



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การใช้พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวเพื่อเป็นสารทดแทนไขมัน
ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

Application of Okra Polysaccharides as Fat Replacer in Ice Cream

نامผู้วิจัย นางสาวพิชญา เตชะภัทรกุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนະบูลย์ สัจจาอนันตกุล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ปาริฉัตร หงสประภาส, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรวรณี จิรภาคย์กุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสีทงจิ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การใช้พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว
เพื่อเป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

Application of Okra Polysaccharides
as Fat Replacer in Ice Cream

โดย

นางสาวพิชญา เตชะภัทรกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2557

พิกฎา เตชะภทกรุล 2557: การใชัพอลลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวเพื่อเป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ปริญญาวิตายาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนะบุญญ์ สัจจาอนันตกุล, Ph.D. 125 หน้า

ทำการสกัดฝักกระเจี๊ยบเขียว (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) เพื่อเตรียมของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (Alcohol insoluble solids; AIS) จากนั้นเตรียม Okra cell wall powder (OKW) โดยนำ AIS มาบดเป็นผงละเอียด และเตรียม Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) โดยสกัดพอลลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้จาก AIS ด้วยน้ำ และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่ามีปริมาณผลได้ (Yield) ของ OKW และ OKP เท่ากับ 2.70% และ 0.74% เทียบกับน้ำหนักฝักกระเจี๊ยบเขียวสด ตามลำดับ เมื่อศึกษาคุณสมบัติด้านการไหล (Flow behavior) ของสารละลาย OKW และ OKP ที่ความเข้มข้น 0.1 - 0.5% (w/w) พบว่าสารละลายทั้งสองมีพฤติกรรมการไหลแบบ Herschel-Bulkley มีค่า Yield stress ประมาณ 32.45 - 744.68 mPa และที่ความเข้มข้นเดียวกันสารละลายของ OKP มีความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ที่อัตราเฉือน 50 s^{-1} มากกว่า OKW 2.5 - 5 เท่า

จากนั้นทำการศึกษาผลของการเติม OKW หรือ OKP ที่ความเข้มข้น 0.2% และ 0.4% (w/w) ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมลดไขมัน (RF) ที่มีปริมาณไขมัน 5% เพื่อปรับปรุงให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะใกล้เคียงกับไอศกรีมไขมันเต็ม (FF) โดยเทียบกับ FF ที่มีปริมาณไขมัน 10% และ RF ที่ไม่มีการเติมพอลลิแซ็กคาไรด์ พบว่าการเติม OKW หรือ OKP ใน RF ทำให้ความหนืดปรากฏของไอศกรีมเหลว (Ice cream mix) (ที่อัตราเฉือน 50 s^{-1}) ค่าความแน่นแข็ง และอัตราการละลายของไอศกรีม RF เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ขณะที่ค่าร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีม RF ที่มีการเติม OKW หรือ OKP ไม่แตกต่างจากไอศกรีม RF ที่เป็นตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบกับไอศกรีม FF พบว่าการเติม OKW หรือ OKP ที่ความเข้มข้น 0.2% สามารถเลียนแบบค่าความหนืด และค่าความแน่นแข็งของไอศกรีม RF ให้ใกล้เคียงกับไอศกรีม FF ได้ ถึงแม้ว่าไอศกรีม RF ที่เติม OKW หรือ OKP จะมีอัตราการละลายสูงกว่าไอศกรีม FF ที่ทดลองช่วงเวลา 60 นาที แต่ทั้ง OKW และ OKP สามารถชะลอการละลายของไอศกรีม RF ในช่วง 30 นาทีแรกของการละลายได้ดีกว่าไอศกรีม FF และเมื่อเปรียบเทียบไอศกรีม RF ที่ใช้ OKW, OKP, กว๊ากัม (GG) หรือโลคัสบีนัม (LBG) ที่ความเข้มข้น 0.2% พบว่าไอศกรีม RF ที่ใช้ OKW หรือ OKP มีความหนืดของไอศกรีมเหลว และค่าความแน่นแข็งของไอศกรีมไม่แตกต่างกับไอศกรีม FF ขณะที่ค่าการขึ้นฟูสูงกว่าไอศกรีมสูตรอื่น และเมื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยการให้คะแนนความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (ไอศกรีม FF) พบว่าไอศกรีม RF ที่ใช้พอลลิแซ็กคาไรด์ทั้ง 4 ชนิดมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อ ความเรียบเนียน กลิ่นรส ความเคี้ยวบมันในปาก และการละลายในปากไม่แตกต่างกับไอศกรีม FF ($p > 0.05$)

Pitchaya Taechapattarakul 2014: Application of Okra Polysaccharides as Fat Replacer in Ice Cream. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Assistant Professor Tanaboon Sajjaanantakul, Ph.D. 125 pages.

Okra pods (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) was extracted with ethanol to prepared alcohol insoluble solid (AIS), material for 2 types of okra polysaccharide preparation. Okra cell wall powder (OKW) was obtained from reduced size AIS and water soluble okra polysaccharide powder (OKP) was obtained by freeze drying water soluble polysaccharide extracted from AIS. OKW and OKP had 2.70% and 0.74% yield based on okra pods fresh weight, respectively. OKW and OKP solutions at 0.1% - 0.5% (w/w) showed the Herschel-Bulkley flow behavior with yield stress of 32.45 - 744.68 mPa. At the same concentration, the apparent viscosity (at a 50 s^{-1} shear rate) of OKP solutions was 2.5 - 5 times higher than that of OKW solutions.

