุลดลง

สารละลายเพกทินเจือจางของเพกทินที่ไม่มีไอออนของแคลเซียมปนอยู่ พบว่าความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชมีค่าลดลงในช่วงพีเอชจาก 5.5 จนถึง 2.2 ส่วนพีเอชที่อยู่นอกช่วงดังกล่าว หากมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดจะสูงขึ้นตามไปด้วย

สารละลายของเพกทินชนิดเมทอกซีต่ำที่มีความไวต่อแคลเซียมไอออนสูง จะมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีปริมาณแคลเซียมไอออนในระบบเพิ่มขึ้น

สารละลายของเพกทินที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูง จะมีความหนืดสูง จึงสามารถทำนายน้ำหนักโมเลกุลของเพกทินจากการวัดค่า *intrinsic viscosity* ได้ (Nussinovitch, 1997)

ค. การเกิดเจล

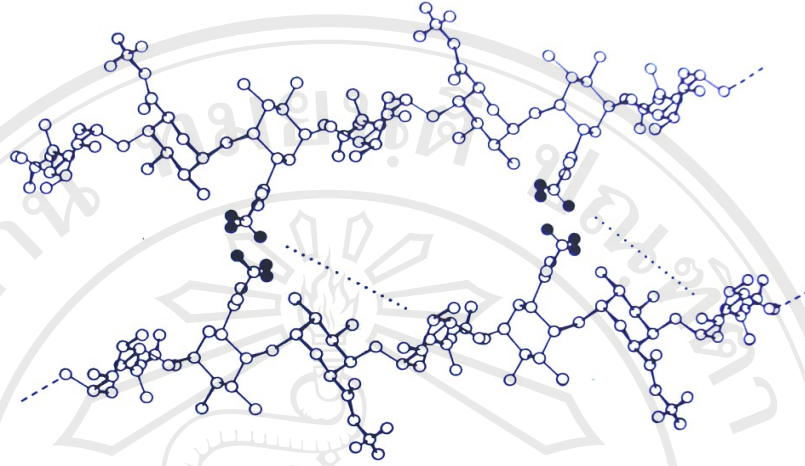
เพกทินชนิดเมทอกซีสูงจะเกิดเจลได้ในสภาวะที่มีพีเอชต่ำ มีค่าน้ำออสโมติก หรือมีความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้สูง และมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดเจล โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของเพกทินชนิด *slow set* และ *rapid set* คือในช่วงประมาณ 3.2 และ 3.4 ตามลำดับ (Nussinovitch, 1997) การกวนหรือการทบกระเทือนในช่วงที่เพกทินกำลังสร้างเจล จะทำให้ได้เจลที่ไม่แข็งแรง โดยทั่วไปเจลเพกทินที่เกิดขึ้นจะไม่สามารถนำมาหลอมละลายได้อีก

ในสภาวะที่มีพีเอชต่ำ แรงผลักดันระหว่างประจุบนโมเลกุลของเพกทินจะลดลง ทำให้โมเลกุลของเพกทินเข้ามาใกล้กันได้มากขึ้น และในสภาวะที่มีค่าน้ำออสโมติก หรือมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้อยู่ในปริมาณสูง แรง *hydrophobic interaction* ระหว่างหมู่เมทิลเอสเทอร์จะมีความคงตัวมากขึ้น ดังนั้นในสภาวะของค่าพีเอชและค่าน้ำออสโมติกที่เหมาะสม สายพอลิเมอร์ของเพกทินจะรวมตัวเกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายสามมิติ (Oakenfull and Scott, 1984) และคงตัวอยู่ได้ด้วยแรงดึงดูดจากพันธะไฮโดรเจน และพันธะไฮโดรโฟบิก (*hydrophobic interaction*) ที่เกิดระหว่างหมู่เมทิล (Dumitriu, 1998) ซึ่งจากการศึกษาการเกิดเจลในเพกทินชนิดเมทอกซีสูงด้วยวิธี *X-ray diffraction* และพิจารณาค่าพลังงานอิสระมาตรฐานของการเกิดเจล พบว่าแรงสำคัญระหว่างโมเลกุลที่ทำให้เกิด *junction zone* ประกอบด้วยแรงจากพันธะไฮโดรเจน และแรงจาก *hydrophobic interaction* (Oakenfull and Scott, 1984) ดังนี้

