บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 โยเกิร์ตแช่แข็ง (frozen yogurt)

โยเกิร์ตแช่แข็งเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยรวมเอาลักษณะของไอศกรีมและโยเกิร์ตเข้าด้วยกัน ทำให้ได้รับความสนใจอย่างมากจากวงการอุตสาหกรรมนม มาตั้งแต่ช่วงกลางปี ค.ศ.1977 ทั้งในสหรัฐอเมริกาและในยุโรป เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมอย่างมากโดยเฉพาะในหมู่ผู้บริโภคทั้งที่ชอบบริโภคโยเกิร์ตและไม่ชอบบริโภคโยเกิร์ตแต่ชอบบริโภคไอศกรีม และผู้บริโภคที่ต้องการหลีกเลี่ยงอาหารที่มีไขมันหรือแคลอรีสูง จากการสำรวจพบว่า ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต 109 แห่งในสหรัฐอเมริกามีผู้ผลิตโยเกิร์ตแช่แข็งออกวางจำหน่ายมากกว่าร้อยละ 75 (Lang, 1979)

โยเกิร์ตแช่แข็งเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักด้วยเชื้อ Lactobacillus bulgaricus และ/หรือ Streptococcus thermophilus ร่วมกับวิธีการและองค์ประกอบต่างๆในการผลิตไอศกรีมทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะของไอศกรีมคือ มีลักษณะเนียน (smooth) มีความมัน (creamy) และมีความคงตัว ส่วนที่มีลักษณะของโยเกิร์ตคือมี pH ต่ำ และมีกลิ่นรสของความเป็นกรด (Anon, 1977; Huber, 1988)

2.1.1 กรรมวิธีการผลิตโยเกิร์ตแช่แข็ง (Anon, 1977; Chandan, 1977; Huber,1988) มีขั้นตอนทั่วไปดังนี้

2.1.1.1 การเตรียมส่วนผสมของโยเกิร์ตแช่แข็ง

ของแข็งนมไม่รวมไขมัน (milk solid not fat, MSNF)	ร้อยละ	7 - 15
ไขมันนม	ร้อยละ	0.5 - 4
สารให้ความหวาน	ร้อยละ	11 - 30
สารให้ความคงตัว	ร้อยละ	0.1 - 0.6
เชื้อโยเกิร์ต	ร้อยละ	3 - 10

2.1.1.2 การผสม (mixing) การผสมส่วนที่เป็นของแห้งให้เข้ากันก่อน ซึ่งได้แก่นมผงขาดมันเนย สารให้ความหวาน สารให้ความคงตัว จะช่วยป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของสารให้ความคงตัว และทำให้ละลายได้ง่ายขึ้น ก่อนนำไปผสมกับนมซึ่งปรับมาตรฐานไขมันเป็นร้อยละ 1 ด้วยนมผงขาดมันเนยโดยใช้ Pearson's square method (Arbuckle, 1987)

2.1.1.3 พาสเจอไรเซชั่น (pasteurization) ฆ่าเชื้อส่วนผสมที่อุณหภูมิ 80-85 องศาเซลเซียส นาน 20-30 นาที เป็นการทำลายจุลินทรีย์และไล่อากาศ องค์ประกอบของน้ำนมแตกตัวและชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีบางอย่าง ทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะต่อการเจริญของแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติค ซึ่งจะให้รสชาติที่ต้องการ ความร้อนจะทำให้โปรตีนอัลบูมินและโกลบูลินตกตะกอนซึ่งช่วยเพิ่มความหนืดและความคงตัวของผลิตภัณฑ์และยังลดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นด้วย

2.1.1.4 โฮโมจีไนเซชั่น (homogenization) เป็นการนำส่วนผสมที่ผ่านการพาสเจอไรซ์ผ่านช่องเปิดขนาดเล็กด้วยอัตราเร็วและความดันสูง เพื่อให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันเม็ดไขมันมีขนาดเล็กลงและแทรกตัวเข้าไปในเนื้อผลิตภัณฑ์ได้อย่างสม่ำเสมอโดยไม่แยกเป็นชั้นไขมันออกมา ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจะมีเนื้อเนียน ละเอียด และเพิ่มความสามารถในการปั่นให้ขึ้นฟูได้ง่ายและช่วยลดเวลาที่จะทำให้แข็งตัว (Arbuckle, 1987)

ในการทำให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันนี้ สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงก็คือ อุณหภูมิของส่วนผสมและความดันที่ใช้โดยอุณหภูมิที่ใช้มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติ (off flavour) จากไขมันในนมได้ เนื่องจากเม็ดไขมัน (fat globule)

ถูกทำให้เล็กลง พื้นที่ผิว(surface area)จะเพิ่มขึ้นเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) โดยเอนไซม์เกิดเป็นสารพวกเปอร์ออกไซด์ที่ให้กลิ่นผิดปกติได้ง่าย การป้องกันปฏิกิริยานี้จะทำโดยใช้อุณหภูมิสูงทำลายเอนไซม์ก่อนการโฮโมจีไนเซชัน ซึ่งในการมวิธีการผลิตโยเกิร์ตแช่แข็งนี้ ส่วนผสมที่ถูกอุ่นให้ร้อนถึง 60-65 องศาเซลเซียส เพียงพอที่จะทำลายเอนไซม์ดังกล่าวได้

ส่วนความดันที่ใช้จะอยู่ในช่วง 2,000 - 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้วในขั้นที่ 1 (first stage) และ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในขั้นที่สอง (second stage) การใช้ two stage homogenization นี้เพื่อป้องกันการจับตัวของเม็ดไขมันเมื่อผ่านการโฮโมจีไนเซชันขั้นแรก เนื่องจากพื้นที่ผิวของเม็ดไขมันเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการรวมตัวของเม็ดไขมันได้ง่าย (Arbuckle, 1987)

2.1.1.5 การถ่ายเชื้อโยเกิร์ต (inoculation) หลังจากการพาสเจอร์ไรซ์เสร็จสิ้นลง ส่วนผสมจะถูกทำให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 40-45 องศาเซลเซียส เพื่อให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย การถ่ายหัวเชื้อโยเกิร์ตลงในส่วนผสมจะต้องทำโดยวิธีการปลอดเชื้อ (aseptic technique)โดยใช้ปริมาณหัวเชื้อโยเกิร์ตจาก starter culture ประมาณร้อยละ 3-10 ใส่ในส่วนผสม