Physical properties of reduced fat ice cream (RF with 5% fat) made with OKW or OKP, at 0.2% and 0.4% (w/w), were compared with full fat (FF with 10% fat) and RF ice cream without okra polysaccharides as controls. It was found that OKW or OKP significantly increased the apparent viscosity (at a 50 s^{-1} shear rate) of RF ice cream mix, and also the hardness and melting rate of the RF ice cream ($p \leq 0.05$); while resulting in similar overrun ($p > 0.05$). RF ice cream with OKW or OKP at 0.2% could mimic the viscosity and hardness of RF ice cream similar to FF formula. The melting rates of RF ice cream with OKW or OKP were increased for the period of 60 minutes. However, when considered at the first 30 minutes interval, RF ice cream containing OKW or OKP resulted in lower melting rate as compared with FF ice cream sample. Comparison of OKW and OKP with guar gum (GG) and locust bean gum (LBG) at the same concentration (0.2% w/w), as fat replacer in RF ice cream, showed that RF ice cream with OKW or OKP gave similar ice cream mix viscosity and hardness as compared to FF ice cream. OKW and OKP samples also resulted in higher overrun than the other polysaccharides. Difference from control technique was used in sensory evaluation. There were no significantly different in firmness, smoothness, flavor, mouth coating and meltdown of RF ice cream containing each polysaccharide compared with control sample (FF ice cream) ($p > 0.05$)

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ธนะบุญย์ สัจจาอนันตกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง และให้แนวคิดในการดำเนินงานวิจัยนี้
รวมถึงได้สละเวลาตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบ
ขอบพระคุณ รศ.ดร. ปาริฉัตร หงสประภาส อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ดร. ทนง
ภักธิ์พันธ์ ผู้ทรงคุณวุฒิ และ ผศ.ดร. มาศอุบล ทองงาม ประธานในการสอบ ที่กรุณาตรวจแก้ไข
และให้คำแนะนำในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนโอวาทต่างๆ ที่ทำให้
เพื่อนำไปใช้ในการดำเนินชีวิตต่อไป

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน และประสิทธิ์ประสาทวิชา
ความรู้แก่ข้าพเจ้า และขอบพระคุณเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ
และอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมระดับปริญญา
โท (สกว.-สสว.) ประจำปี 2550 ที่ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณบริษัท ทิมฟู้ด จำกัด ที่
เอื้อเฟื้อตัวอย่างกระเจี๊ยบเขียว บริษัท Danisco Thailand ที่ให้ความอนุเคราะห์หิมีลชีฟเออร์ และ
บริษัท BJC Specialties ที่ให้ความอนุเคราะห์กั้วร็กัมที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ ทั้งในและนอกรั้วมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยเฉพาะ
อย่างยิ่ง คุณรัตติ ปลูกพลสิน และคุณวัชรวิภา วรศุภรักษ์ สำหรับคำแนะนำ ความช่วยเหลือ
และกำลังใจที่ดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การอบรมเลี้ยงดู และสนับสนุน
การศึกษาของข้าพเจ้ามาโดยตลอด ขอขอบคุณสมาชิกในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ ประโยชน์อัน
ใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ คณาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

พิชญา เตชะภัทรกุล

กรกฎาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	32
อุปกรณ์	32
วิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	50
สรุปและข้อเสนอแนะ	88
สรุป	88
ข้อเสนอแนะ	89
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	90
ภาคผนวก	98
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ	99
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีจากการส่งวิเคราะห์	110
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณ	113
ภาคผนวก ง แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	119
ภาคผนวก จ ข้อมูลบริษัทและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	121
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	125

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่า Water absorption capacity (WAC), Oil absorption capacity (OAC) และ Water oil absorption capacity (WOAI) ของ Okra, Dika nut และ Khan flour	16
2	สูตรไอศกรีมที่ใช้ศึกษาผลของปริมาณ OKW และ OKP ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมลดไขมัน	43
3	ปริมาณผลได้ (Yield) ของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (AIS), Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide (OKP)	52
4	ปริมาณผลได้ (Yield) ของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (AIS) และพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว (Okra polysaccharide; OKP) เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ใกล้เคียงกัน	53
5	องค์ประกอบทางเคมีของ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP)	56
6	ปริมาณกรดกรดกาแล็กทูโรนิก และ Degree of methyl esterification ของ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP)	58
7	ค่าสีของ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ทั้งในรูปแบบผงแห้ง และสารละลายที่ความเข้มข้น 0.5% (w/w)	59
8	คุณสมบัติด้านการไหล (Flow behavior) ของสารละลาย Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ที่ความเข้มข้น 0.1 - 0.5% (w/w)	65
9	คุณสมบัติด้านการไหล (Flow behavior) ของไอศกรีมเหลว (Ice cream mix)	68
10	ผลของปริมาณ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ต่อค่าการขึ้นฟู (Overrun) ของไอศกรีม	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
11 ผลของปริมาณ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ต่อความแน่นแข็ง (Hardness) ของไอศกรีม	72
12 ผลของปริมาณ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ต่อเวลาที่ไอศกรีมละลายจนเกิดหยดแรก (First dripping time) และอัตราการละลายในช่วง 20 - 60 นาที (Melting rate) ของไอศกรีม	76
13 คุณสมบัติด้านการไหล (Flow behavior) ของไอศกรีมเหลว (Ice cream mix)	80
14 ผลของชนิดพอลิแซ็กคาไรด์ต่อค่าการขึ้นฟู (Overrun) ของไอศกรีม	81
15 ผลของพอลิแซ็กคาไรด์ต่อค่าความแน่นแข็ง (Hardness) ของไอศกรีม	82
16 ผลของพอลิแซ็กคาไรด์ต่อเวลาที่ไอศกรีมละลายจนเกิดหยดแรก (First dripping time) และอัตราการละลายในช่วง 20 - 60 นาที (Melting rate) ของไอศกรีม	83
17 คะแนนความแตกต่างด้านความแน่นเนื้อ ความเรียบเนียน กลิ่นรส ความเคี้ยวในปาก และการละลายในปากของไอศกรีมลดไขมันที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ เปรียบเทียบกับไอศกรีมไขมันเต็ม (ตัวอย่างควบคุม)	87
ตารางผนวกที่	
ค1 ร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมที่ละลาย ณ เวลาต่างๆ ของตัวอย่างไอศกรีมไขมันเต็ม (FF)	115

