บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบเพื่อใช้ในการประกอบงานวิจัย

4.1.1 น้ำนมพร่องมันเนย

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมพร่องมันเนยที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ ปริมาณไขมัน ปริมาณของแข็งทั้งหมด pH และปริมาณกรด ตามวิธีของ AOAC (1990) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1

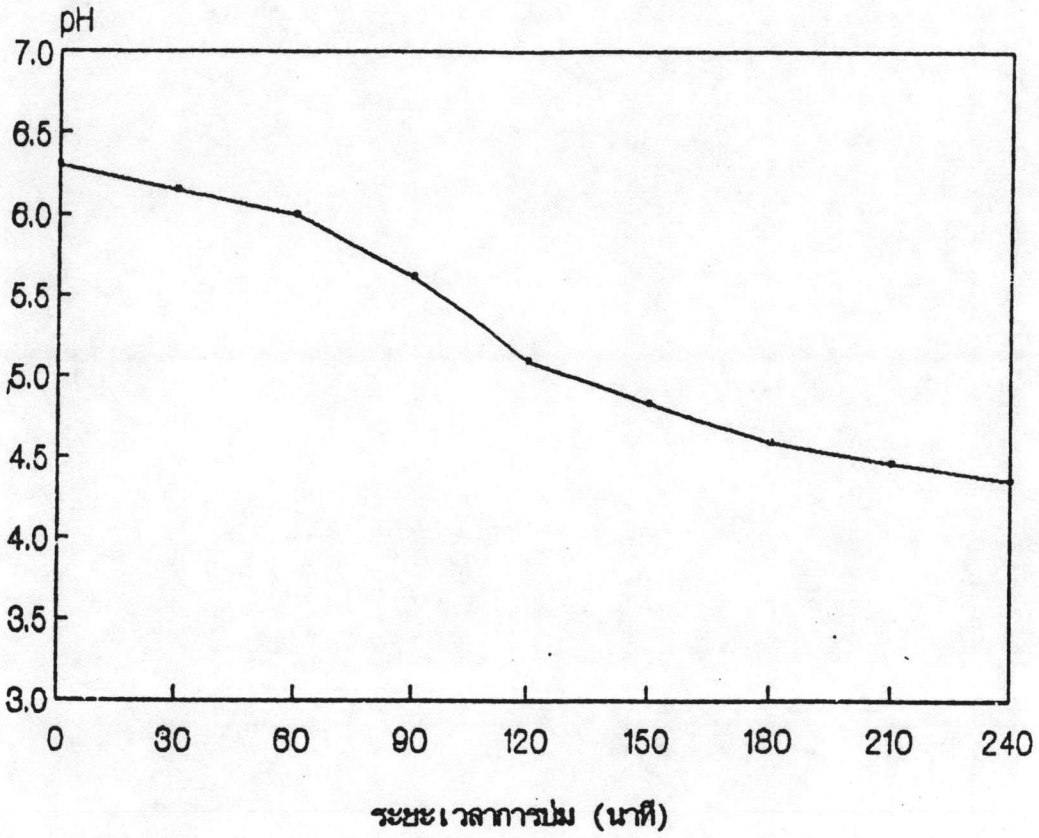
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมพร่องมันเนย

องค์ประกอบทางเคมี[ก]	ร้อยละ
ไขมัน	1.6
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	11.13
pH	6.44
ปริมาณกรด	0.101
ของแข็งไม่รวมไขมัน	9.59
น้ำ	88.87

หมายเหตุ ก องค์ประกอบทั้งหมด คำนวณเป็น Wet basis

4.1.2 Activity ของหัวเชื้อโยเกิร์ต

ตรวจสอบ Activity ของหัวเชื้อโยเกิร์ต (ดัดแปลงจาก Dennien,1981) โดยใช้ปริมาณเชื้อร้อยละ 3 บ่มที่อุณหภูมิ 42-45 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 Activity ของหัวเชื้อโยเกิร์ต

จากรูป 4.1 เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ค่า pH จะลดลง เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ Lactobacillus bulgaricus และ Streptococcus thermophilus ที่มีอยู่ในหัวเชื้อโยเกิร์ต ย่อยสลายน้ำตาลแลคโตสในนม และผลิตกรดแลคติคได้มากขึ้น เป็นผลให้ pH ของส่วนผสมลดลง (Vedamuthu, 1991)

I18760818

4.2 <u>ศึกษาผลของความเข้มข้นของแอสปาเตมและโพลีเด็กซ์โตรสที่มีต่อสมบัติด้านต่าง ๆ ของโยเกิร์ตแช่แข็ง</u>

4.2.1 วิเคราะห์สมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัส ของโยเกิร์ตแช่แข็งสูตรต้นแบบที่ใช้น้ำตาลซูโครสเป็นสารให้ความหวาน ผลแสดงดังตารางที่ 4.2

4.2.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้แอสปาเตมร่วมกับโพลีเด็กซ์โตรสแทนน้ำตาลในสูตรต้นแบบ

เมื่อใช้แอสปาเตมที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.025 0.05 0.075 และ 0.1 ส่วนโพลีเด็กซ์โตรส ศึกษาที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 7.0 9.8 12.6 และ 15.4 และใช้กัมทางการค้า ร้อยละ 0.5

จากการวิเคราะห์ข้อมูลสมบัติทางกายภาพโดยใช้ Factorial design ขนาด 4x4 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดปรากฏ ค่าร้อยละ overrun และร้อยละการละลาย คือโพลีเด็กซ์โตรส ส่วนแอสปาเตมและปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อค่าดังกล่าวตาราง ANOVA แสดงดัง ตารางที่ ค.1 ค.2 และ ค.3 ตามลำดับในภาคผนวก ค และผลของความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสและแอสปาเตมที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของโยเกิร์ตแช่แข็งแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็งสูตรต้นแบบ

สมบัติ	ค่าเฉลี่ย
<u>สมบัติทางกายภาพ</u>	
ความหนืดปรากฏ[ก] (mPa.s)	183.47
ร้อยละ overrun	22.93
ร้อยละการละลาย[ข]	98.13
<u>สมบัติทางเคมี</u>	
pH[ค]	4.39
ปริมาณกรด (ร้อยละในรูปของกรดแลคติค)	0.66
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	23.86
<u>สมบัติทางประสาทสัมผัส</u> (คะแนน 1-5)	
ลักษณะเนื้อสัมผัส	4.00
ความหวาน	4.19
การยอมรับรวม	3.89

หมายเหตุ ก วัดที่อุณหภูมิ 6±1 องศาเซลเซียส shear rate = 18.46 s^{-1}

ข ร้อยละการละลายที่ 45 นาที

ค วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของความหนืดปรากฏ ร้อยละ overrun และร้อยละการละลายของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้โพลีเด็กซ์โตรสและแอสปาเตม เพื่อแทนน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน และกัมทางการค้าที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5

ความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสต่อความเข้มข้นของแอสปาเตม	สมบัติทางกายภาพ		
	ความหนืดปรากฏ[n] (mPa.s)	ร้อยละ overrun	ร้อยละการละลาย
7.0/0.025	$144.00^{d}\pm11.06$	$20.47^{d}\pm0.21$	$93.87^{a}\pm0.05$
7.0/0.05	$145.47^{d}\pm 2.66$	$20.82^{d}\pm0.50$	$93.97^{a}\pm0.40$
7.0/0.075	$150.40^{d}\pm10.42$	$20.72^{d}\pm0.56$	$93.71^{a}\pm0.41$
7.0/0.1	$145.47^{d}\pm 3.21$	$20.70^{d}\pm0.18$	$93.70^{a}\pm0.22$
9.8/0.025	$194.00^{c}\pm 7.00$	$21.32^{c}\pm0.04$	$92.42^{b}\pm0.43$
9.8/0.05	$196.33^{c}\pm10.80$	$21.16^{c}\pm0.52$	$92.00^{b}\pm0.40$
9.8/0.075	$191.00^{c}\pm 7.00$	$21.76^{c}\pm0.18$	$92.47^{b}\pm0.53$
9.8/0.1	$189.67^{c}\pm15.31$	$21.34^{c}\pm0.46$	$92.95^{b}\pm0.60$

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยของความหนืดปรากฏ ร้อยละ overrun และร้อยละการละลายของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้โพลีเด็กซ์โตรสและแอสปาเตมเพื่อแทนน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน และกัมทางการค้าที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5

ความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสต่อความเข้มข้นของแอสปาเตม	สมบัติทางกายภาพ		
	ความหนืดปรากฏ[ก] (mPa.s)	ร้อยละ overrun	ร้อยละการละลาย
12.6/0.025	$275.33^{b}\pm9.71$	$22.28^{b}\pm0.40$	$91.28^{c}\pm0.43$
12.6/0.05	$268.67^{b}\pm8.02$	$22.31^{b}\pm0.60$	$91.33^{c}\pm0.51$
12.6/0.075	$265.00^{b}\pm6.56$	$22.13^{b}\pm0.51$	$91.96^{c}\pm0.37$
12.6/0.1	$269.00^{b}\pm7.94$	$22.33^{b}\pm0.61$	$92.19^{c}\pm0.72$
15.4/0.025	$481.67^{a}\pm24.07$	$23.22^{a}\pm0.66$	$90.71^{d}\pm0.45$
15.4/0.05	$469.00^{a}\pm27.51$	$23.03^{a}\pm0.29$	$90.69^{d}\pm0.54$
15.4/0.075	$479.00^{a}\pm18.52$	$23.32^{a}\pm0.59$	$91.16^{d}\pm0.82$
15.4/0.1	$475.67^{a}\pm12.22$	$23.63^{a}\pm0.18$	$90.31^{d}\pm0.24$

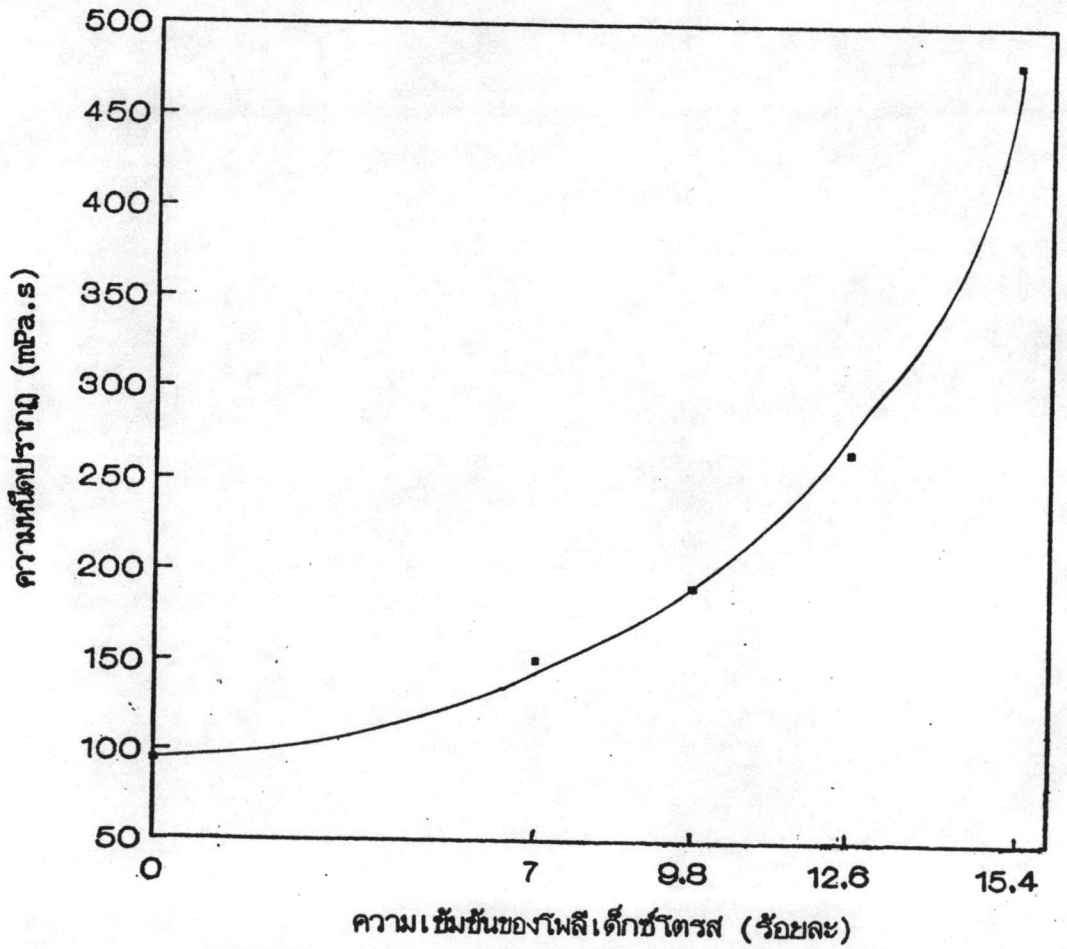
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งแตกต่างกัน หมายถึง แตกต่างต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ก วัดที่อุณหภูมิ 6±1 องศาเซลเซียส shear rate = 18.46 s^{-1}

นอกจากค่าความหนืดปรากฏในตารางที่ 4.3 ยังได้หาค่าความหนืดปรากฏของส่วนผสมโยเกิร์ตแช่แข็ง (วัดที่อุณหภูมิ 6±1 องศาเซลเซียส และ shear rate 18.46 s^{-1}) เมื่อใช้แอสปาเตมร้อยละ 0.075 แต่ไม่เติมกัมและโพลีเด็กซ์โตรส (η_A), ส่วนผสมที่เติม

โพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 และแอสปาเตมร้อยละ 0.075 (η_{PA}) และส่วนผสมที่เติมกัมทางการค้าร้อยละ 0.5 และแอสปาเตมร้อยละ 0.075 (η_{GA}) มีค่าความหนืดปรากฏเป็น 33.5 63.5 และ 94.5 mPa.s ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.3 พบว่า ที่ความเข้มข้นของแอสปาเตมคงที่ เมื่อความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสเพิ่ม ความหนืดปรากฏของส่วนผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ที่ทุกระดับความเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยการเพิ่มขึ้นของความหนืดปรากฏ จะมีความสัมพันธ์แบบ exponential กับความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรส แสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Blair (1958) ที่ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลายใด ๆ ในสารละลาย จะทำให้ความหนืดปรากฏของสารละลายเพิ่มขึ้นแบบ exponential



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของความหนืดปรากฏของส่วนผสมโยเกิร์ตแช่แข็งกับความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสระดับต่างๆ ที่อุณหภูมิ 6±1 องศาเซลเซียส shear rate 18.46 s^{-1}

ความเข้มข้นของแอสปาเตมไม่มีผลต่อค่าความหนืดปรากฏ ซึ่งแอสปาเตมมีมวลโมเลกุลที่ต่ำกว่าโพลีเด็กซ์โตรส (Homler, 1984 ; Birch และ Lindley, 1988) และปริมาณที่ใช้น้อยมาก อยู่ในช่วงแคบ ๆ คือช่วงร้อยละ 0.025-0.1 โดยจำนวนโมลของโพลีเด็กซ์โตรสที่ใช้มากกว่าจำนวนโมลของแอสปาเตมถึง 8.4-74.1 เท่า นอกจากนั้นความเข้มข้นของกัมยังมีผลต่อความหนืดปรากฏของส่วนผสม จึงบดบังการเพิ่มความหนืดปรากฏของแอสปาเตม ดังนั้นความเข้มข้นแอสปาเตมจึงมีผลต่อความหนืดปรากฏของส่วนผสมน้อยกว่าความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสและกัม

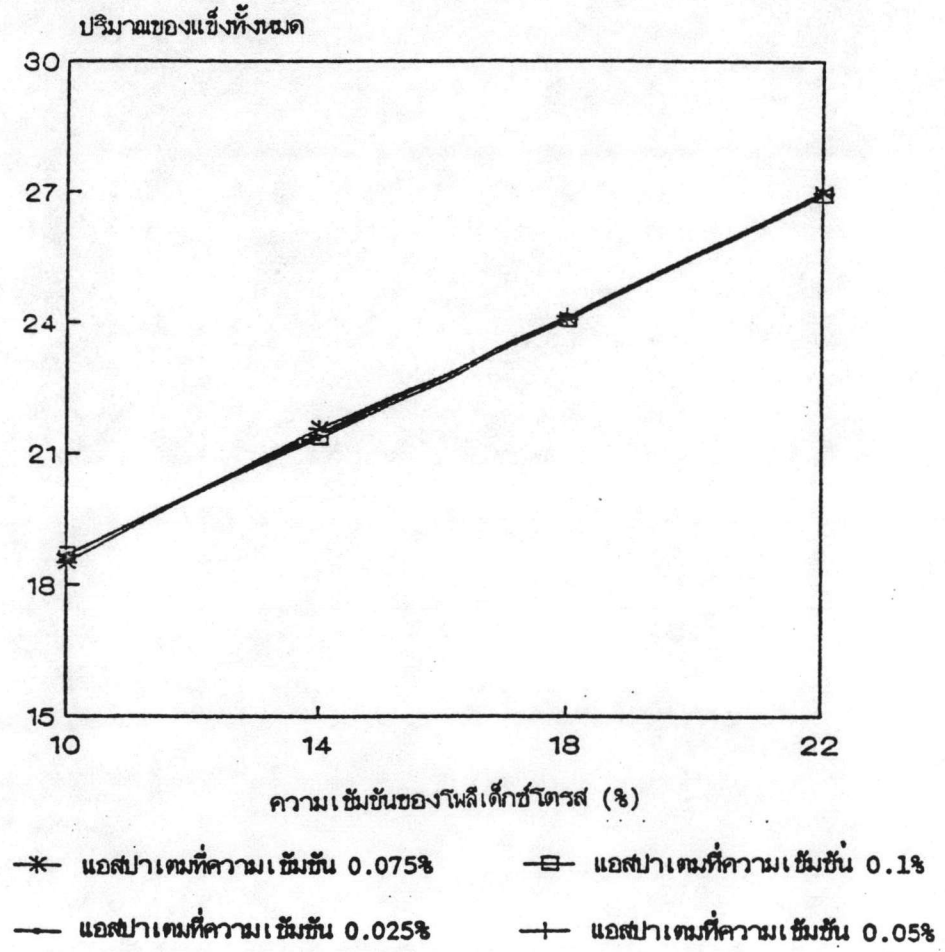
ที่ความเข้มข้นคงที่ของแอสปาเตม เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรส ค่าร้อยละ overrun มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนืดปรากฏของส่วนผสมเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ฟิล์มล้อมรอบฟองอากาศมีความคงตัวและเสถียรอยู่ภายในผลิตภัณฑ์ได้ดี ค่าร้อยละ overrun จึงมีค่าเพิ่มขึ้น (Arbuckle, 1987) ปัจจัยที่มีผลต่อค่าร้อยละ overrun อีกปัจจัยหนึ่งคือปริมาณของแข็งของส่วนผสม เมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละ overrun มีค่าเพิ่มขึ้น (Arbuckle, 1987) ดังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรส เป็นผลให้ความหนืดปรากฏและปริมาณของแข็งของส่วนผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ร้อยละ overrun จึงมีค่าเพิ่มขึ้น

แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรส ค่าร้อยละการละลาย มีค่าลดลงที่ทุกระดับความเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ความเข้มข้นของแอสปาเตมไม่มีผลต่อค่าร้อยละการละลาย อาจอธิบายได้ว่า เนื่องจากจำนวนโมลของโพลีเด็กซ์โตรสที่ใช้อยู่ระหว่าง 2.7×10^{-3} - 6.0×10^{-3} โมล ซึ่งมากกว่าจำนวนโมลของแอสปาเตมที่ใช้ และมีค่าระหว่าง 8.1×10^{-5} - 3.2×10^{-4} โมล เป็นผลให้โพลีเด็กซ์โตรสสามารถลดจุดเยือกแข็งได้มากกว่าแอสปาเตม ซึ่งการลดจุดเยือกแข็งนี้ขึ้นกับจำนวนโมลของตัวถูกละลายที่อยู่ในตัวทำละลาย (Fennema, Powrie และ Marth, 1973) เมื่อจุดเยือกแข็งโยเกิร์ตแช่แข็งมีค่าต่ำลง การละลายจะมีค่าลดลงด้วย และเมื่อความหนืดปรากฏของส่วนผสมเพิ่มขึ้น ความต้านทานการละลายของไอศกรีมจะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (Arbuckle, 1987)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลสมบัติทางเคมี พบว่า ความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสและแอสปาเตมไม่มีผลต่อค่า pH และปริมาณกรดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยโยเกิร์ตแช่แข็ง

มีค่า pH ระหว่าง 4.42-4.63 และ ปริมาณกรด มีค่าระหว่างร้อยละ 0.53-0.64 ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตจะควบคุม pH และปริมาณกรด เมื่อเชื้อโยเกิร์ตผลิตกรดจนได้ pH ตามต้องการจะนำไปแช่เย็น (aging) ที่อุณหภูมิ 4-8 องศาเซลเซียส เพื่อหยุดยั้งการสร้างกรดของเชื้อโยเกิร์ต

ความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสมีผลต่อปริมาณของแข็งของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ทุกระดับความเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) คือเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสปริมาณของแข็งจะเพิ่มขึ้น ส่วนความเข้มข้นของแอสปาเตมและปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อปริมาณของแข็ง เนื่องจากปริมาณที่ใช้น้อยมาก แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งทั้งหมดของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ระดับความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสและแอสปาเตมต่าง ๆ กัน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลสมบัติทางประสาทสัมผัสโดยใช้ Factorial with Block Design ขนาด 4x4 พบว่า ความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสมีผลต่อคะแนนด้านลักษณะเนื้อสัมผัส ความเข้มข้นของแอสปาเตมมีผลต่อคะแนนด้านความหวาน และปัจจัยที่มีผลต่อคะแนนการยอมรับรวมคือ ความเข้มข้นของทั้งโพลีเด็กซ์โตรสและแอสปาเตม ตาราง ANOVA แสดงดังตารางที่ ค.7 ค.8 และ ค.9 ตามลำดับ ในภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้โพลีเด็กซ์โตรสและแอสปาเตมเพื่อแทนน้ำตาลที่ระดับความเข้มข้นต่างกันและกัมทางการค้าที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5

ความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสต่อความเข้มข้นของแอสปาเตม	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส		
	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความหวาน	การยอมรับรวม
7.0/0.025	$3.10^{c}\pm0.58$	$2.90^{d}\pm0.32$	$2.90^{h}\pm0.57.0$
7.0/0.05	$3.20^{c}\pm0.42$	$4.50^{b}\pm0.53$	$3.20^{gh}\pm0.42$
7.0/0.075	$3.10^{c}\pm0.58$	$4.70^{a}\pm0.48$	$3.50^{fg}\pm0.53$
7.0/0.1	$3.00^{c}\pm0.67$	$3.20^{c}\pm0.42$	$2.80^{h}\pm0.63$
9.8/0.025	$4.80^{a}\pm0.42$	$2.70^{d}\pm0.48$	$4.10^{cde}\pm0.57$
9.8/0.05	$4.90^{a}\pm0.32$	$4.30^{b}\pm0.48$	$4.70^{b}\pm0.48$
9.8/0.075	$4.80^{a}\pm0.42$	$4.50^{a}\pm0.53$	$4.80^{a}\pm0.42$
9.8/0.1	$4.70^{a}\pm0.48$	$3.40^{c}\pm0.52$	$3.80^{ef}\pm0.63$

ตารางที่ 4.4(ต่อ) ค่าเฉลี่ยของคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้โพลีเด็กซ์โตรสและแอสปาเตมเพื่อแทนน้ำตาล ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันและกัมทางการค้าที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5

ความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสต่อความเข้มข้นของแอสปาเตม	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส		
	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความหวาน	การยอมรับรวม
12.6/0.025	$4.30^{b}\pm0.48$	$2.70^{d}\pm0.48$	$3.60^{fg}\pm0.52$
12.6/0.05	$4.30^{b}\pm0.48$	$4.50^{b}\pm0.53$	$4.30^{bcd}\pm0.67$
12.6/0.075	$4.40^{b}\pm0.52$	$4.60^{a}\pm0.52$	$4.60^{b}\pm0.52$
12.6/0.1	$4.40^{b}\pm0.52$	$2.80^{c}\pm0.42$	$3.70^{ef}\pm0.48$
15.4/0.025	$4.20^{b}\pm0.42$	$2.90^{d}\pm0.57$	$3.50^{fg}\pm0.53$
15.4/0.05	$4.20^{b}\pm0.42$	$4.20^{b}\pm0.42$	$3.90^{def}\pm0.32$
15.4/0.075	$4.30^{b}\pm0.48$	$4.60^{a}\pm0.52$	$4.40^{bc}\pm0.52$
15.4/0.1	$4.20^{b}\pm0.42$	$3.10^{c}\pm0.32$	$3.60^{fg}\pm0.52$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับในแนวตั้งแตกต่างกัน หมายถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้โพลีเด็กซ์โตรสและแอสปาเตมที่ระดับต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสที่ความเข้มข้นร้อยละ 9.8 มีคะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสและการยอมรับรวมสูงสุด แตกต่างจากการใช้