โครงสร้างของ *junction zone* ในเจลเพกทินชนิดเมทอกซีสูง ที่ได้จากการศึกษาด้วย *X-ray diffraction* ประกอบด้วยแรงจากพันธะไฮโดรเจน (จุดไข่ปลา) และแรงจาก *hydrophobic interaction* (วงกลมทึบ) แสดงดังรูปที่ 2.8

ง. ความแข็งแรงของเจล

ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของเจลเพกทินชนิดเมทอกซีสูง ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของน้ำตาล ชนิดและความเข้มข้นของเพกทิน และความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (อุไรรัช, 2538)



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ junction zone ในเจลเพกทินชนิดเมทอกซีสูงที่ได้จากการศึกษา
ด้วย X-ray diffraction
ที่มา : Oakenfull and Scott (1984)

จ. ชนิดและความเข้มข้นของน้ำตาล

น้ำตาลเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดเจล โดยทำหน้าที่เป็น dehydration agent และเป็นปัจจัยสนับสนุนให้เกิดพันธะไฮโดรเจนภายในโครงสร้างตาข่าย (Crandall and Wicker, 1986) น้ำตาลจะดึงชั้นของน้ำที่อยู่รอบๆ สายเพกทิน ทำให้สายเพกทินเข้ามาใกล้กัน (Oakenfull and Scott, 1984) เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลในระบบเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้เจลมีความแข็งแรงมากขึ้น หากมีปริมาณน้ำตาลมากเกินไป การเกิดเจลของเพกทินจะลดลง เนื่องจากน้ำส่วนใหญ่จะไปละลายน้ำตาล ทำให้ไม่เพียงพอต่อการพองตัวและการละลายของเพกทิน จึงส่งผลให้เกิดโครงสร้างตาข่ายของเจลลดน้อยลง (Pilgrim *et al.*, 1991) ชนิดของน้ำตาลก็มีผลต่อความแข็งแรงของเจลเช่นกัน โดยพบว่าการใช้กลูโคสหรือซูโครส จะมีส่วนทำให้ความแข็งแรงของเจลลดลง แต่ค่าพีเอชและอุณหภูมิในการเกิดเจลจะเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวจะเกิดขึ้นในกรณีที่ใช้ น้ำตาลมอลโทสด้วยเช่นกัน (May, 2000) ส่วนการใช้น้ำตาลฟรักโทส จะมีผลต่อความแข็งแรงของเจลเล็กน้อย แต่จะมีผลทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลต่ำลง (May, 1997) ปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของเพกทินชนิดเมทอกซีสูง อยู่ในช่วง 50-80% (Pilgrim *et al.*, 1991)

จ. ชนิดและความเข้มข้นของเพกทิน

เพกทินทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดเจล โครงสร้างตาข่ายของเจลเพกทิน ซึ่งสามารถคงตัวอยู่ได้ด้วยพันธะไฮโดรเจนและพันธะไฮโดรโฟบิก จะอุ้มสารละลายไว้ภายใน โครงสร้างดังกล่าว (Oakenfull, 1991) หมู่เมทิลที่มีอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลของเพกทินจะมีความสำคัญต่อการเกิดเจล เนื่องจากพันธะไฮโดรโฟบิกที่เกิดขึ้น จะเกิดโดยหมู่เมทิลบนสายโซ่ของเพกทิน และหากมีหมู่เมทิลมากขึ้น หรือมีค่า degree of methylation สูงขึ้น จะส่งผลให้ สารละลายของเพกทินมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้น และสามารถเกิดเจลได้เร็วขึ้น แต่การที่มีหมู่เมทิล บนสายโซ่ของเพกทินมากขึ้นนั้น ก็ย่อมจะต้องเพิ่มปริมาณน้ำตาลให้มากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจาก น้ำตาลจะทำหน้าที่ยึดจับกับน้ำที่อยู่ล้อมรอบหมู่เมทิล และช่วยผลักดันให้เกิดพันธะไฮโดรโฟบิก ระหว่างหมู่เมทิลเพิ่มมากขึ้นได้ (Walkinshaw and Arnott, 1981)