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ผักกระเจียวเขียว	5
2	ส่วนหนึ่งของโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียวเขียว	7
3	โครงสร้างของเพกทินจากกระเจียวเขียวที่สกัดด้วยบัฟเฟอร์ร้อน (Hot buffer soluble solids, HBSS) (A) และ Chelating agent (Chelating agent soluble solids, CHSS) (B)	8
4	ผลของความเป็นกรด-เบสต่อความหนืดสัมพัทธ์ (Relative viscosity) ของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียวเขียว ความเข้มข้น 0.5% w/v ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	10
5	ผลของความร้อน (เส้นทึบ) และการทำให้เย็น (เส้นประ) ต่อความหนืดสัมพัทธ์ (Relative viscosity) ของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียวเขียวที่ความเข้มข้น 0.8% w/v	12
6	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืด (Flow curve) ของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียวเขียวที่ความเข้มข้น 0.096% (▲), 0.19% (●), 0.48% (○), 0.67% (■) และ 0.96% (□) ในน้ำ (ซ้าย) และในโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (ขวา) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส, η_s หมายถึง ความหนืดของตัวทำละลาย (0.1 N HCl), $\dot{\gamma}$ หมายถึง อัตราเฉือน (1/วินาที)	13
7	ผลของประจุแคลเซียมต่อความหนืดสัมพัทธ์ (Relative viscosity) ของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียวเขียว ความเข้มข้น 0.5% w/v ที่พีเอช 6.0	14
8	ภาพจำลอง Egg-box model การเกิดอันตรกิริยาระหว่างแคลเซียมไอออนกับคาร์บอกซิลไอออนในโครงสร้างของเพกทินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ	15
9	กระบวนการผลิตไอศกรีม	25
10	ภาพจำลองโครงสร้างของไอศกรีมเหลว (Ice cream mix) และไอศกรีม	27
11	แผนภาพเตรียม Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide (OKP)	39
12	ขั้นตอนการผลิตไอศกรีม	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
13 ลักษณะปรากฏของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (Alcohol insoluble solids; AIS) (a), Okra cell wall powder (OKW) (b) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) (c)	51
14 ลักษณะปรากฏของสารละลาย Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ความเข้มข้น 0.5% (w/w)	60
15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือน (Flow curve) ของสารละลาย Okra cell wall powder (OKW) ที่ความเข้มข้น 0.1 - 0.5% (w/w)	63
16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืด (Viscosity curve) ของสารละลาย Okra cell wall powder (OKW) ที่ความเข้มข้น 0.1 - 0.5% (w/w)	63
17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือน (Flow curve) ของสารละลาย Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ที่ความเข้มข้น 0.1 - 0.5% (w/w)	64
18 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืด (Viscosity curve) ของสารละลาย Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ที่ความเข้มข้น 0.1 - 0.5% (w/w)	64
19 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ที่ความเข้มข้น 0.1 - 0.5% (w/w) ต่อค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ที่อัตราเฉือน 50 s^{-1}	66
20 ผลของปริมาณ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ต่อร้อยละของน้ำหนักรวมของไขมันที่ละลายทุกๆ 10 นาที เปรียบเทียบกับไฮดรอกซีเมทิลเซลลูโลสและไฮดรอกซีเมทิลเซลลูโลส	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	ผลของปริมาณ Okra cell wall powder และ Water soluble okra polysaccharide powder ต่อลักษณะการละลายของไอศกรีมลดไขมันเปรียบเทียบกับไอศกรีมไขมันเต็ม และไอศกรีมลดไขมัน	78
22	ผลของพอลิแซ็กคาไรด์ต่อร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายทุกๆ 10 นาที	84
23	ผลของพอลิแซ็กคาไรด์ต่อลักษณะการละลายของไอศกรีม	85
ภาพผนวกที่		
ก1	กราฟมาตรฐานของกรดกาแล็กทูโรนิกสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณกรดกาแล็กทูโรนิก	106
ก2	กราฟมาตรฐานของเมทานอลสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเมทานอล	108
ก3	แผนภาพของสีในระบบ CIELAB และความสัมพันธ์ของค่า L, a*, b*, C* และ h*	109
ข1	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง Okra cell wall powder (OKW) จากห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	111
ข2	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง Water soluble okra polysaccharide (OKP) จากห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	112
ค1	ร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายทุกๆ 10 นาที ของไอศกรีมไขมันเต็ม (FF)	116
ค2	ผลของปริมาณ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ต่อร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมลดไขมันที่ละลายทุกๆ 10 นาที เปรียบเทียบกับไอศกรีมไขมันเต็ม และไอศกรีมลดไขมัน	117