โพลีเด็กซ์โตรสที่ระดับอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากที่โพลีเด็กซ์โตรสที่ความเข้มข้นร้อยละ 9.8 เป็นระดับที่ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสเนียน และไม่มีกลิ่นผิดปกติ แต่ผลการทดลองของ Goff และ Jordan (1984) เมื่อใช้โพลีเด็กซ์โตรสร่วมกับน้ำเชื่อมข้าวโพด (corn syrup solids) และใช้แอสปาเตมเป็นสารให้ความหวานในผลิตภัณฑ์ frozen dairy desserts พบว่าโพลีเด็กซ์โตรสที่ร้อยละ 13.9 จะมีกลิ่นผิดปกติ และ after taste ที่ไหม้เล็กน้อย อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นของโยเกิร์ตสามารถบดบังกลิ่นผิดปกติ ที่เกิดจากโพลีเด็กซ์โตรส นอกจากนั้น Goff และ Jordan (1984) ยังพบว่าโพลีเด็กซ์โตรสที่ระดับสูงการยอมรับจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองพบว่าโพลีเด็กซ์โตรสที่ความเข้มข้นร้อยละ 12.6 และ 15.4 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียว และเมื่อรับประทานจะเกิด after taste ที่เหนียวติดลิ้น ผู้ทดสอบจึงไม่ยอมรับ อาจเนื่องจากส่วนผสมมีความหนืดปรากฏสูงเกินไป ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสที่มากกว่าร้อยละ 9.8 นั้นการเพิ่มความหนืดปรากฏของส่วนผสมจะเพิ่มขึ้นแบบ exponential (แสดงในรูปที่ 4.2) และโพลีเด็กซ์โตรสที่ความเข้มข้นร้อยละ 7.0 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณของแข็งค่อนข้างต่ำ ซึ่งทำให้ไม่ติดลิ้นแต่ ทำให้มีปริมาณน้ำที่แข็งตัวเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นเกล็ดน้ำแข็ง (iciness) (Arbuckle, 1987) ส่วนความเข้มข้นของแอสปาเตมไม่มีผลต่อคะแนนลักษณะเนื้อสัมผัส เนื่องจากจำนวนโมลของแอสปาเตมที่ใช้น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนโมลของ โพลีเด็กซ์โตรสที่ใช้ ทำให้แอสปาเตมถูกบดบังโดยผลเนื่องมาจากโพลีเด็กซ์โตรส

เมื่อพิจารณาด้านความหวานพบว่า ความเข้มข้นของแอสปาเตมมีผลต่อคะแนนความหวานอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยที่ความเข้มข้นของแอสปาเตมที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความหวานที่เหมาะสมที่สุดคือร้อยละ 0.075 ส่วนความเข้มข้นของแอสปาเตมที่ระดับร้อยละ 0.025 และ 0.05 พบว่าผลิตภัณฑ์มีความหวานน้อยไปเนื่องจากโยเกิร์ตแช่แข็งมีกลิ่นรสเปรี้ยวของโยเกิร์ตทำให้ลดความหวานของผลิตภัณฑ์ลงไป และที่ความเข้มข้นของแอสปาเตมร้อยละ 0.1 พบว่ามีความหวานมากเกินไป เมื่อรับประทานจะมีความหวานที่ติดค้างอยู่นาน เพราะความหวานของแอสปาเตมจะอยู่ได้นานกว่าซูโครสเล็กน้อย แต่คุณภาพของความหวานที่ติดค้างจะลดลงถ้าระดับความเข้มข้นของแอสปาเตมลดลง(Larson-Power และ Pangborn, 1978)

ส่วนความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสไม่มีผลต่อคะแนนความหวานของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากโพลีเด็กซ์โตรสเป็นสารที่ไม่มีความหวาน ดังนั้นการเติมโพลีเด็กซ์โตรสในผลิตภัณฑ์จะไม่เพิ่มความหวาน (Birch และ Lindley, 1988)

ด้านคะแนนการยอมรับรวม พบว่า ความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสที่มีคะแนนการยอมรับรวมสูงสุดคือ ร้อยละ 9.8 ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่มีคะแนนด้านลักษณะเนื้อสัมผัสสูงที่สุด ส่วนความเข้มข้นของแอสปาเตมที่ผู้ทดสอบให้คะแนนมากที่สุดคือ ร้อยละ 0.075 ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่มีคะแนนความหวานเหมาะสมที่สุด

จากการวิเคราะห์ข้างต้น ได้คัดเลือกระดับความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 และความเข้มข้นของแอสปาเตมร้อยละ 0.075 เนื่องจากมีคะแนนการยอมรับรวมสูงสุดและแตกต่างจากการใช้โพลีเด็กซ์โตรสและแอสปาเตมที่ความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เพื่อนำมาศึกษาในขั้นตอนต่อไป โดยต้องการปรับปรุงความหนืดและลักษณะเนื้อสัมผัส ซึ่งอาจทำได้ 2 วิธี คือ

1. ใช้กัมทางการค้าที่ความเข้มข้นคงที่ คือ ร้อยละ 0.5 และลดปริมาณการใช้โพลีเด็กซ์โตรส

2. ใช้โพลีเด็กซ์โตรสที่ความเข้มข้นคงที่ คือ ร้อยละ 9.8 และแปรชนิดและความเข้มข้นของกัม

เมื่อพิจารณาความหนืดปรากฏของส่วนผสมโยเกิร์ตแช่แข็งเมื่อใช้กัมทางการค้าร้อยละ 0.5 และแอสปาเตมร้อยละ 0.075 (η_{GA}) และความหนืดปรากฏของส่วนผสมที่เติมโพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 และแอสปาเตมร้อยละ 0.075 (η_{PA}) เปรียบเทียบกับความหนืดปรากฏของส่วนผสมที่เติมแอสปาเตมร้อยละ 0.075 แต่ไม่เติมกัมทางการค้าและโพลีเด็กซ์โตรส (η_A) พบว่า η_{GA}/η_A มีค่าเท่ากับ 2.8 ในขณะที่ η_{PA}/η_A มีค่า 1.90 แสดงว่า เมื่อความเข้มข้นของกัมทางการค้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.5 ความหนืดปรากฏจะมีค่าเพิ่มขึ้น 2.82 เท่า ในขณะที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 7.0 จะเพิ่มความหนืดปรากฏขึ้นจากเดิมเพียง 1.90 เท่า ดังนั้น จะเห็นได้ว่ากัมทางการค้ามีผลต่อความหนืดมากกว่าโพลีเด็กซ์โตรสในการปรับปรุงความหนืดปรากฏ จึงเลือกที่จะแปรความเข้มข้นและชนิดของกัม

ในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็งจากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่า กัมทางการค้ามีผลต่อความหนืดปรากฏของส่วนผสมมากกว่าโพลีเด็กซ์โตรส ทั้งที่ปริมาณที่ใช้น้อยกว่า ดังนั้นจึงคาดว่า มวลโมเลกุลของกัมทางการค้าสูงกว่าโพลีเด็กซ์โตรส ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็ง คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ถ้าปริมาณของแข็งต่ำเกินไปหรือมีจำนวนโมลของตัวถูกละลายน้อยเกินไป จะทำให้ feasible water เพิ่มขึ้น และไปมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปริมาณและขนาดของเกล็ดน้ำแข็ง ซึ่งการลดปริมาณโพลีเด็กซ์โตรสเป็นการลดจำนวนโมลของตัวถูกละลายในสารละลายทั้งหมดได้มากกว่าการลดปริมาณกัมทางการค้า ดังนั้นโพลีเด็กซ์โตรสจึงมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็งมากกว่ากัมทางการค้า จึงเลือกที่จะศึกษาและแปรชนิดและความเข้มข้นของกัม เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการเกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่เป็นเกล็ดน้ำแข็ง

4.3 <u>ศึกษาผลของความเข้มข้นของกัมต่างชนิดที่มีต่อสมบัติด้านต่าง ๆ ของโยเกิร์ตแช่แข็ง</u>

4.3.1 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็ง

ศึกษาการใช้กัมทางการค้า ก้วกัม และแซนแทนกัมที่ 5 ระดับความเข้มข้นคือ ร้อยละ 0.1 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 โดยใช้ความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสและแอสปาเตมที่คัดเลือกได้จากการทดลองขั้นที่ 4.2 คือ ร้อยละ 9.8 และ 0.075 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลสมบัติทางกายภาพโดยใช้ Completely Randomized Design พบว่าความเข้มข้นของกัมทั้ง 3 ชนิดมีผลต่อความแตกต่างของความหนืดปรากฏ แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของความหนืดปรากฏของส่วนผสมเหลวของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้แอสปาเตมร้อยละ 0.075 และโพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 เพื่อแทนน้ำตาล และใช้กัมทางการค้า ก้วกัม และแซนแทนกัมที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นของกัม (ร้อยละ)	ความหนืดปรากฏ[ก] (mPa.s)		
	กัมทางการค้า[ข]	ก้วกัม[ข]	แซนแทนกัม[ค]
0.1	$65.07^{d} \pm 0.83$	$74.33^{d} \pm 0.42$	$162.33^{d} \pm 2.52$
0.2	$69.20^{cd} \pm 0.40$	$83.60^{c} \pm 2.12$	$362.33^{c} \pm 28.59$
0.3	$77.47^{c} \pm 3.06$	$99.33^{b} \pm 3.11$	$610.33^{b} \pm 93.25$
0.4	$112.80^{b} \pm 5.01$	$109.33^{a} \pm 1.62$	$744.67^{b} \pm 6.50$
0.5	$187.07^{a} \pm 6.12$	$114.67^{a} \pm 0.83$	$1140.00^{a} \pm 28.84$

หมายเหตุ ตัวอักษรชุดแรก ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ก วัดที่อุณหภูมิ 6±1 องศาเซลเซียส