ข. ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน

เมื่อปริมาณไฮโดรเจนไอออนในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ไอออนลบบนสายโซ่ของเพกทินจะลดลง ซึ่งมีผลทำให้แรงผลักระหว่างสายลดลง สายเพกทินจะเข้ามาใกล้กันมากขึ้น และเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างเพกทิน น้ำ และน้ำตาล (Crandall and Wicker, 1986) ดังนั้นการลดค่าพีเอช หรือการมีปริมาณไฮโดรเจนไอออนเพิ่มมากขึ้น จะมีผลทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดเจลสูงขึ้น และเจลที่ได้จะมีความแข็งแรงมากขึ้น การลดค่าพีเอชลงเรื่อยๆ จนถึงจุดๆหนึ่ง จะทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลเพิ่มขึ้นจนเข้าใกล้จุดอุณหภูมิที่เจลเกิดการแยกตัว (deposit) ซึ่งที่ค่าพีเอชต่ำกว่านี้ จะทำให้เพกทินสร้างเจลบางส่วนก่อนกำหนด (pre-gel) และเจลของเพกทินที่ได้จะไม่แข็งแรง และไม่เหนียวติดกัน นอกจากนี้ ยังสามารถเกิด syneresis ได้ง่ายอีกด้วย (May, 2000)

2.5.2.4 การใช้เพกทินในอุตสาหกรรมอาหาร

การนำเพกทินมาใช้ประโยชน์สมัยแรกสุดนั้น จะเป็นการนำเพกทินมาใช้ในการผลิตแยมและเยลลี่ โดยเพกทินจะเป็นส่วนประกอบสำคัญในแยมและเยลลี่ผลไม้ นอกจากน้ำตาลและกรด (May, 2000) ในระยะแรกการผลิตแยมจะใช้เพกทินที่มีหมู่เอสเทอร์สูง ต่อมาได้เริ่มใช้เพกทินที่มีหมู่เอสเทอร์ต่ำกันมากขึ้น เนื่องจากจะให้เจลที่มีการกระจายตัวดีและมีความยืดหยุ่นมากกว่า (Rolin and De Vries, 1990) เพกทินยังถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลในผลิตภัณฑ์กัมมีเยลลี่ให้มีความยืดหยุ่น และยังคงไว้ซึ่งโครงสร้างเนื้อสัมผัสสั้นๆ (short texture)

การศึกษากัมมีเยลลี่ที่ใช้เจลาตินผสมกับเพกทินชนิดที่เมทอกซีสูง และกำหนดพีเอชเท่ากับ 3.3 พบว่าการเพิ่มเพกทินทำให้ระยะทางที่เจลถูกกดจนแตกมีค่าลดลง นอกจากนี้ พบว่า

แรงที่ใช้กดจนเจลแตกมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเพกทินในช่วง 0-1% หากยังคงเพิ่มปริมาณเพกทินมากขึ้น แรงกดที่ใช้จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น (Demars and Ziegler, 2001)

เพกทินที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทเยลลี่ มักเป็นชนิด slow set ทั้งนี้เพื่อต้องการให้เจลเซตตัวอย่างช้าๆ ซึ่งจะมีเวลาให้ฟองอากาศที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อเยลลี่ได้ลอยตัวขึ้นไปยังผิวได้ ทำให้นเนื้อเยลลี่ที่ได้มีความใส นอกจากแยม เยลลี่ และขนมหวานต่างๆ แล้ว ยังมีการนำเพกทินมาใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เช่น ใช้ทำไส้ขนม เจลเคลือบผิว หรือใช้แต่งหน้าเค้ก เป็นต้น ในผลิตภัณฑ์นม นิยมใช้เพกทินเป็นสารเพิ่มความข้นหนืดและความคงตัว เช่น นมเปรี้ยวและ โยเกิร์ต (May, 2000)