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ค3 ผลของพอลิแซ็กคาไรด์ต่อร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายทุกๆ 10 นาที	118
จ1 เครื่องมือวัดคุณสมบัติทางวิทยากระแสน้ำ	123
จ2 เครื่องปั้นเยือกแข็งไอศกรีม	124

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AIS	=	Alcohol insoluble solids
FF	=	Full fat
GG	=	Guar gum
LBG	=	Locust bean gum
MSNF	=	Milk solid not fat
OKP	=	Water soluble okra polysaccharide
OKW	=	Okra cell wall powder
RF	=	Reduced fat
η_{50}	=	Apparent viscosity at shear rate of 50 s^{-1} (mPa.s)
n	=	Flow behavior index
K	=	Flow coefficient (mPa.s ^{n})
τ	=	Shear stress (mPa)
τ_0	=	Yield stress (mPa)
$\dot{\gamma}$	=	Shear rate (s^{-1})

การใช้พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว เพื่อเป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

Application of Okra Polysaccharides as a Fat Replacer in an Ice Cream

คำนำ

สารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์เมื่อละลายน้ำ สามารถพองตัวได้หลายเท่า ทำให้เกิดสารละลายข้นหนืด จึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารโดยใช้เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด สารให้ความคงตัว และสารช่วยให้เกิดเจล ทำให้เกิดแนวโน้มที่จะศึกษาการใช้ประโยชน์พอลิแซ็กคาไรด์จากวัตถุดิบชนิดใหม่เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะผักและผลไม้ต่างๆ ที่สามารถหาได้ง่ายและมีต้นทุนต่ำ กระเจี๊ยบเขียว (*Okra, Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) เป็นผักที่มีเมือกซึ่งเป็นสารประกอบจำพวกพอลิแซ็กคาไรด์ และเป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูง รับประทานได้ทั้งผักสุก หรือใช้ประกอบอาหารเพื่อเพิ่มความข้นหนืด และสามารถนำไปใช้ผลิตยา โดยส่วนที่เป็นเมือกหรือพอลิแซ็กคาไรด์จากผักกระเจี๊ยบเขียวมีคุณสมบัติช่วยบรรเทาอาการปวดของโรคกระเพาะอาหารและลำไส้ โดยจะไปช่วยเคลือบและบรรเทาอาการระคายเคืองของเนื้อเยื่อที่อักเสบได้ และยังมีสารขับพยาธิตัวจิ๋วได้ ซึ่งปรากฏสรรพคุณในตำราแพทย์แผนโบราณ และการทดลองแพทย์แผนใหม่ทั้งในและต่างประเทศ (เฉลิมเกียรติ และคณะ, 2536) กระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชผักส่งออกที่สำคัญของประเทศไทยชนิดหนึ่ง ในปี 2554 ประเทศไทยส่งออกกระเจี๊ยบเขียวประมาณ 3,947 ตัน คิดเป็นมูลค่า 447 ล้านบาท โดยส่งออกทั้งในรูปผักสดและแช่แข็ง มีตลาดที่สำคัญคือประเทศญี่ปุ่น (กรมศุลกากร, 2555)

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาองค์ประกอบ โครงสร้างทางเคมี และคุณสมบัติของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว โดยพบว่าเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่จับอยู่กับโปรตีนและแร่ธาตุ (Woolfe *et al.*, 1977) มีโครงสร้างหลักเป็น Rhamnogalacturonan คล้ายเพกทิน (Tomoda *et al.*, 1980) สารละลายมีความหนืดสูงสุดที่พีเอชเป็นกลาง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิความหนืดจะลดลงเมื่อทิ้งให้เย็นความหนืดจะกลับมาเพิ่มขึ้น แต่ไม่เท่ากับค่าเริ่มต้นที่อุณหภูมิเดียวกัน (Ndjouenkeu *et al.*, 1996) และการเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมไอออน (200 - 1,000 ไมโครโมลาร์) จะทำให้ความหนืดลดลง (Woolfe *et al.*, 1977) และมีงานวิจัยที่ศึกษาการดัดแปรพอลิ-

แซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ และเอทิลเอมีน พบว่าสามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้านความหนืดของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวให้คงความหนืดได้ในช่วงพีเอชกว้างขึ้น (pH 4 - 10.8) และมีความคงตัวหลังผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสได้ดีกว่าพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร (วชิราภรณ์, 2549) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่สกัดด้วยสารละลายแบบลำดับส่วน ซึ่งพบว่าพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากสารละลายลำดับส่วนที่ต่างกัน มีโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่แตกต่างกัน (Sengkhampan et al., 2009, 2010)