ข shear rate 18.46 s^{-1}

ค shear rate 12.78 s^{-1}

จากตารางที่ 4.5 เมื่อความเข้มข้นของกัมเพิ่มขึ้น ความหนืดปรากฏของส่วนผสมมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการวัดความหนืดปรากฏของส่วนผสมโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้แซนแทนกัมวัดที่ shear rate ต่ำกว่าโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้ก้วกัม และกัมทางการค้า ดังนั้นจึงเปรียบเทียบความหนืดปรากฏที่วัดไม่ได้ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากผลของการเพิ่ม

ความหนืดปรากฏของส่วนผสมโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้แซนแทนกัม พบว่า จะเพิ่มความหนืดปรากฏของส่วนผสมได้ดีกว่าโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้กัมทางการค้าและก้วกัม เนื่องจากแซนแทนกัมมีค่าความหนืดปรากฏสูงที่ความเข้มข้นต่ำ แสดงดังรูปที่ 2.9 โดยแซนแทนกัมซึ่งมีสมบัติเป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ซึ่งพบว่าอาจเป็น surface active agent อย่างอ่อนด้วย ดังนั้น จะแขวนลอยในน้ำนมโดยยึดเกาะกับผิวเม็ดไขมันด้วยหมู่ (hydrophobic group) และยึดเกาะกับส่วนที่เป็นน้ำด้วยหมู่ไฮโดรฟิลิค (hydrophilic group) (ศิวาพร ศิวะเวชช, 2529) แซนแทนกัมเป็นสารละลายที่มีลักษณะเป็น pseudoplasticity ไม่ว่าจะวัดความหนืดที่ shear rate และความเข้มข้นใดก็ตาม จากการที่มีสมบัติเป็น pseudoplasticity นี้ให้ผลดีกับลักษณะทางประสาทสัมผัส เช่น ลื่นไม่ติดลิ้น (Blanshard และ Mitchell, 1979) ส่วนสารละลายก้วกัมมีลักษณะเป็น Newtonian fluids ที่ความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 0.5 และในช่วงความเข้มข้นต่ำ ๆ นี้ พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นความหนืดจะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง แต่ที่ความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 0.5 สารละลายก้วกัมจะมีลักษณะเป็น non-Newtonian fluids (Blair, 1958) ส่วนกัมผสมทางการค้า พบว่ามีค่าความหนืดปรากฏต่ำที่ความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 0.3 คือมีค่าเพียง 65.07-77.47 mPa.s ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.4 และ 0.5 มีค่าความหนืดปรากฏเพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก โดยมีค่าความหนืดปรากฏของส่วนผสมเหลวของโยเกิร์ตแช่แข็งเป็น 112.80 และ 187.07 mPa.s ตามลำดับ

ความเข้มข้นของกัมทั้ง 3 ชนิด มีผลต่อค่าความแตกต่างของร้อยละ overrun เพียงเล็กน้อย แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยร้อยละ overrun ของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้แอสปาเตมร้อยละ 0.075 และโพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 เพื่อแทนน้ำตาล และใช้กัมทางการค้า กัวกัมและแซนแทนกัมที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นของกัม (ร้อยละ)	ร้อยละ overrun		
	กัมทางการค้า	กัวกัม	แซนแทนกัม
0.1	$20.74^{c,ns} \pm 0.46$	$20.89^{d,ns} \pm 0.37$	$21.37^{b,ns} \pm 0.14$
0.2	$21.23^{bc,b} \pm 0.33$	$21.37^{cd,b} \pm 0.06$	$22.58^{a,a} \pm 0.27$
0.3	$21.38^{bc,ab} \pm 0.18$	$21.89^{bc,a} \pm 0.24$	$21.12^{b,a} \pm 0.31$
0.4	$22.21^{ab,a} \pm 0.32$	$22.75^{ab,a} \pm 0.44$	$20.77^{b,b} \pm 0.38$
0.5	$22.99^{a,a} \pm 0.47$	$22.88^{a,a} \pm 0.28$	$19.79^{c,b} \pm 0.40$

หมายเหตุ ตัวอักษรชุดแรก ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรชุดที่สอง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.6 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกัมทางการค้าและกัวกัม ค่าร้อยละ overrun มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อธิบายได้เช่นเดียวกับการเพิ่มความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรส แต่แซนแทนกัมที่ความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 0.2 ค่าร้อยละ overrun จะมีค่าลดลงจากร้อยละ 22.58 ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 19.79 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เนื่องจากแซนแทนกัมมีความหนืดปรากฏสูงที่ความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 0.2 ทำให้การตีเอาอากาศเข้าในผลิตภัณฑ์จึงทำได้ยากขึ้น (Arbuckle, 1987) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Martinou-Voulaski

และ Zerfiridis (1990) พบว่า ค่าร้อยละ overrun มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกัมเพิ่มจนถึงร้อยละ 0.2 จากนั้นจะลดลงเมื่อมีความเข้มข้นของกัมมากกว่าร้อยละ 0.3 ในการทดลองนี้ ค่าร้อยละ overrun ที่วัดได้อาจมีความแปรปรวนขึ้นกับเครื่องมือที่ใช้ทำไอศกรีมตามบ้านเพราะเครื่องไม่สามารถควบคุมการเติมอากาศในส่วนผสมขณะที่ทำการปั่นได้ ส่วนชนิดของกัมไม่มีผลต่อความแตกต่างของค่าร้อยละ overrun ที่ทุกความเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ชนิดและความเข้มข้นของกัม มีผลต่อความแตกต่างของร้อยละการละลาย แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยร้อยละการละลายของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้แอสปาเตมร้อยละ 0.075 และโพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 เพื่อแทนน้ำตาลและใช้กัมทางการค้า ก้วกัม และแซนแทนกัมที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นของกัม (ร้อยละ)	ร้อยละการละลาย		
	กัมทางการค้า	ก้วกัม	แซนแทนกัม
0.1	$93.99^{a,a} \pm 0.50$	$93.00^{a,a} \pm 0.45$	$90.81^{a,b} \pm 0.46$
0.2	$93.36^{ab,a} \pm 0.26$	$92.15^{ab,b} \pm 0.47$	$88.93^{b,c} \pm 0.30$
0.3	$92.78^{b,a} \pm 0.21$	$91.14^{bc,b} \pm 0.43$	$86.83^{c,c} \pm 0.67$
0.4	$90.46^{c,a} \pm 0.27$	$89.96^{c,a} \pm 0.40$	$84.76^{d,b} \pm 0.46$
0.5	$89.79^{c,a} \pm 0.56$	$90.23^{c,a} \pm 0.86$	$81.26^{e,b} \pm 0.97$

หมายเหตุ ตัวอักษรชุดแรก ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตัวอักษรชุดที่สอง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.7 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกัม ร้อยละการละลายมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากความหนืดปรากฏสูงขึ้นสามารถต้านทานการละลายได้ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันของกัมทั้ง 3 ชนิด พบว่า แซนแทนกัมมีร้อยละการละลายต่ำที่สุดที่ทุกระดับความเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือก้วกัมและกัมทางการค้า ตามลำดับ อธิบายได้ด้วยเหตุผลเดียวกันคือ แซนแทนกัมมีค่าความหนืดปรากฏสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับก้วกัมและกัมทางการค้า จึงสามารถต้านทานการละลายได้ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Martinou-Voulaski และ Zerfiridis (1990) ซึ่งพบว่าแซนแทนกัมสามารถต้านทานการละลายได้ดีกว่าก้วกัม

จากการวิเคราะห์ทางเคมี พบว่า ชนิดและความเข้มข้นของกัมไม่มีผลต่อค่า pH ปริมาณกรด และปริมาณของแข็งทั้งหมดของโยเกิร์ตแช่แข็ง โดยโยเกิร์ตแช่แข็งมีค่า pH ระหว่าง 4.34-4.55 ซึ่งมีค่า pH อยู่ในช่วงใกล้เคียงกับที่ Martinou-Voulaski และ Zerfiridis (1990) ได้ทำการศึกษาและพบว่า pH ของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ได้รับความนิยมอยู่ในช่วง 4.4-4.9 ซึ่งค่า pH นี้จะสูงกว่าค่า pH ของโยเกิร์ตทั่วไป ปริมาณกรดได้มีค่าระหว่าง 0.58-0.68 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ FDA ของประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตแช่แข็งคือไม่ต่ำกว่าร้อยละ 0.5 (Kosikowski, 1981) และปริมาณของแข็งทั้งหมดมีค่าระหว่างร้อยละ 21.76-22.01

ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส พบว่า ชนิดและความเข้มข้นของกัมมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็ง แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของคะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้แอสปาเตมร้อยละ 0.075 และโพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 เพื่อแทนน้ำตาลและใช้กัมทางการค้า ก้วกัม และแซนแทนกัมที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นของกัม (ร้อยละ)	คะแนนลักษณะเนื้อสัมผัส		
	กัมทางการค้า	ก้วกัม	แซนแทนกัม
0.1	$2.60^{d,b}\pm0.35$	$2.60^{d,b}\pm0.35$	$3.60^{b,a}\pm0.52$
0.2	$2.60^{d,c}\pm0.52$	$3.30^{bc,b}\pm0.46$	$4.50^{a,a}\pm0.36$
0.3	$3.30^{c,b}\pm0.48$	$4.60^{a,a}\pm0.41$	$3.60^{b,b}\pm0.52$
0.4	$4.00^{b,a}\pm0.61$	$3.60^{b,b}\pm0.58$	$2.80^{c,c}\pm0.39$
0.5	$4.70^{a,a}\pm0.46$	$3.10^{c,b}\pm0.50$	$2.30^{d,c}\pm0.37$

หมายเหตุ ตัวอักษรชุดแรก ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตัวอักษรชุดที่สอง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันทางแนวนอน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.8 เมื่อใช้กัมทางการค้าที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 จะมีคะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสสูงที่สุด ที่ระดับความเข้มข้นต่างกันคะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เมื่อใช้ก้วกัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 มีคะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสสูงที่สุด แตกต่างจากการใช้ที่ความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) และเมื่อใช้แซนแทนกัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 มีคะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสสูงที่สุด แตกต่างจากการใช้ที่ความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ถึงแม้ว่าความหนืดปรากฏของส่วนผสมโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้แซนแทนกัม

ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 จะมีค่าสูงกว่าความหนืดปรากฏของส่วนผสมโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้โพลีเด็กซ์โตรสความเข้มข้นร้อยละ 12.6 คือมีค่า 362.33 และ 269.5 mPa.s ตามลำดับ แต่เนื่องจากสารละลายแซนแทนกัม มีลักษณะเป็น pseudoplasticity และมี flow index ต่ำ คือที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีค่า flow index 0.37 (Rogovin และคณะ, 1961) ในขณะที่ flow index ของก้วกัม ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีค่า 0.54 (Goldstien และ Alter, 1959) เมื่อ shear rate มีค่าสูงขึ้น สารละลายที่มีค่า flow index ต่ำ ความหนืดปรากฏจะลดลงเร็วกว่าสารละลายที่มี flow index สูง แต่คาดว่าค่า shear rate ในขณะที่กลืนอาหารมีค่าสูงกว่า shear rate ที่ใช้ในการวัดความหนืดปรากฏมาก ดังนั้น ความหนืดปรากฏของสารละลายแซนแทนกัมจะลดลงอย่างรวดเร็วมากกว่าก้วกัมและกัมทางการค้า (แสดงดังรูปที่ 2.8) ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เหนียวติดลิ้น ถึงแม้ว่าความหนืดปรากฏของส่วนผสมที่ใช้แซนแทนกัมมากกว่าความหนืดปรากฏของส่วนผสมที่ใช้โพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 12.6 การเกิดในลักษณะนี้จะเป็นผลดีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็ง คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะไม่เหนียวติดลิ้น (Blanshard และ Mitchell, 1979) Moore และ Shoemaker (1981) พบว่า เมื่อความเข้มข้นของกัมเพิ่มขึ้นความหนืดปรากฏจะเพิ่มขึ้น และการเป็นเกล็ดน้ำแข็งของผลิตภัณฑ์อาจลดลงได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีเนื้อสัมผัสเนียน

นอกจากนี้ชนิดและความเข้มข้นของกัมยังมีผลต่อคะแนนการยอมรับรวมของโยเกิร์ตแช่แข็งอีกด้วย แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยของคะแนนการยอมรับรวมของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้แอสปาเตม ร้อยละ 0.075 และโพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 เพื่อแทนน้ำตาล และใช้กัมทางการค้า กัวกัม และแซนแทนกัมที่ความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นของกัม (ร้อยละ)	คะแนนการยอมรับรวม		
	กัมทางการค้า	กัวกัม	แซนแทนกัม
0.1	$3.00^{c,ns}\pm0.38$	$3.20^{c,ns}\pm0.59$	$3.10^{c,ns}\pm0.42$
0.2	$3.30^{c,c}\pm0.40$	$3.70^{b,b}\pm0.48$	$4.80^{a,a}\pm0.28$
0.3	$3.93^{b,ns}\pm0.41$	$4.20^{a,ns}\pm0.53$	$3.70^{b,ns}\pm0.51$
0.4	$4.00^{b,ns}\pm0.47$	$3.77^{b,ns}\pm0.67$	$2.70^{d,ns}\pm0.33$
0.5	$4.40^{a,a}\pm0.47$	$3.00^{c,b}\pm0.47$	$2.33^{e,c}\pm0.44$

หมายเหตุ ตัวอักษรชุดแรก ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตัวอักษรชุดที่สอง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันทางแนวนอน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากตารางที่ 4.9 เมื่อเปรียบเทียบการใช้กัมทางการค้าที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้แอสปาเตมร้อยละ 0.075 และโพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 เพื่อแทนน้ำตาล พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีคะแนนการยอมรับรวมสูงที่สุดและแตกต่างจากการใช้ที่ระดับความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เมื่อเปรียบเทียบการใช้

ก้วกัมที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.3 มีคะแนนการยอมรับรวมสูงที่สุด และแตกต่างจากการใช้ที่ระดับความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบการใช้แซนแทนกัมที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.2 คะแนนการยอมรับรวมสูงที่สุดและแตกต่างจากการใช้ที่ระดับความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Martinou-Voulaski และ Zerfiridis (1990) พบว่าเมื่อใช้แซนแทนกัมที่ความเข้มข้นสูง ๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียว (gumminess) ผู้ทดสอบจะไม่ยอมรับ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้น เมื่อเปรียบเทียบคะแนนการยอมรับรวมของกัม 3 ชนิดที่ระดับความเข้มข้นที่มีคะแนนการยอมรับรวมสูงที่สุดคือ กัมทางการค้าที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ก้วกัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 และแซนแทนกัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 พบว่า แซนแทนกัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 มีคะแนนการยอมรับรวมสูงที่สุด และแตกต่างจากกัมทั้ง 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงคัดเลือกแซนแทนกัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ในการเป็นสารให้ความคงตัวในโยเกิร์ตแช่แข็ง เพื่อศึกษาในขั้นตอนต่อไป

จากผลการทดลองข้อ 4.2 ได้คัดเลือกระดับความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสและแอสปาเตมที่ร้อยละ 9.8 และ 0.075 ตามลำดับ และจากผลการทดลองข้อ 4.3 ได้คัดเลือกชนิดและระดับความเข้มข้นของกัมคือ แซนแทนกัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 ซึ่งผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตแช่แข็งที่ได้นี้มีสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 สมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้โพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 แอสปาเตมร้อยละ 0.075 และแซนแทนกัมร้อยละ 0.2

สมบัติ	ค่าเฉลี่ย
<u>สมบัติทางกายภาพ</u>	
ความหนืดปรากฏ[ก] (mPa.s)	362.33
ร้อยละ overrun	22.58
ร้อยละการละลาย[ข]	88.93
<u>สมบัติทางเคมี</u>	
pH[ค]	4.46
ปริมาณกรด (ร้อยละในรูปของกรดแลคติค)	0.62
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	21.13
<u>สมบัติทางประสาทสัมผัส</u>	
(คะแนน 1-5)	
ลักษณะเนื้อสัมผัส	4.50
การยอมรับรวม	4.80

หมายเหตุ ก วัดที่อุณหภูมิ 6±1 องศาเซลเซียส shear rate 18.46 s^{-1}

ข ร้อยละการละลายวัดที่ 45 นาที

ค วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

4.4 <u>ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของโยเกิร์ตแช่แข็ง</u>

โยเกิร์ตแช่แข็งที่คัดเลือกได้จากข้อ 4.3 ใช้ความเข้มข้นของโพลีเด็กซ์โตรสและ

แอสปาเตมที่ร้อยละ 9.8 และ 0.075 ตามลำดับ ส่วนสารให้ความคงตัวใช้แซนแทนกัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 และเปรียบเทียบกับโยเกิร์ตแช่แข็งสูตรต้นแบบที่ใช้น้ำตาลซูโครสที่ที่ความเข้มข้นร้อยละ 12 และกัมทางการค้าความเข้มข้นร้อยละ 0.5

4.4.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตแช่แข็งที่คัดเลือกได้จากข้อ 4.3 และโยเกิร์ตแช่แข็งสูตรต้นแบบ ตามวิธีของ AOAC (1990) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 องค์ประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้โพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 แอสปาเตมร้อยละ 0.075 และแซนแทนกัมร้อยละ 0.2 และองค์ประกอบทางเคมีของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้น้ำตาลซูโครสร้อยละ 12 และกัมทางการค้าร้อยละ 0.5