2.1.1.6 การบ่ม (incubation) บ่มส่วนผสมเหลวของโยเกิร์ตแช่แข็งที่อุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะต่อการเจริญของเชื้อ Lactobacillus bulgaricus และ Sterptococcus thermophilus เวลาที่ใช้อยู่ระหว่าง 2-8 ชั่วโมง หรือจนกระทั่ง pH เท่ากับ 4.4 - 4.8 ในช่วงการบ่ม แบคทีเรียจะย่อยน้ำตาลแลคโตสในนม และสร้างกรดแลคติคขึ้นซึ่งกรดแลคติคเป็นตัวการสำคัญทำให้โมเลกุลของเคซีน เกิดการรวมตัวและเกิดเป็น curd เพราะกรดที่เกิดจะไปลดค่า pH ของน้ำนมลงจนถึง pH 4.6-4.7 ซึ่งเป็น isoelectric point ของน้ำนม ซึ่งทำให้เคซีนในนมตกตะกอน หลังจากนั้นจะบ่มเพื่อให้ pH ประมาณ 4.4

2.1.1.7 Aging เป็นการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4-8 องศาเซลเซียส นาน 16-24 ชั่วโมง เพื่อหยุดยั้งปฏิกิริยาการสร้างกรดของแบคทีเรียเมื่อ pH หรือปริมาณกรดได้ตามต้องการแล้วโดยการทำให้เย็นลงอย่างช้าๆ และยังเป็นการป้องกันการหดตัวของ curd

ในระหว่างการบ่มในที่เย็นส่วนผสมจะมีความหนืดสูงขึ้น สารให้ความคงตัวในส่วนผสมจะมีโครงสร้างเจลที่แข็งขึ้น และเม็ดไขมันจะกลายเป็นไขมันแข็ง (solid fat) (วรรณา ตั้งเจริญสุข และวิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ,2531) เนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็ง และที่ได้จะมีความนุ่มไม่เหลวง่ายหลังจากผ่านขั้นตอน aging และยังทำให้การละลายของไอศกรีมเกิดขึ้นช้าลงด้วย

2.1.1.8 Freezing โดยปั่นในเครื่องปั่นไอศกรีม ที่อุณหภูมิ -6 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า เป็นขั้นตอนการเติมอากาศและเกิดผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ การปั่นจะสิ้นสุดเมื่อผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะข้นเหนียว ยิ่งใช้เวลาน้อยเท่าใดก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อนุ่ม (smooth) มากขึ้นเท่านั้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำจะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก เวลาและอุณหภูมิในการปั่นจะแตกต่างกันไปตามชนิดของเครื่อง ลักษณะของโครงสร้างภายในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตแช่แข็งที่ได้ประกอบด้วยส่วนที่เป็นของเหลว อากาศ และของแข็ง หรือ three - phase system โดยเซลอากาศกระจัดกระจายอยู่ในชั้นของของเหลว (continuous liquid phase) ซึ่งประกอบไปด้วย ผลึกน้ำแข็ง ไขมันแข็ง โปรตีนนม ผลึกแลคโตส สารให้ความคงตัว ซูโครส เกลือที่ละลายและไม่ละลายน้ำ (วรรณา ตั้งเจริญสุข และวิบูลย์ศักดิ์ กาวิละ, 2531) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็น soft serve frozen yogurt

2.1.1.9 การทำให้แข็งตัว (hardening) แช่แข็งที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส หรือ ต่ำกว่านาน 24 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่า hard frozen yogurt

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตแช่แข็ง โยเกิร์ตแช่แข็งมีปริมาณส่วนผสมที่แปรผันในช่วงกว้าง มีผลให้องค์ประกอบของโยเกิร์ตแช่แข็งมีช่วงกว้าง ขึ้นอยู่กับสูตรของส่วนผสม สำหรับมาตรฐานของโยเกิร์ตแช่แข็ง กำหนดโดยองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) กำหนดว่า โยเกิร์ตแช่แข็งจะต้องมีค่าความเป็นกรด (Titratable acidity as lactic-acid) ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5 แต่องค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ไม่ได้กำหนดไว้ (Kosikowski, 1981)

ในปี 1981 Kosikowski ได้ทดลองหาองค์ประกอบของโยเกิร์ตแช่แข็งในสหรัฐอเมริกา สามารถสรุปผลวิเคราะห์ได้ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 Proximate analysis ของ Flavored frozen yogurt 34 ชนิด ที่ผลิตในสหรัฐอเมริกา[a]

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ)	ช่วงร้อยละที่วิเคราะห์
ไขมัน	1.4	0.8 - 2.5
โปรตีน	4.0	1.7 - 4.5
ของแข็งทั้งหมด	30.9	23.6 - 38.9
เถ้า	0.9	0.7 - 1.2
คาร์โบไฮเดรตและอื่นๆ[b]	27.8	17.5 - 34.0

a : จากผู้ผลิตในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของสหรัฐอเมริกา 10 ราย

b : คาร์โบไฮเดรต รวมถึง สารให้ความคงตัว และกรดแลคติค

ที่มา : Kosikowski, 1981

นอกจากนี้ พบว่า ความเป็นกรดของโยเกิร์ตแช่แข็ง อยู่ในช่วงร้อยละ 0.31-1.35 และ pH อยู่ระหว่าง 4.0 - 6.5

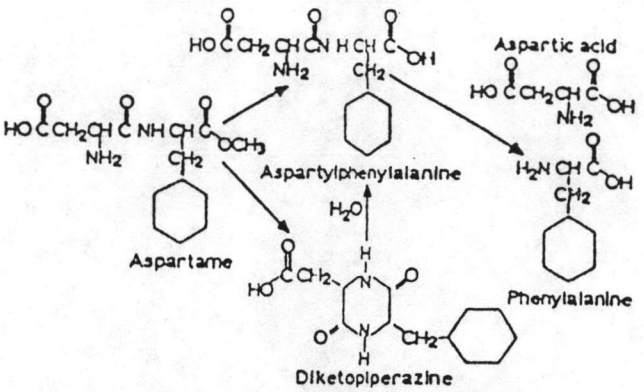
ในปี 1989 Tieszen และ Baer ได้วิเคราะห์ด้านจุลินทรีย์ของโยเกิร์ตแช่แข็ง โดยเก็บตัวอย่าง 19 ตัวอย่างจาก Brookings และ Sioux Fall ในรัฐ South Dakota และ Minneapolis ในรัฐ Minnesota พบว่าปริมาณโคลิฟอร์มอยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด คือต่ำกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่นับได้จากวิธี Standard plate count พบว่า ตัวอย่างส่วนใหญ่มีปริมาณจุลินทรีย์อยู่ในช่วงที่แนะนำคือ $5x10^6$-$7x10^6$ โคโลนีต่อกรัม ซึ่งปริมาณเชื้อโยเกิร์ตนี้ เชื่อว่าให้ประโยชน์ต่อสุขภาพได้เนื่องจากเชื้อโยเกิร์ตสามารถดำรงชีวิตอยู่ภายในร่างกายได้ระยะหนึ่งเชื้อโยเกิร์ตนี้ใช้เป็นแหล่งเอนไซม์แลคเตส ช่วยย่อยแลคโตสที่เหลืออยู่ภายในลำไส้ ซึ่งเป็นผลดีกับผู้บริโภคที่มีอาการ lactose-intolerance