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์นมที่ผู้บริโภคนิยม นอกจากมีรสชาติที่ดีแล้ว ไอศกรีมยังอุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหาร แต่ในไอศกรีมมีองค์ประกอบที่เป็นไขมันนมซึ่งเป็นส่วนที่ให้พลังงานสูง ในปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจกับสุขภาพกันมากขึ้น เนื่องจากการบริโภคไขมันมากเกินไปจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ ผู้บริโภคจึงเลือกรับประทานอาหารที่มีปริมาณไขมันต่ำ การผลิตไอศกรีมไขมันต่ำจึงเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการลดไขมันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมทำให้ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัสด้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันสูงกว่า ซึ่งส่งผลกระทบต่อารยอมรับของผู้บริโภค (Guinard et al., 1997) จึงมีการใช้สารทดแทนไขมันเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ลดไขมันให้มีลักษณะตามที่ต้องการหรือใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เดิมมากที่สุด พอลิแซ็กคาไรด์เป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่นิยมใช้เป็นสารทดแทนไขมัน เนื่องจากมีความสามารถในการอุ้มน้ำ และทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความข้นหนืด (Thickening agent) หรืออาจทำให้เกิดเจล ซึ่งทำให้เกิดลักษณะคล้ายครีม (Creamy) ในผลิตภัณฑ์ ด้วยเหตุนี้ พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวจึงมีแนวโน้มที่จะใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้จากกระเจี๊ยบเขียวและความสามารถในการใช้ประโยชน์เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ซึ่งอาจนำไปใช้เป็นข้อมูลทางวิทยาศาสตร์เพื่อสนับสนุนด้านการผลิตและการใช้ประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมได้ นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างมูลค่าใหม่ให้กับกระเจี๊ยบเขียวที่เป็นผลิตผลที่ปลูกได้ในประเทศ เพื่อใช้เป็นไฮโดรคอลลอยด์ซึ่งอาจทดแทนการใช้และลดการนำเข้าไฮโดรคอลลอยด์จากต่างประเทศได้

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ที่สกัดได้จาก กระเจี๊ยบเขียว
2. ศึกษาผลของปริมาณ OKW และ OKP ที่เหมาะสมต่อคุณสมบัติทางกายภาพของ ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมลดไขมันเปรียบเทียบกับไอศกรีมไขมันเต็ม
3. เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมลดไขมันที่ใช้ OKW และ OKP เป็นสารทดแทนไขมันเปรียบเทียบกับพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่น

การตรวจเอกสาร

กระเจี๊ยบเขียว

กระเจี๊ยบเขียว (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนแถบแอฟริกาและเอเชีย กระเจี๊ยบเขียวมีชื่อสามัญว่า Okra หรือ Lady's finger และมีชื่อเรียกในภาษาต่างๆ แตกต่างกันไป เช่น Quibombo ในภาษาสเปน Gombo, Bamia หรือ Bamya ในภาษาฝรั่งเศส Bhindi ในภาษาฮินดี และ Bamies ในประเทศแถบเมดิเตอร์เรเนียนและอาหรับ (Anonymous, 2014) แหล่งผลิตกระเจี๊ยบเขียวของโลก ได้แก่ แถบชายฝั่งทะเลแคริบเบียน ทวีปแอฟริกา โดยเฉพาะในประเทศชูดาน อียิปต์ ไนจีเรีย และในประเทศเขตเอเชีย ได้แก่ มาเลเซียและฟิลิปปินส์ สำหรับประเทศไทย แหล่งปลูกกระเจี๊ยบเขียว ได้แก่ เขตหนองแขม กรุงเทพฯ นครปฐม ปทุมธานี นนทบุรี สุพรรณบุรี และสมุทรสาคร (เฉลิมเกียรติ และคณะ, 2536; Ndjouenkeu *et al.*, 1996) กระเจี๊ยบเขียวเป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะวิตามินและแร่ธาตุต่างๆ จากการวิเคราะห์กระเจี๊ยบเขียวฝักสดในส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม มีคุณค่าทางอาหารต่อไปนี้ (สุขสันต์, 2550)

น้ำ	88.9	ร้อยละ	ฟอสฟอรัส	51.0	มิลลิกรัม
พลังงาน	36.0	แคลอรี	โปแตสเซียม	249.0	มิลลิกรัม
โปรตีน	2.4	กรัม	เหล็ก	0.6	มิลลิกรัม
ไขมัน	0.3	กรัม	วิตามินเอ	520.0	มิลลิกรัม
คาร์โบไฮเดรต	7.6	กรัม	ไทอามีน	0.17	มิลลิกรัม
เส้นใย	1.0	กรัม	โรโบฟลาวิน	0.21	มิลลิกรัม
แคลเซียม	92.0	มิลลิกรัม	แอสคอบิกแอซิด	31.0	มิลลิกรัม
ไนอาซีน	1.0	มิลลิกรัม			