องค์ประกอบ[ก]	สูตร A[ข] (ร้อยละ)	สูตรต้นแบบ[ค] (ร้อยละ)
ไขมัน	1.09	1.09
โปรตีน(Nx6.38)	3.82	3.82
เถ้า	0.95	0.93
ปริมาณของแข็ง	19.70	23.86
คาร์โบไฮเดรต	13.84	18.02

หมายเหตุ ก องค์ประกอบทั้งหมด คำนวณเป็น wet basis

ข โยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้โพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 แอสปาเตมร้อยละ 0.075 และแซนแทนกัมร้อยละ 0.2

ค โยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้น้ำตาลซูโครสร้อยละ 12 และกัมทางการค้าร้อยละ 0.5

จากตารางที่ 4.11 และจะเห็นว่าโยเกิร์ตแช่แข็งที่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการเนื่องจากมีโปรตีนอยู่พอประมาณและไขมันต่ำ เหมาะสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก เมื่อเปรียบเทียบกับโยเกิร์ตแช่แข็งที่ Kosikowski (1981)ได้หาองค์ประกอบทางเคมี (แสดงดังตารางที่ 2.1) และ Tieszen และ Baer (1989) พบว่าปริมาณไขมัน โปรตีน และเถ้า มีปริมาณใกล้เคียงกันกับค่าเฉลี่ย ส่วนปริมาณของแข็งและคาร์โบไฮเดรตมีปริมาณที่ต่ำกว่าเนื่องจากโยเกิร์ตแช่แข็งที่ผลิตใช้แอสปาเตมร่วมกับโพลีเด็กซ์โตรสแทนน้ำตาลซูโครส ซึ่งสารละลายโพลีเด็กซ์โตรส (ร้อยละ 70) จะมีความหนืดที่สูงกว่าสารละลายซูโครสที่ความเข้มข้นเดียวกัน (Anon, 1986) ดังนั้นปริมาณการใช้โพลีเด็กซ์โตรสจึงต่ำกว่าซูโครสทำให้มีปริมาณของแข็งต่ำกว่า

4.4.2 หาค่าพลังงานโดยคำนวณจากสูตรและเปรียบเทียบพลังงานที่ได้รับจากโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้น้ำตาลทราย

การคำนวณค่าพลังงานของโยเกิร์ตแช่แข็ง โดยคิดค่าพลังงานที่ได้จากไขมันคือ 9 กิโลแคลอรี่ต่อกรัม ค่าพลังงานของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตคือ 4 กิโลแคลอรี่ต่อกรัม ค่าพลังงานของโพลีเด็กซ์โตรสคือ 1 กิโลแคลอรี่ต่อกรัม (Anon, 1986)และค่าพลังงานที่ได้จากแซนแทนกัมคือ 0.5 กิโลแคลอรี่ต่อกรัม (Branen และคณะ , 1990)

จากตารางที่ 4.11 เมื่อคำนวณค่าพลังงานของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้แอสปาเตมร้อยละ 0.075 โพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 และแซนแทนกัมร้อยละ 0.2 ให้พลังงานทั้งหมด 50.35 กิโลแคลอรีต่อโยเกิร์ตแช่แข็ง 100 กรัม และเมื่อคำนวณค่าพลังงานของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้น้ำตาลซูโครสร้อยละ 12 และกัมทางการค้าร้อยละ 0.5 ให้พลังงาน 97.17 กิโลแคลอรีต่อโยเกิร์ตแช่แข็ง 100 กรัม วิธีคำนวณค่าพลังงานแสดงในภาคผนวก ง

เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ได้รับจากโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้แอสปาเตมร่วมกับโพลีเด็กซ์โตรสจะสามารถลดค่าพลังงานที่ได้รับจากโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้น้ำตาลทรายลงได้ถึงร้อยละ 48.18

4.5 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บของส่วนผสมเหลวของผลิตภัณฑ์

4.5.1 ส่วนผสมเหลวที่เตรียมวิธีเดียวกับ 3.2.2.1 โดยเก็บส่วนผสมเหลวภายหลังขั้นตอนการเติมแอสปาเตมในกล่องพลาสติคชนิด polystyrene ขนาดบรรจุ 1000 กรัม ที่อุณหภูมิ 7±1 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างระหว่างการเก็บทุก 24 ชั่วโมงเป็นเวลา 7 วัน เพื่อการวิเคราะห์

4.5.1.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ได้แก่ ความหนืดปรากฏ เช่นเดียวกับวิธีข้อ 3.2.2.2.2

จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Completely Randomized Design พบว่า ความหนืดปรากฏของส่วนผสมเหลวของโซเดียมแซ่แข็งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 7±1 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ผลการทดลองดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยความหนืดปรากฏของส่วนผสมเหลวของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้โพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 แอสปาเตมร้อยละ 0.075 และ แซนแทนกัมร้อยละ 0.2 ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 7±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7วัน

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	ความหนืดปรากฏ[ก] (mPa.s)
1	$350.5^{ns}\pm 3.54$
2	$343.5^{ns}\pm 10.61$
3	$341.5^{ns}\pm 6.36$
4	$332.5^{ns}\pm 4.95$
5	$328.5^{ns}\pm 2.12$
6	$320.5^{ns}\pm 6.36$
7	$319.5^{ns}\pm 12.02$

หมายเหตุ ก ความหนืดปรากฏของส่วนผสมวัดที่อุณหภูมิ 6±1 องศาเซลเซียส shear rate 18.46 s^{-1}

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

4.5.1.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี ได้แก่ pH ปริมาณกรด ตามวิธีของ AOAC (1990)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Completely Randomized Design พบว่า ส่วนผสมเหลวของโยเกิร์ตแช่แข็งที่เก็บที่อุณหภูมิ 7±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน มีค่า pH และปริมาณกรดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เนื่องจากอุณหภูมิ

ที่เก็บนี้สามารถยับยั้งปฏิกิริยาการสร้างกรดของเชื้อโยเกิร์ตได้ ค่า pH และปริมาณกรด แสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยของ pH และปริมาณกรดของส่วนผสมเหลวของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้โพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 แอสปาเตมร้อยละ 0.075 และแซนแทนกัมร้อยละ 0.2 ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 7 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	ค่าสมบัติทางเคมีของโยเกิร์ตแช่แข็ง	
	pH[ก]	ปริมาณกรด(ร้อยละ)
1	$4.5^{ns}\pm0.03$	$0.6^{ns}\pm0.01$
2	$4.49^{ns}\pm0.01$	$0.62^{ns}\pm0.01$
3	$4.48^{ns}\pm0.05$	$0.62^{ns}\pm0.04$
4	$4.48^{ns}\pm0.02$	$0.62^{ns}\pm0.02$
5	$4.5^{ns}\pm0.04$	$0.61^{ns}\pm0.04$
6	$4.47^{ns}\pm0.01$	$0.63^{ns}\pm0.01$
7	$4.52^{ns}\pm0.01$	$0.58^{ns}\pm0.01$

หมายเหตุ ก วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

4.5.1.3 วิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ ได้แก่ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และโคลิฟอร์ม ตามวิธีของ AOAC (1990)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Completely Randomized Design พบว่า เมื่อเก็บส่วนผสมเหลวของโยเกิร์ตแช่แข็งที่อุณหภูมิ 7±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน แสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยของปริมาณจุลินทรีย์ในส่วนผสมเหลวของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้โพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 แอสปาเตมร้อยละ 0.075 และแซนแทนกัมร้อยละ 0.2 ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 7±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	ค่าเฉลี่ย	
	SPC[ก] x10^6/มิลลิลิตร	โคลิฟอร์ม/มิลลิลิตร
1	1.96^{a} ±0.07	7.67^{c} ±1.53
2	1.78^{ab}±0.04	11.33^{bc}±1.53
3	1.66^{bc}±0.08	13.33^{ab}±0.58
4	1.52^{c} ±0.04	16.00^{a} ±1.00
5	1.46^{cd}±0.06	16.67^{a} ±1.53
6	1.24^{de}±0.07	17.67^{a} ±1.15
7	1.08^{e} ±0.12	19.67^{a} ±1.53