ที่สามารถบริโภคโยเกิร์ตโดยไม่เกิดผลเสีย เชื้อโยเกิร์ตยังมีผลดีคือ สร้างสารเมตาโบไลต์ (metabolites) ระหว่างการหมักทำให้โปรตีนในนมถูกย่อยและดูดซึมได้ดีกว่า เมตาโบไลต์ยังมีผลดีกับพวก foodborne pathogens ซึ่งถ้าปนเปื้อนในโยเกิร์ต จะถูกยับยั้งจากสารพวกเมตาโบไลต์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น (Speck และ Geoffrion, 1980)

2.2 แอสปาเตม (Aspartame)

แอสปาเตมเป็นสารให้ความหวานพลังงานต่ำชนิดหนึ่ง นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์นม ซึ่ง FDA ของประเทศสหรัฐอเมริกา อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารในปี 1981 และในปี 1988 อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต แอสปาเตมไม่เหมาะสำหรับผู้ป่วยที่มีอาการของโรค phenylketnuria เนื่องจากไม่สามารถย่อย phenylalanine ได้หรือย่อยได้ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่ง phenylalanine เป็นกรดอะมิโนที่มีในแอสปาเตม ทำให้เกิดการสะสม phenylalanine ในเลือดและเนื้อเยื่อร่างกายได้ (Stegink, 1987) โดย FDA ได้กำหนดใช้ได้ที่ระดับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัวต่อวัน ส่วน WHO กำหนดให้ใช้ได้ไม่เกิน 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน (Anon,1986)

2.2.1 โครงสร้างของแอสปาเตม แอสปาเตมมีชื่อทางเคมีคือ 3-amino- N-(α-carboxymethyl) succinamic acid methyl ester มีสูตรอย่างง่ายคือ $C_{14}H_{18}N_3O_5$ แอสปาเตมเป็นไดเปปไทด์ของกรดอะมิโนที่ผลิตขึ้นทางการค้า ประกอบด้วยกรดอะมิโน 2 ตัว คือ L-aspartic และ L-phenylalanine (Homler, 1984; Larson - Power และ Pangborn, 1978) กรดอะมิโนทั้งสองพบในอาหารจำพวก เนื้อ ผัก นม และเมล็ดธัญพืช ซึ่ง phenylalanine เป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับมนุษย์ โครงสร้างของแอสปาเตม และอนุพันธ์ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแอสปาเตมและอนุพันธ์ (Anon, 1986)

2.2.2 สมบัติของแอสปาเตม แอสปาเตมมีผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสขมภายหลังการรับประทาน รสชาติคล้ายน้ำตาลซูโครสมาก แอสปาเตมให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี่ต่อกรัม ถึงแม้ว่าจะให้พลังงานเท่าน้ำตาลซูโครส แต่มีความหวานมากกว่าน้ำตาลซูโครสถึง 180 ถึง 200 เท่า จึงสามารถใช้แอสปาเตมปริมาณเพียงเล็กน้อยทำให้ได้พลังงานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้น้ำตาลซูโครส (Robert-Sargeant, 1983)

2.2.3 ความเสถียรของแอสปาเตม ความเสถียรของแอสปาเตมขึ้นอยู่กับสภาวะต่าง ๆ ซึ่งได้แก่อุณหภูมิ ความชื้น pH และระยะเวลาที่ได้รับความร้อน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แอสปาเตมจะมีความเสถียรมากที่สุดที่ pH 4.3 ซึ่งมีครึ่งชีวิตประมาณ 300 วัน ดังนั้นแอสปาเตมที่ใช้ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตแช่แข็งจะมีความเสถียรสูงเนื่องจากเป็นช่วง pH ที่เหมาะสมและโยเกิร์ตแช่แข็งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสภาวะการเก็บที่อุณหภูมิต่ำ ปฏิกิริยาการสลายพันธะจึงเกิดช้าลง แอสปาเตมจะเสถียรนานกว่า 6 เดือน ซึ่งเพียงพอสำหรับการเก็บรักษาโยเกิร์ตแช่แข็ง

เมื่อแอสปาเตมเกิดการสลายพันธะเอสเทอร์จะกลายเป็น aspartyl-phenylalanine (AP) หรือเกิดการสลายแบบ cyclohydrolysis ทำให้ได้

diketopiperazine (DKP) ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปเป็น AP และ APจะสลายตัวเป็นกลูตาเมต ได้ ให้สารที่ไม่มีรสหวานแต่ไม่เกิด off taste (Homler, 1979; Institute of Food Technologists, 1986)

2.2.4 การใช้แอสปาเตมในผลิตภัณฑ์นม

2.2.4.1 การใช้แอสปาเตมในโยเกิร์ต ควรเติมแอสปาเตมหลังการบ่ม โดยเติมหลังจากการทำให้เย็นถึงอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสเพื่อให้เกิดการสลายตัวน้อยที่สุด แอสปาเตมมีความเสถียรมากที่ pH 2.5-4.0 การใช้แอสปาเตมในโยเกิร์ตจะใช้ประมาณ 400 - 500 ppm เมื่อเปรียบเทียบกับโยเกิร์ตที่ใช้น้ำตาลซูโครส พบว่าจะทำให้พลังงานในโยเกิร์ตลดลงได้ร้อยละ 50 (Jonsson, 1987)