นอกจากนี้กระเจี๊ยบเขียวยังประกอบไปด้วยสารจำพวกพอลิแซ็กคาไรด์ในปริมาณสูง ทำให้กระเจี๊ยบเขียวมีลักษณะเป็นเมือก ซึ่งจะช่วยบรรเทาอาการปวดจากโรคกระเพาะ ลำไส้อักเสบ ป้องกันอาการหลอดเลือดตีบตัน รักษาความดันโลหิตให้เป็นปกติ ทั้งยังเป็นยาระบายที่ดี และช่วยขับพยาธิได้ดี มีการใช้กระเจี๊ยบเขียวเป็นยาพื้นบ้านสำหรับขับปัสสาวะ และรักษาโรคในช่องปากอีกด้วย (เฉลิมเกียรติ และคณะ, 2536; Ndjouenkeu *et al.*, 1996) ชาวญี่ปุ่นนิยม

บริโภคกระเจี๊ยบเขียวโดยปรุงเป็นอาหารว่างรับประทานกับเครื่องดื่ม อาทิ ผักสดอย่าง ชุบแป้งทอด และใช้ทำข้าวปั้นห่อสาหร่าย เพราะเชื่อว่าเป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหารสูงให้ผลดีต่อสุขภาพร่างกาย รวมทั้งช่วยบรรเทาโรคได้หลายโรคดังกล่าวข้างต้น



ภาพที่ 1 ผักกระเจี๊ยบเขียว

1. องค์ประกอบทางเคมีของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว

การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวสามารถทำได้หลายวิธี โดยแต่ละวิธีจะได้ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์และองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่น สายพันธุ์ของกระเจี๊ยบเขียว เป็นต้น การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ใช้วิธีสกัดด้วยของเหลว เช่น น้ำ หรือ กรดไฮโดรคลอริก

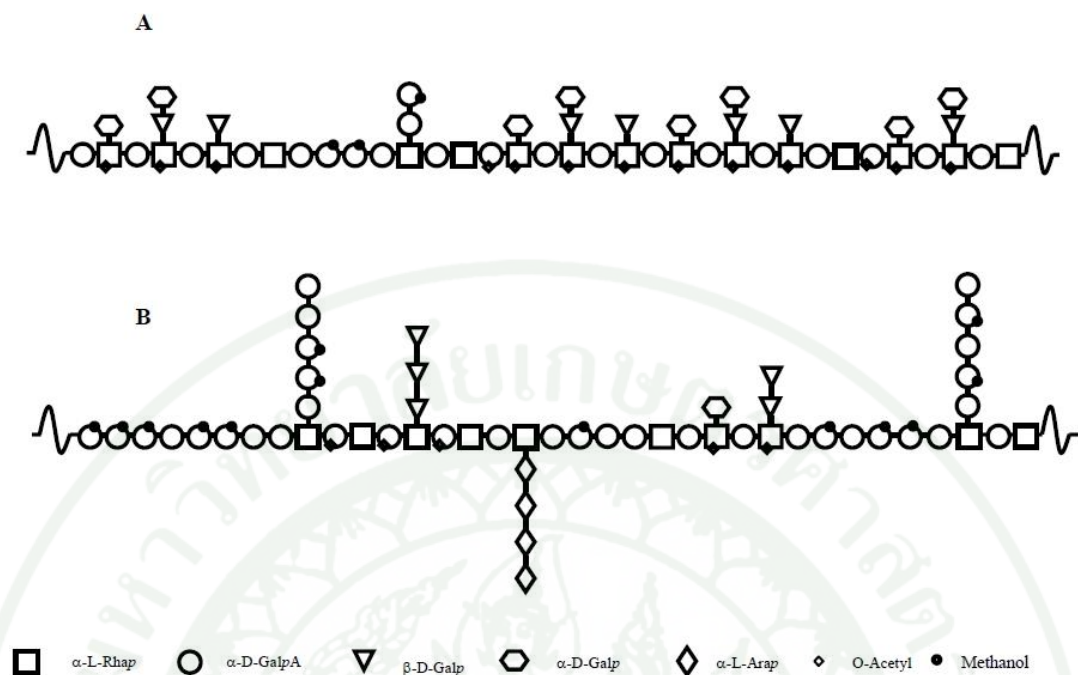
Woolfe *et al.* (1977) ศึกษาการสกัดเมือก (Mucilage) จากกระเจี๊ยบเขียวด้วยน้ำ ซึ่งเมือกเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำ จากนั้นตกตะกอนด้วยเอทานอล แล้วกำจัดน้ำออกด้วยอะซิโตน จะได้ของแข็งสีครีมโดยจะให้ปริมาณผลได้ของเมือก (Yield) เท่ากับ 16 กรัมต่อปริมาณกระเจี๊ยบเขียว 1 กิโลกรัม (1.6%) และเมื่อนำเมือกไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยสารละลาย Trichloroacetic acid ความเข้มข้น 5% ปรับพีเอชให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการไดอะไลซิส (Dialysis) ด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 30 ชั่วโมง นำเมือกที่ได้มาตกตะกอนด้วยเอทานอลปริมาตร 3 เท่า และล้างด้วยเอทานอล อะซิโตน และไดเอทิลอีเทอร์ ตามลำดับ พบว่าหลังผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ เมือกกระเจี๊ยบเขียวมีปริมาณโปรตีนลดลงเล็กน้อยจาก 9.42% เหลือ 7.31% โดยน้ำหนักเปียก แสดงให้เห็นว่าโปรตีนอาจเกิดอันตรกิริยากับพอลิแซ็กคาไรด์ นอกจากนี้ยังพบว่าหลังนำเมือกกระเจี๊ยบเขียวไปผ่านกระบวนการไดอะไลซิส (Dialysis) แล้ว พบว่าปริมาณเถ้าซึ่งแสดงถึงปริมาณแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในพอลิแซ็กคาไรด์