หมายเหตุ ก จำนวนจุลินทรีย์ที่ตรวจพบโดยใช้วิธี standard plate count

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.14 เมื่อเก็บส่วนผสมเหลวที่อุณหภูมิ 7±1 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Speck และ Geoffrion (1980) ที่ทดลองเก็บโยเกิร์ตแช่แข็งที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส พบว่าจำนวนจุลินทรีย์จะมีค่าลดลง และ Helena (1985) พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ในโยเกิร์ตมีค่าระหว่าง $2.0x10^8$-$10.0x10^8$ ต่อมิลลิลิตร และจะมีปริมาณลดลงระหว่างการเก็บ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์อยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะกับการเจริญเติบโต สภาวะที่เหมาะต่อการเจริญของ Streptococcus thermophilus และ Lactobacillus bulgaricus คือที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส (Tamine, 1981) ปริมาณจุลินทรีย์ในโยเกิร์ตแช่แข็งที่เชื่อว่าจะเป็นประโยชน์ต่อร่างกายคือ $5x10^6$-$7x10^6$ ต่อมิลลิลิตรและที่สภาวะการเก็บนี้ จำนวนโคลิฟอร์มจะเพิ่มขึ้นและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสจำนวนโคลิฟอร์มจะสามารถเพิ่มขึ้นได้ (Foster,Nelson,Speck, Doetsch,และ Olson,1957) จำนวนโคลิฟอร์มในผลิตภัณฑ์นมโดยทั่วไปไม่ควรเกิน 10 ต่อมิลลิลิตร แต่จำนวนโคลิฟอร์มที่พบในโยเกิร์ตแช่แข็งนี้โดยส่วนใหญ่จะมีปริมาณมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องจากการปนเปื้อนในระหว่างขั้นตอนการผลิต จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและโคลิฟอร์มในโยเกิร์ตแช่แข็ง

4.5.2 ส่วนผสมเหลวจาก 4.5.1 ไปปั่นในเครื่องปั่นไอศกรีม วิเคราะห์

4.5.2.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ได้แก่ ร้อยละoverrun และร้อยละการละลาย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตแช่แข็งที่ได้มีค่าร้อยละ overrun และร้อยละการละลายไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยร้อยละ overrun และร้อยละการละลายของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้โพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 แอสปาเตมร้อยละ 0.075 และแซนแทนกัมร้อยละ 0.2 ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 7±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	ค่าเฉลี่ย	
	ร้อยละ overrun	ร้อยละการละลาย
1	$22.81^{ns}\pm0.93$	$87.94^{b}\pm0.39$
2	$23.00^{ns}\pm2.02$	$88.91^{b}\pm0.51$
3	$22.78^{ns}\pm0.97$	$90.04^{b}\pm0.72$
4	$23.00^{ns}\pm0.23$	$90.18^{b}\pm0.28$
5	$22.99^{ns}\pm0.59$	$90.10^{b}\pm0.75$
6	$23.16^{ns}\pm0.16$	$91.02^{a}\pm0.62$
7	$22.23^{ns}\pm0.57$	$91.20^{a}\pm0.09$

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)
ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

จากตารางที่ 4.15 ค่าร้อยละ overrun ไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าร้อยละ overrun คือ ความหนืดปรากฏ ในระหว่างการเก็บส่วนผสมเหลวที่อุณหภูมิ 7±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ค่าความหนืดปรากฏมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จึงไม่ทำให้ค่าร้อยละ overrun มีค่าเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด ปัจจัยอื่นที่มีผลต่อร้อยละ overrun คือปริมาณสารให้ความคงตัว ความคมที่อของใบมีดของเครื่องปั่น ปริมาณของส่วนผสมในเครื่องปั่น

ชนิดของเครื่องปั่นซึ่งมีความสามารถในการตีอากาศเข้าไปในส่วนผสมได้ไม่เท่ากัน เป็นต้น

ค่าร้อยละการละลายของโยเกิร์ตแช่แข็ง ระหว่างการเก็บ พบว่า มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) จนกระทั่งวันที่ 6 และ 7 จะมีค่าลดลงและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) เนื่องจากลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็งเป็นเกล็ดน้ำแข็งมากขึ้นจึงละลายได้มากขึ้น

4.5.2.2 การเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัส โดยทดสอบด้านลักษณะเนื้อสัมผัส ความหวาน และการยอมรับรวม เช่นเดียวกับวิธีข้อ 3.2.2.2.3

เมื่อเก็บส่วนผสมเหลวของโยเกิร์ตแช่แข็งเก็บที่อุณหภูมิ 7 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน แล้วนำไปปั่น พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสทั้งด้านลักษณะเนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยของคะแนนสมบัติทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้โพลีเด็กซ์โตรสร้อยละ 9.8 แอสปาเตมร้อยละ 0.075 และแซนแทนกัมร้อยละ 0.2 ระหว่างการเก็บที่อุณหภูมิ 7±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

ระยะเวลาการเก็บ (วัน)	คะแนนสมบัติทางประสาทสัมผัส		
	ลักษณะเนื้อสัมผัส	ความหวาน	การยอมรับรวม
1	4.9^{a} ±0.32	4.7^{ns}±0.48	4.6^{a} ±0.52
2	4.8^{a} ±0.42	4.6^{ns}±0.52	4.5^{a} ±0.53
3	4.35^{b} ±0.47	4.5^{ns}±0.53	4.4^{a} ±0.84
4	3.7^{c} ±0.67	4.7^{ns}±0.48	3.6^{b} ±0.52
5	3.25^{d} ±0.63	4.5^{ns}±0.53	3.1^{bc}±0.88
6	2.95^{de}±0.60	4.5^{ns}±0.53	2.8^{c} ±0.79
7	2.8^{e} ±0.42	4.7^{ns}±0.48	2.6^{c} ±0.52

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกัน หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.16 คะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสและการยอมรับรวมมีค่าลดลงเนื่องจากความหนืดปรากฏของส่วนผสมมีค่าลดลง ซึ่งมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตแช่แข็ง โดยเมื่อมีการแข็งตัวของน้ำในส่วน feasible water ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของน้ำ จึงเกิดการแพร่ ในกรณีที่ความหนืดปรากฏมีค่าต่ำ การแพร่จะเกิดขึ้นง่ายกว่าส่วนผสมที่มีความหนืดปรากฏสูง ทำให้เกิดเกล็ดน้ำแข็งได้มากกว่าและขนาดของเกล็ดน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ (Sommer, 1951) และการยอมรับรวมจึงลดลงด้วย ส่วนด้านความหวานไม่มีความ

แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) เนื่องจากแอสปาเตมที่เก็บที่อุณหภูมิแช่เย็นมีความเสถียร สามารถเก็บได้นานกว่า 6 เดือนโดยไม่เกิดการสลายตัว ความหวานจึงไม่ลดลง

4.6 ศึกษาต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์

ต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตแช่แข็ง ที่ใช้แอสปาเตมความเข้มข้นร้อยละ 0.075 โพลีเด็กซ์โตรสความเข้มข้นร้อยละ 9.8 และแซนแทนกัมความเข้มข้นร้อยละ 0.2 และต้นทุนการผลิตของโยเกิร์ตแช่แข็งสูตรต้นแบบที่ใช้น้ำตาลซูโครสร้อยละ 12 และกัมทางการค้าความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยคิดจากการเตรียมส่วนผสมเหลวของโยเกิร์ตแช่แข็งจำนวน 1 ลิตร ข้อมูลต้นทุนของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตแช่แข็ง แสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ข้อมูลราคาวัตถุดิบในการผลิตโยเกิร์ตแช่แข็ง

วัตถุดิบ	ราคาหน่วยละ (บาท/กิโลกรัม)	จำนวน (กรัม)	ราคา (บาท)
หางนมผง	70	43	3.01
นมสด	23	612	14.08
สารละลายโพลีเด็กซ์โตรส (ร้อยละ 70)	98	140	13.72
แอสปาเตม	3,000	0.75	2.25
แซนแทนกัม	200	4	0.80
เชื้อโยเกิร์ต	70	50	3.50
น้ำตาลซูโครส[ก]	12	120	1.44
กัมทางการค้า[ก]	300	5	1.50

หมายเหตุ ก กรณีที่ใช้น้ำตาลซูโครสเป็นสารให้ความหวานในโยเกิร์ตแช่แข็ง

ต้นทุนการผลิตของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้โพลีเด็กซ์โตรสความเข้มข้นร้อยละ 9.8 แอสปาเตมความเข้มข้นร้อยละ 0.075 และแซนแทนกัมความเข้มข้นร้อยละ 0.2 สูตรที่ได้จากข้อ 4.3 มีต้นทุนเท่ากับ 30.50 บาท ต่อโยเกิร์ตแช่แข็ง 1000 กรัม (เมื่อคิดร้อยละ overrun เท่ากับ 22.5)

ต้นทุนการผลิตของโยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้น้ำตาลทรายความเข้มข้นร้อยละ 12 เป็นสารให้ความหวานและกัมทางการค้าความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีต้นทุนเท่ากับ 19.13 บาท ต่อโยเกิร์ตแช่แข็ง 1000 กรัม (เมื่อคิดร้อยละoverrun เท่ากับ 23)

จากการคิดคำนวณต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตแช่แข็งที่ใช้โพลีเด็กซ์โตรสและแอสปาเตมจะมีต้นทุนการผลิตสูงกว่าโยเกิร์ตแช่แข็งสูตรที่ใช้น้ำตาลซูโครสเป็นสารให้ความหวานร้อยละ 37.28