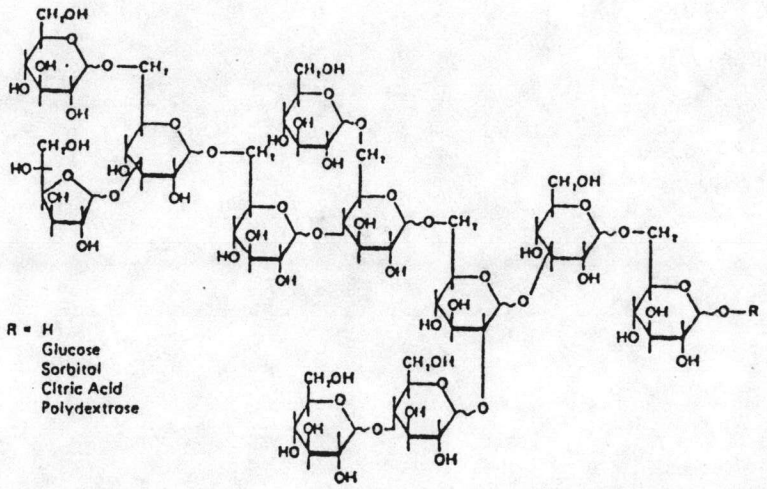
2.2.4.2 การใช้แอสปาเตมใน frozen dairy desserts แทนน้ำตาลซูโครส จะทำให้ปริมาตรและ body ของผลิตภัณฑ์ลดลงซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเติม bulking agents ในปี 1984 Goff และ Jordan ได้ศึกษาการใช้แอสปาเตมร่วมกับโพลีเด็กซ์โตรสและซอร์บิทอลใน frozen dairy desserts เพื่อลดพลังงานของผลิตภัณฑ์ พบว่าสารละลายโพลีเด็กซ์โตรสความเข้มข้นร้อยละ 70 ที่ปริมาณร้อยละ 12 และซอร์บิทอลร้อยละ 2 จะได้รับการยอมรับ แต่ที่ปริมาณร้อยละ 14 จะเกิดกลิ่นผิดปกติ (off flavor) และแอสปาเตมที่ร้อยละ 0.075 ให้ความหวานเท่ากับซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 14 พลังงานที่ได้รับจากผลิตภัณฑ์ frozen dairy desserts นี้ ประมาณ 80.3-98.4 กิโลแคลอรี่ต่อ 100 กรัม การใช้แอสปาเตมใน frozen dairy desserts สามารถลดพลังงานลงร้อยละ 30-40 เมื่อเทียบกับสูตรมาตรฐานไขมันนมร้อยละ 4 ที่ใช้น้ำตาลเป็นสารให้ความหวาน

2.3 โพลีเด็กซ์โตรส (Polydextrose)

โพลีเด็กซ์โตรสเป็น bulking agent ชนิดหนึ่งมีสมบัติที่เหมาะสมในการแทนที่น้ำตาลซูโครสและไขมัน FDA ของประเทศอังกฤษ, สหรัฐอเมริกา และประเทศแถบยุโรป อนุญาตให้ใช้โพลีเด็กซ์โตรสในอาหารได้โดยไม่กำหนดปริมาณที่บริโภคในแต่ละวัน (Birch และ

Lindley, 1988)

2.3.1 โครงสร้างของโพลีเด็กซ์โตรส ประกอบด้วยโพลีเมอร์ของกลูโคสที่มีพันธะ glucosidic ทุกชนิด แต่มีพันธะ 1 - 6 glucosidic เป็นส่วนใหญ่ มีหน่วยเล็กๆ ของซอร์บิทอลและกรดซิตริก นอกจากนี้ยังมี levoglucosan และ hydroxymethyl-furfural ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา caramelisation ของกลูโคส (Birch และ Lindley, 1988 ; Anon, 1986) โครงสร้างของโพลีเด็กซ์โตรสดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของโพลีเด็กซ์โตรส (Birch และ Lindley, 1988)

จากรูปที่ 2.2 R สามารถแทนที่ได้ด้วยหมู่ H, กลูโคส, ซอร์บิทอล, กรดซิตริก หรือโพลีเด็กซ์โตรส เป็นผลให้ขนาดของโมเลกุลของโพลีเด็กซ์โตรสมีขนาดแตกต่างกันโดยมีช่วงของมวลโมเลกุล แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 มวลโมเลกุลโดยประมาณของโพลีเด็กซ์โตรส (โดยใช้ Sephadex Chromatography) (Birch และ Lindley, 1988)

Molecular weight range	%
162-5000	88.7
5000-10000	10.0
10000-16000	1.2
16000-18000	0.1

2.3.2 องค์ประกอบทางเคมีของโพลีเด็กซ์โตรส องค์ประกอบทางเคมีของโพลีเด็กซ์โตรส ประกอบด้วยโพลิเมอร์ของกลูโคส (กลูแคน) เป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของโพลีเด็กซ์โตรส

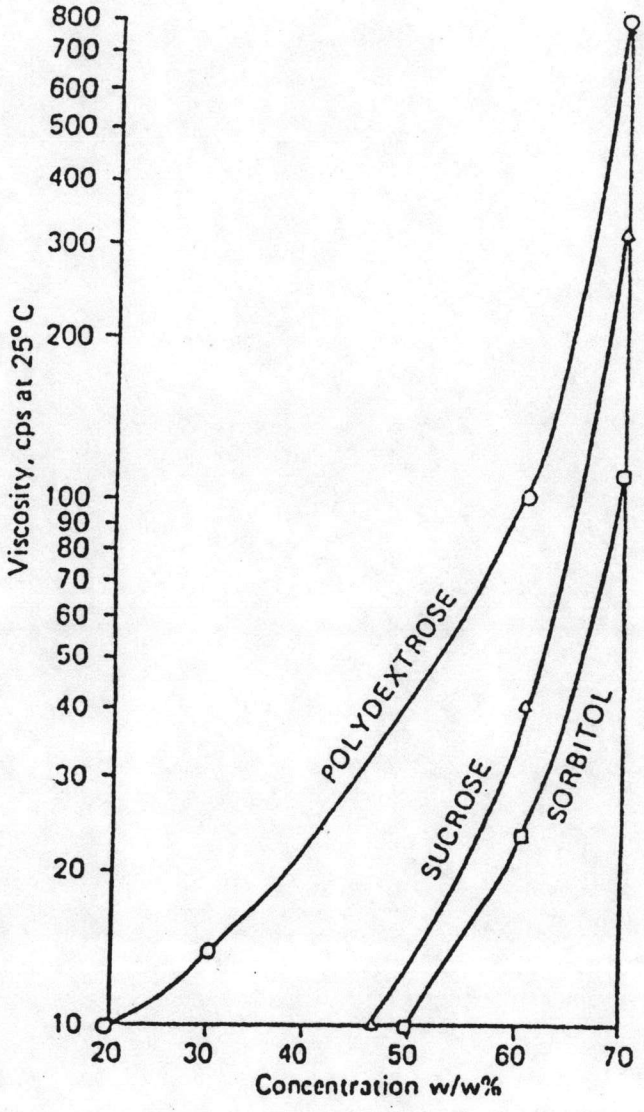
องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ[ก]
glucan	>90
glucose	<4
sorbitol	<2
levoglucosan	<4
water	<4
sulphated ash	<0.3

ก Anhydrous, ash free basis (Birch และ Lindley, 1988)

2.3.3 ชนิดของโพลีเด็กซ์โตรส โพลีเด็กซ์โตรสที่ใช้ทางการค้า มี 3 ลักษณะคือ เป็นผลึก เป็นสารละลาย (Type N, สารละลายร้อยละ 70) และเป็นผง (Type K) โดยชนิดแรกมีลักษณะเป็นก้อนผลึกสีขาวถึงสีน้ำตาลอ่อน สามารถละลายน้ำได้ มี pH อยู่ระหว่าง 2.5-3.5 Type N เป็นสารละลายใสไม่มีสีจนถึงสีเหลือง สามารถทำให้เป็นกลางได้ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มี pH ระหว่าง 5-6 Type K มีลักษณะเป็นผง ผสมกับโพแทสเซียมไบคาร์บอเนต เพื่อที่จะให้ pH เท่ากับ Type N เมื่อนำไปทำเป็นสารละลาย