2.6 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture property) หมายถึง ลักษณะทางกายภาพที่เกิดจากโครงสร้างของอาหาร ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือการไหลของอาหารเมื่อมีแรงมากระทำ โดยทั่วไปจะใช้คำว่า “ลักษณะเนื้อสัมผัส” กับของแข็ง และใช้คำว่า “ความหนืด” กับของเหลว การวัดเนื้อสัมผัสอาจทำได้โดยใช้ความรู้สึกของมนุษย์หรือใช้เครื่องมือวัดออกมาในรูปของแรง ระยะทาง หรือเวลา (รัตนันท์, 2545) โดยทั่วไปเมื่อมีการประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางด้านเนื้อสัมผัสมักจะมีการประเมินโดยรวม แต่ผลการประเมินจะไม่สามารถนำมาอธิบายลักษณะของตัวผลิตภัณฑ์นั้นได้เท่าใดนัก ซึ่งยังมีค่าต่างๆ ที่สามารถใช้อ้างอิงถึงคุณภาพทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร ได้แก่ body, mouthfeel, crumb และ graininess นอกจากนี้การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสทางเชิงกล ยังรวมไปถึงค่าต่างๆ คือ hardness, springiness, gumminess, fracturability, chewiness, adhesiveness และ cohesiveness ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมที่รู้สึกได้ตามความเข้าใจของมนุษย์ แท้ที่จริงแล้วประกอบด้วยหลายๆ ลักษณะแตกต่างกันดังกล่าว ดังนั้นในการประเมินคุณภาพทางลักษณะเนื้อสัมผัส เพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องควรประเมินหลายๆ ลักษณะมากกว่าที่จะประเมินเนื้อสัมผัสโดยรวมเพียงอย่างเดียว (Schur, 1987) พารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายลักษณะเนื้อสัมผัสและชื่อเรียกที่นิยมใช้ แสดงดังในตารางที่ 2.10

2.6.1 การวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้ความรู้สึกของมนุษย์

ผู้ทดสอบชิม หรือผู้ชิม เป็นเครื่องมือในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ไม่มีเครื่องมือชนิดใดมาทดแทนได้ สามารถแสดงความรู้สึกได้ทั้งจากการรับประทาน และการสัมผัสด้วยมือ เช่น ความนุ่มของขนมปังเมื่อใช้นิ้วสัมผัส แต่ผลที่ได้จากผู้ทดสอบจะมีความผันแปรมาก จึงต้องมีวิธีการคัดเลือกและฝึกฝน เพื่อให้ได้ผลการตัดสินการประเมินคุณภาพทางประสาท

สัมผัสที่มีความแน่นยำและเชื่อถือได้ (รัตนันท์, 2545) การอธิบายเนื้อสัมผัสจำแนกตามความรู้สึกในปาก จะแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ตอนตามลำดับ (Cardello and Maller, 1987) คือ

ชั้นที่ 1 ความรู้สึกเมื่อกัดอาหารครั้งแรก (initial/ first bite) เช่น ความแข็ง ความเปราะ หรือความหนืด

ชั้นที่ 2 ความรู้สึกเมื่อเคี้ยวหรือบดอาหาร (masticatory) เช่น ความเหนียวหนืด (gumminess) chewiness และ adhesiveness

ชั้นที่ 3 ความรู้สึกหลังจากการเคี้ยว (residual) เช่น การเคลือบในปาก

ตารางที่ 2.10 พารามิเตอร์ทางเนื้อสัมผัสและชื่อเรียกที่นิยมใช้

Mechanical characteristics		
Primary parameters	Secondary parameters	Popular terms
Hardness		Soft → firm → hard
Cohesiveness	Brittleness	Crumbly → crunchy → brittle
	Chewiness	Tender → chewy → tough
	Gumminess	Short → mealy → pasty → gummy
Viscosity		Thin → viscous
Elasticity		Plastic → elastic
Adhesiveness		Sticky → tacky → goeoy
Geometrical characteristics		
Class		Example
Particle size and shape		Gritty, grainy, coarse, etc.
Particle shape and orientation		Fibrous, cellular, crystalline, etc.
Other characteristics		
Primary parameters	Secondary parameters	Popular terms
Moisture content		Dry → moist → wet → water → juicy
Fat content	Oiliness	Oily
	Greasiness	Greasy

ที่มา: Kokini and Cussler (1987)

2.6.2 การวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่องมือ

วิธีการทดสอบทาง rheology เพื่อใช้ชี้บ่งสมบัติหรือลักษณะเนื้อสัมผัสโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธีใหญ่ ๆ ได้แก่ Empirical method, Imitative method และ Fundamental methods