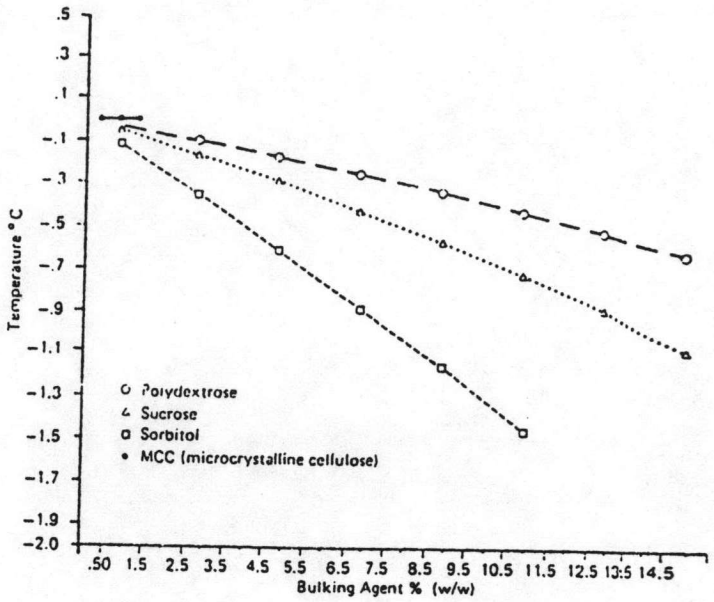
2.3.4 สมบัติของโพลีเด็กซ์โตรส

2.3.4.1 ความหนืด สารละลายโพลีเด็กซ์โตรสมีลักษณะเป็น Newtonian liquids ที่ความเข้มข้นเท่ากันกับซูโครสและซอร์บิทอล โพลีเด็กซ์โตรสจะมีความหนืดสูงกว่า (Anon, 1986) แสดงดังรูปที่ 2.3 ทำให้มีคุณภาพด้าน mouthfeel และ body เมื่อใช้แทนที่น้ำตาลซูโครสและไขมันในอาหาร



รูปที่ 2.3 ความหนืดของซูโครส ซอร์บิทอล และโพลีเด็กซ์โตรส ที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ (Birch และ Lindley, 1988)

2.3.4.2 จุดเยือกแข็ง โพลีเด็กซ์โตรสมีผลต่อการลดจุดเยือกแข็งของน้ำน้อยมากเมื่อเทียบกับซูโครส ซอร์บิทอล และ microcrystaline cellulose ที่ความเข้มข้นเดียวกันดังรูปที่ 2.4



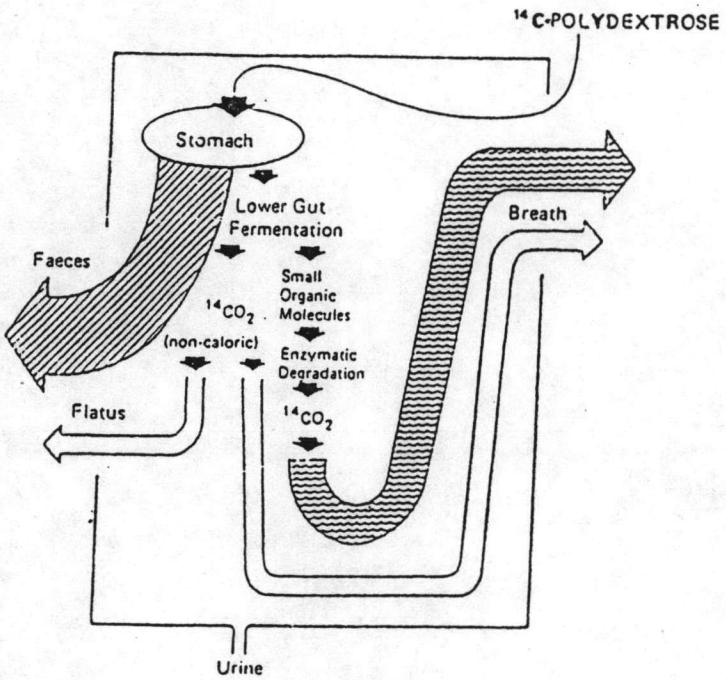
รูปที่ 2.4 จุดเยือกแข็งของสารละลายโพลีเด็กซ์โตรส ซูโครส ซอร์บิทอล และ MCC ที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ (Birch และ Lindley, 1988)

2.3.4.3 ความเสถียร โพลีเด็กซ์โตรสทั้ง 3 ชนิด มีความเสถียรที่อุณหภูมิ 25 45 และ 60 องศาเซลเซียส มากกว่า 90 วัน ที่อุณหภูมิสูง อัตราการเปลี่ยนแปลงจะสูงขึ้น Type N จะมีสีเข้มขึ้น ดังนั้นควรเก็บ โพลีเด็กซ์โตรส Type N ที่อุณหภูมิต่ำ

2.3.4.4 ความหวาน โพลีเด็กซ์โตรสเป็นสารที่ไม่มีความหวาน ดังนั้นเมื่อเติมในอาหารเพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส และ mouthfeel จะไม่ทำให้ความหวานเพิ่มขึ้น

2.3.4.5 การย่อย (metabolism) โพลีเด็กซ์โตรสที่ย่อยแล้วเพียงร้อยละ 1 เท่านั้นที่สามารถผ่านไปถึงเยื่อบุผนังลำไส้ (intestinal membrane) ประมาณร้อยละ 50 จะถูกกำจัดเป็นของเสีย ร้อยละ 30 จะถูกย่อยเป็น volatile fatty acid (VFA) ที่เหลือจะถูกกำจัดในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ VFA จะถูกดูดซึมกลับมาย่อยต่อซึ่งจะได้พลังงาน และบางส่วนถูกกำจัดในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ โพลีเด็กซ์โตรสจึงให้พลังงานเพียง 1 กิโลแคลอรี่ต่อกรัม ซึ่งเทียบเท่ากับร้อยละ 25 ของพลังงานที่ได้จากซูโครส

หรือเพียงร้อยละ 11 ของพลังงานที่ได้จากไขมัน (Anon, 1986; Figdor และ Bianchine, 1983) มีกลไกการย่อยของโพลีเด็กซ์โตรสดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กลไกการย่อยโพลีเด็กซ์โตรสในมนุษย์และหนู (Birch และ Lindley,1988)

2.3.5 การใช้โพลีเด็กซ์โตรสในอาหาร โพลีเด็กซ์โตรสใช้เป็นสารทดแทนไขมัน หรือ bulking agent ได้ในอาหารหลายประเภทที่ต้องการลดพลังงาน เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ลูกกวาด frozen desserts ซึ่งโพลีเด็กซ์โตรส จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสดีขึ้น ปรับปรุง mouthfeel และความหนืดให้ดีขึ้น ปริมาณการใช้โพลีเด็กซ์โตรสใน frozen dairy desserts อยู่ในช่วงร้อยละ 18-24 และลดพลังงานลงได้ถึงร้อยละ 50 (Anon, 1986 ;Birch และ Lindley,1988)

2.4 กัม (Gum)

การใช้กัมเพื่อเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์นมและไอศกรีม เพื่อให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่เนียนและรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งระหว่างการเก็บ และช่วยลดอัตราการละลายของผลิตภัณฑ์ (Arbuckle,1987) โดยจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (hydration) และสร้างโครงสร้างเจล เนื่องจากสารให้ความคงตัวมีสมบัติเป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ทำให้มีการอุ้มน้ำและเกิดไฮเดรชัน โดยเกิดเป็นโครงร่างแห กระบวนการโฮโมจีไนเซชัน ระหว่างการผลิตจะช่วยให้การอุ้มน้ำของสารให้ความคงตัวดีขึ้น ส่วนการสร้างโครงสร้างเจลช่วยเพิ่มความหนืดของส่วนผสม (ศิวาพร ศิวะเวชช, 2529)

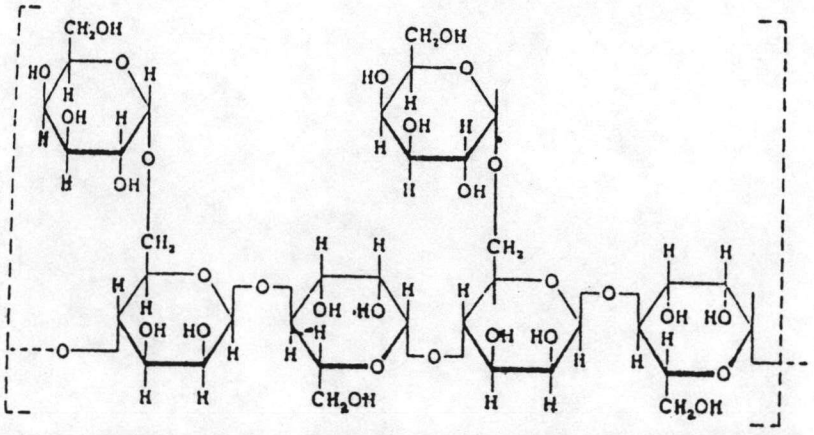
สารให้ความคงตัวที่ดีควรมีสมบัติดังนี้ (Arbuckle, 1987)

- รวมตัวกับส่วนผสมได้ดี และไม่จับตัวเป็นก้อน
- ละลายได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง
- ไม่ทำให้ความหนืดของส่วนผสมเปลี่ยนแปลงเมื่อตั้งทิ้งไว้

ปี 1987 Igoe ได้ศึกษาองค์ประกอบของสารให้ความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์ในการปรับปรุงคุณภาพของโยเกิร์ตแช่แข็ง พบว่า อัตราส่วนร้อยละของสารให้ความคงตัวและอิมัลซิไฟเออร์เป็น 67:33 ปริมาณร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก และมีส่วนประกอบของสารให้ความคงตัว เป็นโพรไพลีน ไกลคอล อัลจีเนต (Propylene glycol alginate) ร้อยละ 53 โซเดียม อัลจีเนต (Sodium alginate)ร้อยละ 25 ก้วกัมร้อยละ 16 และกัมคาราจีแนน (Carrageenan gum)ร้อยละ 6 จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสเนียนปราศจากเนื้อทราย

ปี 1990 Martinou-Voulaski และ Zerfiridis ศึกษาผลของชนิด และความเข้มข้นของสารให้ความคงตัว ที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและผลทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ทำจากนมแกะ พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารให้ความคงตัว ความหนืด efflux time และค่าความแน่น จะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ร้อยละการละลายมีค่าลดลง แซนแทนกัม สามารถปรับปรุงความหนืดของส่วนผสมดีกว่าก้วกัม ปริมาณของแซนแทนกัมร้อยละ 0.2 หรือก้วกัมร้อยละ 0.3 จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัส และประสาทสัมผัสที่ดี

2.4.1 ก้วกัม (guar gum) เป็นโพลีเมอร์ของคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากพืชตระกูลถั่ว Cyanopsis tetragonolobus อยู่ในตระกูล Leguminosae มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของก้วกัม (Goldstien และ Alter, 1959)

จากรูปที่ 2.6 โครงสร้างของก้วกัมประกอบด้วย สายของ D-manopyranose ที่มีหน่วยของ D-galactopyranose จับอยู่ ถ้ามีสายของ D-galactopyranose มาจับมากเท่าใด สมบัติในการดูดซึมน้ำก็จะดีมากขึ้น (Whistler, 1954) ก้วกัมมีมวลโมเลกุลอยู่ในช่วง 200,000-300,000 (Goldstein และ Alter, 1959) และมีค่า flow index ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เท่ากับ 0.54

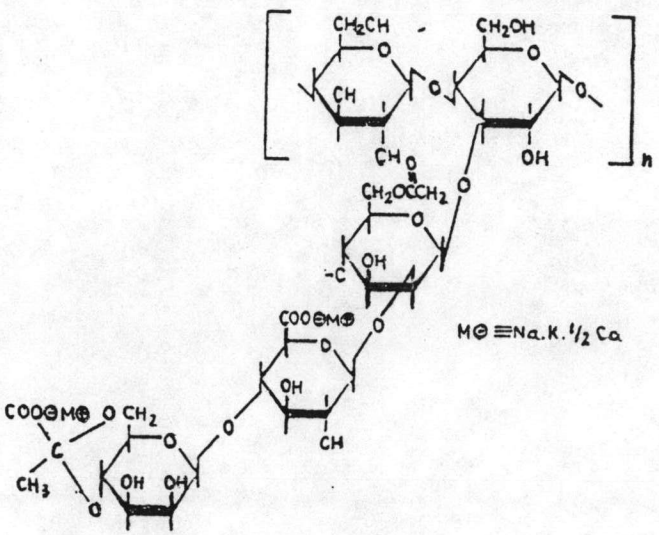
2.4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของก้วกัม ก้วกัมมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นกาแลคโตแมนแนน ถึงร้อยละ 7.8-8.2 แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของกัวกัม (Stien,Hall,& Co.,1962)

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
galactomannan	78-82
water	10-13
protein	4-5
crude fiber	1.5-2
ash	0.5-0.9
fat	0.5-0.75
iron	Trace
heavy metal	0
arsenic	0