2.6.2.1 Empirical methods

เป็นวิธีการทดสอบทางกายภาพที่กระทำกับตัวอย่างที่วัดในทิศทางเดียว และเป็นวิธีทดสอบที่สร้างขึ้นจากผลการทดลองและการสังเกตที่อาจขาดหลักอ้างอิงพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์เท่าที่ควร แต่มีคุณภาพเพียงพอที่จะใช้เป็นมาตรฐานในการควบคุมคุณภาพของลักษณะเนื้อสัมผัสในอุตสาหกรรมอาหารได้ วิธีนี้เป็นการวัดได้ทั้งแบบ small deformation และ large deformation ตัวอย่างเครื่องมือทดสอบดังกล่าว เช่น

ก. Adam's consistometer : จะใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการควบคุมคุณภาพของเนื้อแอปเปิลดิบและข้าวโพดชนิดครีม โดยทำการวัดระยะทางที่ตัวอย่างไหลแผ่ออกไปในเวลาที่กำหนด ซึ่งระยะทางที่ไหลแผ่ออกจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของตัวอย่าง ได้แก่ รูปร่าง ขนาดอนุภาค ความฝืด แรงตึงผิว และ hydrostatic force ของตัวอย่าง

ข. Bloom Gelometer : เป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้วัดค่า Bloom strength ของเจลาตินในโรงงานอาหาร และอุตสาหกรรมอื่นๆ เพื่อแบ่งเกรดของเจลาติน โดยเป็นการวัดแรงที่ใช้กดหัวกดรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร ลงไปในเจลาตินมาตรฐาน (ความเข้มข้น 6.67% (w/w) หลังจากแช่ไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 12-18 ชั่วโมง) ที่ระยะความลึก 4 มิลลิเมตร (Rosenthal, 1999)

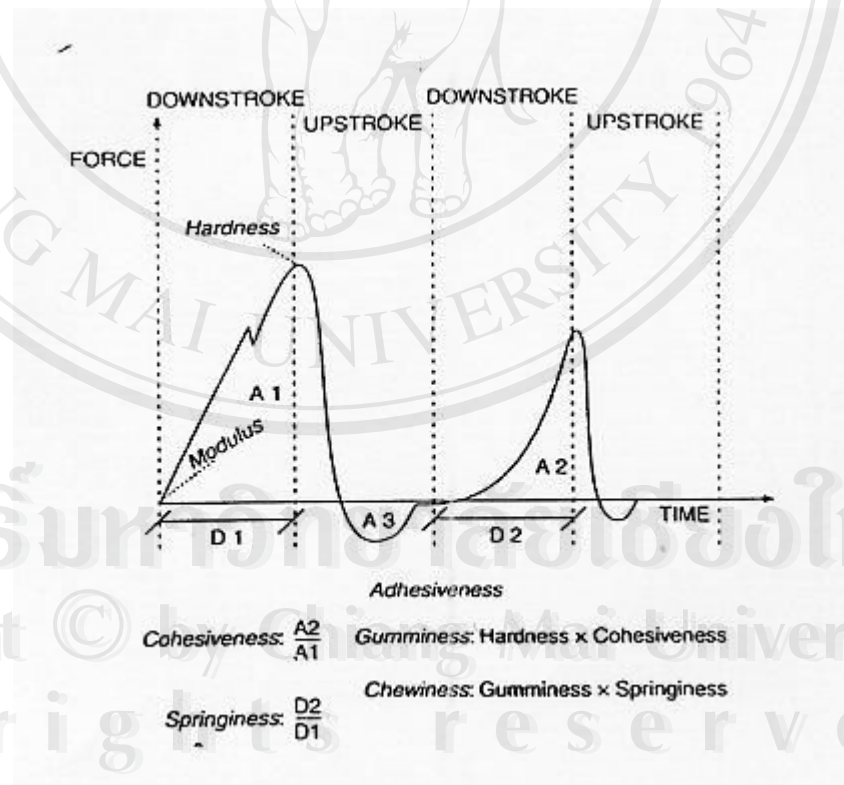
ค. เครื่องมือวัดลักษณะเนื้อของเจล : เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบแรงกด (compression) หรือแรงเจาะ (penetration) ซึ่งมักจะวัดในรูปแบบของ small deformation เช่น การวัดความแข็งแรงของเจลที่เตรียมจากเพกทินหรือเจลาติน จะใช้หัววัดเจาะลึกลงไปจากผิวของเจล 4 มิลลิเมตร ส่วนกรณีการวัดแบบ large deformation จะเป็นการวัดโดยที่เนื้อเจลถูกทำลาย เช่น การวัดความแน่นเนื้อ หรือการแตกหักของเจล วิธีนี้นิยมนำมาใช้ในโรงงานผลิตเยลลี่ เนื่องจากใช้วัดการรับน้ำหนักของเจลในภาชนะบรรจุที่มีการกดทับกันระหว่างเก็บรักษาและขนส่งไปจำหน่าย ตัวอย่างของเครื่องมือเหล่านี้ ได้แก่ Boucher Electronic Jelly Tester (BEJT), Instron, Stevens LFRA, TA.XT2 Texture Analyzer รวมไปถึง Bloom Gelometer (Smewing, 1999)