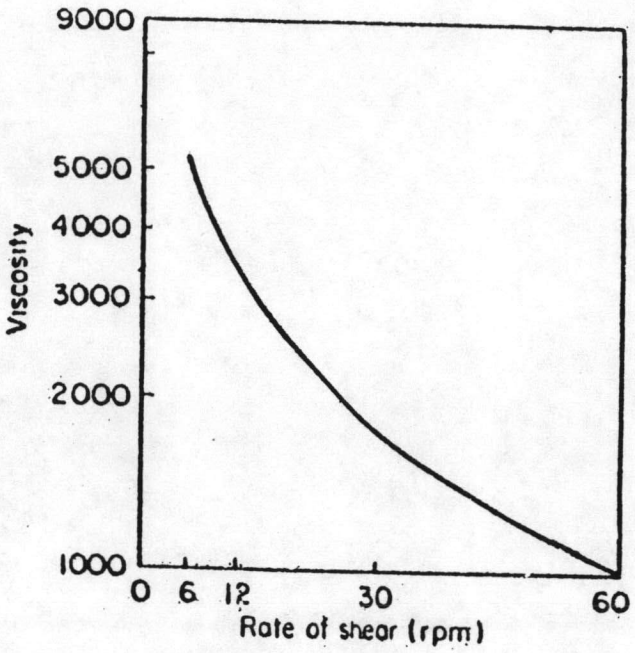
กัวกัมมีสมบัติที่ดี คือ ละลายในน้ำเย็นได้อย่างรวดเร็ว ให้สารละลายคอลลอยด์ที่หนืด กัวกัม ร้อยละ 1 จะให้ความหนืด 2700 เซนติพอยซ์ (centipoise) มีความคงตัวในช่วง pH 4.0-10.5 กัวกัมสามารถใช้ได้ดีในโยเกิร์ต เพราะช่วยเร่งให้มีการตกตะกอนเร็วขึ้น เพิ่มปริมาณของcurd และเนื้อสัมผัสดีขึ้น กัวกัมยังใช้ใน frozen dairy desserts เนื่องจาก กัวกัมมีสมบัติในการรวมตัวกับน้ำได้ดี ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสเนียน ป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็ง มีความเสถียรและช่วยให้ละลายได้ช้าลง (Anon, 1985) ปริมาณที่แนะนำให้ใช้ในไอศกรีมคือร้อยละ 0.3 (Goldstien และ Alter, 1959) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 อนุญาตให้ใช้สารนี้ในอาหารได้ โดยไม่กำหนดปริมาณที่บริโภคในแต่ละวัน

2.4.2 แซนแทนกัม เป็นกัมสังเคราะห์พวกโพลีแซคคาไรด์ ได้จากการหมักของเชื้อ Xanthomonas campestris มีโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.7



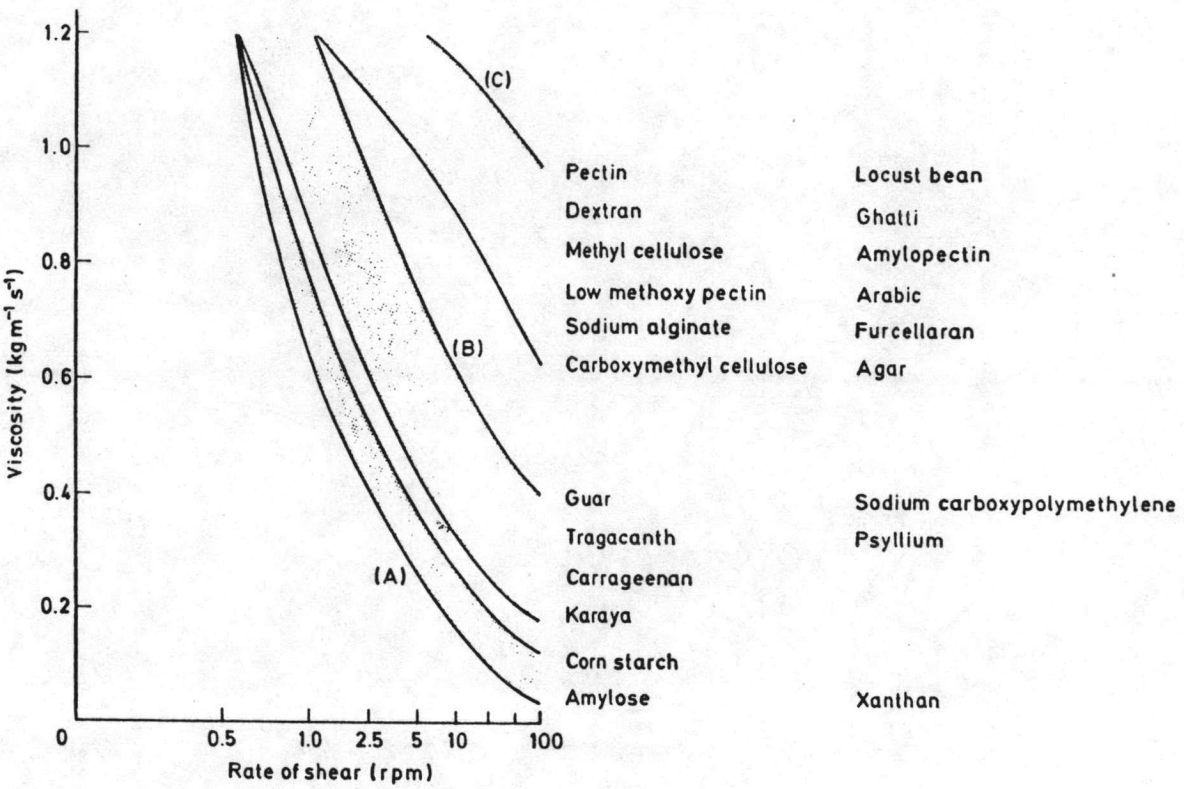
รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของแซนแทนกัม (Blanshard และ Mitchell, 1979)

สารละลายแซนแทนกัมมีสมบัติการไหลเป็นแบบ pseudoplasticity สูงมาก ไม่ว่าจะเป็นที่ความเข้มข้นหรือ shear rate ใดก็ตาม และเมื่อเขียนกราฟระหว่าง shear rate และความหนืด แสดงดังรูปที่ 2.8 (Jeanes, 1968)