แม้ค่าที่วัดได้จากเครื่องมือดังกล่าวนี้จะไม่ใช่ค่าทางวิทยาศาสตร์ที่ชี้บ่งถึงพฤติกรรมการไหลของวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ แต่เป็นค่าที่สัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้อย่างดี โดยต้องมีวิธีการเตรียมตัวอย่าง และกำหนดค่าของการวัดให้แน่นอนและเป็นมาตรฐาน

2.6.2.2 Imitative methods

เป็นวิธีการทดสอบที่มีกลไกเลียนแบบจังหวะการบดเคี้ยวอาหารของมนุษย์ โดยเป็นการวัดค่าแรงกด (stress) และ/หรือการเปลี่ยนรูป (strain) ในแต่ละลำดับการทดสอบ วิธีการนี้ให้ค่าที่เป็นมาตรฐานของเนื้อสัมผัสอาหาร ได้แก่ Texture Profile Analysis (TPA) มีกลไกเลียนแบบการบดเคี้ยว 2 ครั้ง และให้ค่าที่สัมพันธ์กับการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมมากที่สุด (รัตนันท์, 2545)

วิธีการนี้ทำได้โดยใช้หัวกดปลายแบนกดลงบนตัวอย่างด้วยความเร็วคงที่ ตามอัตราการเปลี่ยนรูปที่กำหนดไว้ ค่าแรงต้านการกดที่เกิดขึ้นในตัวอย่างอาหาร จะถูกวัดเมื่ออาหารถูกกดหลังจากการบดเคี้ยวครั้งแรกนี้ หัวกดจะถูกยกขึ้นเพื่อปล่อยให้ตัวอย่างคลายตัว ในขณะที่แรงดึง (tension) ที่เกิดจากความเหนียวของชิ้นอาหารที่ทำให้ติดกับหัวกดขึ้นไปจะถูกวัดค่า และในการบดเคี้ยวครั้งที่สอง เมื่อตัวอย่างถูกกดอีกครั้ง จะเกิดแรงต้านขณะที่ตัวอย่างมีการเปลี่ยนรูป (Smewing, 1999) กราฟที่ได้จากการวัด Texture Profile Analysis แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 รูปแบบกราฟที่สร้างได้จาก Texture Profile Analysis
ที่มา : Smewing (1999)

จากกราฟในรูปที่ 2.9 พารามิเตอร์ที่ซึ่งบ่งลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการวัดตัวอย่างโดยวิธี Texture Profile Analysis ได้แก่

hardness : ค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการกดหัววัดลงบนตัวอย่างครั้งแรก

fracturability : ค่าแรงที่ทำให้ตัวอย่างเปราะหรือแตกออกเมื่อกดหัววัดบนตัวอย่างครั้งแรก จากกราฟจะเป็นตำแหน่งของแรงสูงสุดก่อนที่แรงจะตกหลังจากที่ตัวอย่างแตกออก หลังจากนั้นแรงจะเพิ่มขึ้นไปอีกครั้งจนถึงค่าแรงสูงสุด ค่าความเปราะนี้บางครั้งอาจใช้คำว่า “brittleness”

adhesiveness : งานที่ต้องการใช้ในการดึงหัววัดออกจากผิวหน้าของตัวอย่างจากการกดครั้งแรก คำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟของ A3 ตัวอย่างที่มีผิวหน้าเหนียวหรือเกาะติดกับหัววัด จะทำให้มีพื้นที่ดังกล่าวมาก