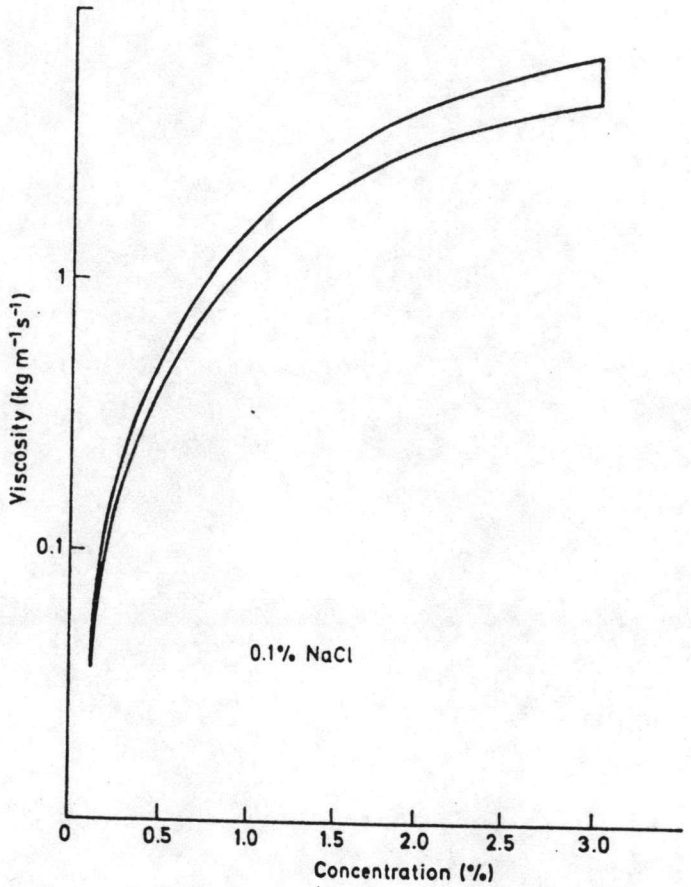
รูปที่ 2.8 สมบัติการไหลแบบ pseudoplasticity ของแซนแทนกัม

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าเมื่อ shear rate เพิ่มขึ้น ความหนืดจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วและจากการที่มีสมบัติเป็น pseudoplasticity จะเป็นผลดีต่อ mouthfeel เมื่อใช้แซนแทนกัมในอาหารทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่เหนียว (non gummy mouth) (Blanshard และ Mitchell, 1979) นอกจากนี้ยังให้ลักษณะ slimy น้อยกว่ากัมชนิดอื่น แสดงดังรูปที่ 2.9 (Szczesniak และ Frakas, 1962) สารละลายแซนแทนกัมมีความหนืดสูงที่ความเข้มข้นต่ำ แสดงดังรูปที่ 2.10 แซนแทนกัมมีมวลโมเลกุลประมาณ 24,000,000 (Rogovin, Sohns และ Cadmus, 1961) และมีค่า flow index ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เท่ากับ 0.37



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง mouthfeel ของสารละลายโพลีแซคคาไรด์และ degree ของสารละลาย non-Newtonian

หมายเหตุ sliminess Group A < Group B < Group C



รูปที่ 2.10 ผลของความเข้มข้นของแซนแทนกัมที่มีต่อความหนืด

ในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้แซนแทนกัมในการเป็น thickener และสารให้ความคงตัวในอาหารพวกผลิตภัณฑ์นมเนื่องจาก มีสมบัติที่ดูดซับน้ำได้ดี มีความหนืดสูงที่ความเข้มข้นต่ำ มีความคงตัวที่ดีทั้งสภาวะที่เป็นกรดและด่าง และให้ลักษณะเนื้อสัมผัสเนียน มัน และทนต่อheat shock ได้ดี สามารถใช้เดี่ยว ๆ หรือร่วมกับสารให้ความคงตัวอื่น ๆ ได้ในผลิตภัณฑ์นมสามารถใช้แซนแทนกัมร่วมกับโลคัสบีนกัม (locust beangum) และก้วกัมได้ (Branen และคณะ, 1990) ร่างกายสามารถย่อยแซนแทนกัมได้เพียงร้อยละ 15 ซึ่งค่าพลังงานตามทฤษฎีของแซนแทนกัมมีค่าเท่ากับ 3.78 กิโลแคลอรี่ต่อกรัม ดังนั้นแซนแทนกัมจึงให้

พลังงานเพียง 0.5 กิโลแคลอรี่ต่อกรัม FDA ของสหรัฐอเมริกา อนุญาตให้ใช้สารนี้ในอาหารได้ในปี 1969โดยไม่กำหนดปริมาณที่บริโภคในแต่ละวัน

2.4.3 กัมทางการค้า (commercial gum) ในงานวิจัยนี้เป็นกัมผสมทางการค้าที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมไขมันต่ำ มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ประกอบด้วย โมโนและไดกลีเซอไรด์ก้วกัม โซเดียม-คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส sodium stearoyl lactylate เพคติน คาราจีแนนและน้ำตาล

2.5 <u>แบคทีเรียในโยเกิร์ตแช่แข็ง</u>

แบคทีเรียที่นิยมใช้เป็นหัวเชื้อโยเกิร์ต (mother culture)ได้แก่ <u>Streptococcus thermophilus</u> และ <u>Lactobacillus bulgaricus</u> อัตราส่วนที่ใช้มากคือ 1:1 แบคทีเรียทั้งสองจะย่อยสลายน้ำตาลแลคโตสในนม และผลิตกรดแลคติคได้เร็วกว่าการใช้แบคทีเรียตัวใดตัวหนึ่ง ในช่วงแรกของขั้นตอนการผลิตกรด <u>S. thermophilus</u> จะเจริญก่อนเนื่องจากยังมีปริมาณออกซิเจนอยู่มากซึ่งเหมาะแก่การเจริญของ <u>S. thermophilus</u> ในขั้นตอนนี้จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นรีดักชั่นได้กาซคาร์บอนไดออกไซด์ และทำให้ระดับของออกซิเจนลดลง ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะต่อการเจริญของ <u>L. bulgaricus</u> เชื้อตัวนี้จะย่อยโปรตีนในนมให้กลายเป็นเปปไทด์ (peptides) และกรดอะมิโน (amino acid) ซึ่งสารที่ได้นี้จะไปกระตุ้นการเจริญของ <u>S. thermophilus</u> และสร้างกรดแลคติคจนกระทั่ง pH ลดลงเหลือ 5.2 <u>S. thermophilus</u>จะหยุดเจริญ ต่อจากนั้น <u>L. bulgaricus</u> จะเจริญและสร้างกรดแลคติคจนทำให้ pH ลดลงถึง 4.4 จึงกล่าวได้ว่าการอยู่ร่วมกันของแบคทีเรียทั้งสองเป็นความสัมพันธ์ที่ให้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน (Vedamuthu, 1991)

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้สารให้ความหวานพลังงานต่ำร่วมกับ bulking agent และสารให้ความคงตัว เพื่อลดค่าพลังงานของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตแช่แข็ง โดยเลือกใช้แอสปาเตมเป็นสารให้ความหวานพลังงานต่ำ โพลีเด็กซ์โตรสเป็น bulking agent ก้วกัม แซนแทนกัม และกัมผสมทางการค้าเป็นสารให้ความคงตัว