cohesiveness : ความแข็งแรงของพันธะที่เกิดขึ้นภายในชิ้นของตัวอย่าง คำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งที่สองหารด้วยพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งแรก คำนวณพื้นที่โดยเริ่มจากการกดหัววัดลงบนตัวอย่างจนถึงตำแหน่งของแรงสูงสุดในแต่ละครั้ง

springiness : ระยะทางที่ตัวอย่างคลายตัวกลับขึ้นมาหลังจากดึงหัววัดขึ้น คำนวณจากเวลาที่ใช้ในการกดตัวอย่างครั้งที่สองจนถึงจุดแรงสูงสุดหารด้วยเวลาที่ใช้ในการเริ่มกดตัวอย่างครั้งแรกจนถึงจุดแรงสูงสุด โดยเริ่มคิดเวลาเมื่อเริ่มมีแรงต้านเกิดขึ้นจากการกดตัวอย่าง บางครั้งอาจใช้คำว่า “elasticity”

gumminess : พลังงานที่ใช้ในการบดเคี้ยวอาหารกึ่งแข็งจนอยู่ในสภาพพร้อมจะกลืน คำนวณได้จากการนำค่า hardness คูณด้วยค่า cohesiveness

chewiness : พลังงานที่ใช้ในการบดเคี้ยวอาหารแข็งจนอยู่ในสภาพพร้อมจะกลืน คำนวณได้จากการนำค่า gumminess คูณด้วยค่า springiness (Smewing, 1999)

2.6.2.3 Fundamental methods

เป็นวิธีการวัดโครงสร้างทางกายภาพของเจลหรือวัสดุอย่างแท้จริง เช่น ค่า stress, strain, สัมประสิทธิ์ความหนืด ค่า Young's modulus หรือ Poisson's Ratio โดยใช้หลักการวัดพร้อมทั้งแสดงค่าที่ได้ออกมาเป็นหน่วยในทางวิทยาศาสตร์ และสามารถนำความสัมพันธ์จากสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่วัดได้ และยังสามารถนำค่าของสมบัติอื่นที่เกี่ยวข้องได้ วิธีการทดสอบนี้สามารถวัดได้ทั้งแบบ small deformation และ large deformation และหลักการที่นิยมนำมาใช้ในการวัดสมบัติทาง elastic และ viscoelastic ของเจลและผลิตภัณฑ์อาหาร คือ Oscillatory rheometry (Rosenthal, 1999)

2.6.3 การวัดสมบัติของเจล

สารก่อเจล เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่มีผลช่วยในการควบคุมลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร ซึ่งพอลิแซ็กคาไรด์และโปรตีนเป็นไบโอพอลิเมอร์ที่สำคัญที่สามารถนำมาสร้างสรรค์และปรับปรุงเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ โดยอาจใช้เพียงชนิดเดียวหรือผสมกัน เพื่อให้ได้เจลที่มีสมบัติตามต้องการ การปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของอาหารนั้น จะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่จะมีผลกระทบต่อ การเกิดเจลและสมบัติของเจลที่ได้ เนื่องจากสมบัติของเจลมีความสัมพันธ์อย่างมากกับเนื้อสัมผัสของอาหาร และมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

การศึกษาสมบัติของเจลพอลิเมอร์สามารถวัดได้จากพฤติกรรมทาง rheology ของเจล ทั้งแบบ small deformation และ large deformation ซึ่งต้องเลือกใช้เครื่องมือวัดที่เหมาะสม โดยค่าที่วัดได้จากการทดสอบทั้งสองแบบไม่จำเป็นต้องสัมพันธ์กันเสมอไป โดยทั่วไปแล้ว การทดสอบแบบ small deformation มักจะใช้ชั่งพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องด้าน viscoelastic และมักใช้เครื่องมือวิเคราะห์แบบเชิงกลไดนามิก สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ชั่งพฤติกรรมทาง rheology ของเจล คือค่าแรงเฉือน (shear) หรือ Young's moduli ที่วัดได้ในช่วงที่ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกด และการเปลี่ยนรูปเป็นเส้นตรง สำหรับการทดสอบแบบ large deformation นั้น มักจะกระทำโดยใช้เครื่องทดสอบในลักษณะของการกดและการดึง เช่น เครื่อง Texture Analyzer โดยจะทำการวัดค่าแรงกด การเปลี่ยนรูป และจุดที่วัสดุเกิดการแตกหรือขาด (Rosenthal, 1999)