จากกระเจี๊ยบเขียวลดลงเพียงเล็กน้อยจาก 5.95% เหลือ 4.81% โดยน้ำหนักเปียก แร่ธาตุที่ Woolfe *et al.* (1977) ทำการศึกษา ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส แสดงให้เห็นว่าไอออนเหล่านี้อาจจับอยู่กับหมู่ที่เป็นกรดบนสายพอลิแซ็กคาไรด์ ส่วนการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ แล้วตกตะกอนด้วยอะซีโตน พบว่ามีปริมาณผลได้ของพอลิแซ็กคาไรด์ประมาณ 1% และมีปริมาณโปรตีนเหลือเพียง 1.6% (Bhat and Tharanathan, 1986; BeMiller *et al.*, 1993)

พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่สกัดด้วยน้ำประกอบด้วยน้ำตาลชนิดต่างๆ ได้แก่ Galactose, Rhamnose, Galacturonic acid และ Glucose ในอัตราส่วน 1.0: 0.1: 1.3: 0.1 (Woolfe *et al.*, 1977) ต่อมาทำการศึกษาน้ำตาลเพิ่มอีก 3 ชนิด ได้แก่ Arabinose, Xylose และ Mannose ส่วนพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ซึ่งไม่ละลายน้ำแต่ละลายในสารละลาย Sodium borohydride ความเข้มข้น 1% ประกอบด้วย Galactose, Rhamnose และ Galacturonic acid ในอัตราส่วน 1.0: 0.4 : 0.4 (Bhat and Tharanathan, 1986) เมื่อวิเคราะห์เมื่อกระเจี๊ยบเขียวด้วยเทคนิค Infrared spectroscopy พบแถบที่ Absorption bands 1250 และ 1730 cm^{-1} แสดงให้เห็นว่ามีพันธะเอสเทอร์ในโครงสร้าง และเมื่อนำตัวอย่างที่ย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริกไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gas-liquid chromatography พบว่ามีปริมาณอะซีทิล 5.5% (Tomoda *et al.*, 1980)

Tomoda *et al.* (1980) ทำการศึกษาโครงสร้างทางเคมีของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวด้วยวิธี Methylation analysis และ Partial hydrolysis พบว่ามีโครงสร้างหลักเป็น (1→4)-O- α -(D-galactopyranosyluronic acid)-(1→2)-O- α -L-rhamnopyranose หรือ Rhamnogalacturonan คล้ายเพกทิน และตำแหน่งที่ 4 บนโมเลกุลของน้ำตาลแรมโนสในโครงสร้างหลักจะมีสายโซ่ข้างเกาะอยู่ซึ่งประกอบด้วย 4-O- β -D-galactopyranosyl D-galactopyranose แสดงดังภาพที่ 2 และคณะวิจัยดังกล่าวทำการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิค Gel chromatography โดยใช้ Dextran ที่ทราบน้ำหนักโมเลกุลเป็นสารมาตรฐาน พบว่าพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,700,000 ดาลตัน

Sengkhampan *et al.* (2009) ทำการสกัดเพกทินจากกระเจี๊ยบเขียวด้วยระบบสารละลายต่างกันโดยใช้บัฟเฟอร์ร้อน (Hot buffer soluble solids, HBSS) และ Chelating agent (Chelating agent soluble solids, CHSS) พบว่าเพกทินที่สกัดได้จากกระเจี๊ยบเขียวด้วยระบบสารละลายต่างกันมี



ภาพที่ 3 โครงสร้างของเพกตินจากกระเจียบเขียวที่สกัดด้วยบัฟเฟอร์ร้อน (Hot buffer soluble solids, HBSS) (A) และ Chelating agent (Chelating agent soluble solids, CHSS) (B)

ที่มา: Sengkhampan (2009)

วชิราภรณ์ (2549) ศึกษาการดัดแปรโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ และเอทิลเอมีน พบว่าพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผ่านการดัดแปร มีหมู่เอไมด์เพิ่มขึ้น สารละลายพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ และเอทิลเอมีน มีความหนืดเพิ่มขึ้น 1.28 และ 2 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร และสามารถคงความหนืดได้ในช่วงพีเอชที่กว้างขึ้น จากเดิมคงความหนืดได้ในช่วงพีเอช 7 - 9.6 เป็นพีเอช 4 - 10.8 นอกจากนี้เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายจนถึงอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และลดอุณหภูมิลงจนเท่ากับอุณหภูมิห้อง พบว่าสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผ่านการดัดแปร มีความหนืดก่อนและหลังให้ความร้อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผ่านการดัดแปรสามารถทนความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสได้ดีกว่าพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร แต่ปริมาณแคลเซียมไอออนความเข้มข้น 0 - 1,000 ไมโครโมลาร์ไม่มีผล

ต่อความหนืดของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวทั้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ และเอทิลเอมีนแล้ว

2. คุณสมบัติของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว

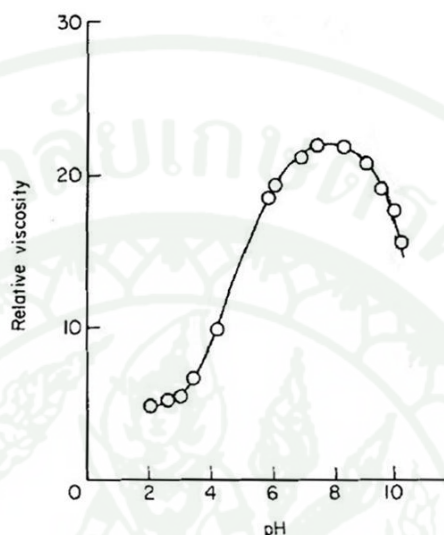
2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว

2.1.1 ความเป็นกรด-เบส (pH)

Woolfe *et al.* (1977) ศึกษาผลของความเป็นกรด-เบส (pH 2 - 10) ที่มีต่อความหนืดสัมพัทธ์ (Relative viscosity) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำ ของสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่สกัดด้วยน้ำ (ความเข้มข้น 0.5% w/v) วัดความหนืดโดยใช้ Capillary viscometer พบว่าที่ค่าพีเอช 2-3 สารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวมีความหนืดต่ำ และความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าความหนืดสูงสุดเมื่อพีเอชเป็นกลาง (pH 6 - 9) และความหนืดจะลดลงเมื่อสารละลายเป็นเบสแก่ (pH 10) แสดงดังภาพที่ 4 เช่นเดียวกับการศึกษาของ วชิราภรณ์ (2549) ซึ่งพบว่าพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v) ในสารละลายบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ในภาวะที่เป็นกรด-กลาง (pH 2.7 - 7) สารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวมีความหนืดต่ำ ส่วนในภาวะที่เป็นเบส (พีเอชมากกว่า 7) สารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และความหนืดจะลดลงเมื่อสารละลายมีพีเอช 10.8

ในสภาวะที่เป็นพีเอชต่ำกว่า 6 สารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวมีความหนืดลดลง เนื่องจากเกิดการสลายตัว (Degradation) ของสายพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Acid hydrolysis) ส่งผลให้พันธะไกลโคซิดิกแตกออก ซึ่งเป็นพันธะที่ยึดระหว่างกรดกลูโคส และระหว่างกรดกลูโคสกับน้ำตาลแรมโนส ที่เป็นองค์ประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว ทำให้สายของพอลิแซ็กคาไรด์เกิด Depolymerization สารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จึงมีความหนืดลดลง และภาวะที่มีค่าพีเอชต่ำ แสดงถึงปริมาณไฮโดรเจนไอออนที่อยู่ในสารละลายมีปริมาณสูงสามารถเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้มากกว่าภาวะที่มีพีเอชสูง ดังนั้นที่พีเอชต่ำจึงเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้มากกว่าภาวะที่มีพีเอชสูง (Whistler and BeMiller, 1999) นอกจากนี้ในภาวะที่มีค่าพีเอชต่ำ หมู่คาร์บอกซิล ($-\text{COOH}$) จะไม่แตกตัว

ทำให้เกิดอันตรกิริยากับน้ำได้น้อยกว่าหมู่คาร์บอกซิลที่อยู่ในรูปที่แตกตัว หรืออาจเป็นไปได้ว่าสายพอลิแซ็กคาไรด์เกิดการเคลื่อนที่มารวมกันเอง (Association) ได้มากขึ้น ทำให้เกิดการแยกตัวออกจากสารละลาย ส่งผลให้ความหนืดของสารละลายลดลง (Whistler, 1993)



ภาพที่ 4 ผลของความเป็นกรด-เบสต่อความหนืดสัมพัทธ์ (Relative viscosity) ของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว ความเข้มข้น 0.5% w/v ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

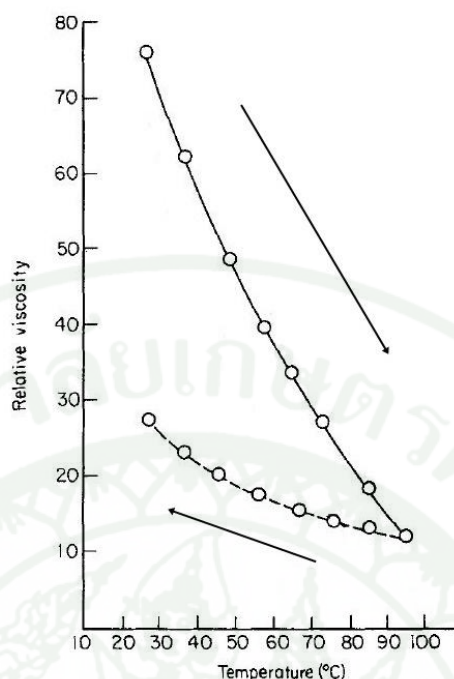
ที่มา: Woolfe *et al.* (1977)

ส่วนในภาวะเบสที่ความหนืดของสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวมีค่ามากกว่าความหนืดที่ภาวะกรด เนื่องจากในภาวะเบสหมู่คาร์บอกซิลของกรดกาแล็กทูโรนิกจะแตกตัวเป็นประจุลบ ทำให้สารของพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีลักษณะเป็นเกลียว (Entangled coil) เกิดการคลายตัวออกทำให้เกิดอันตรกิริยากับน้ำได้มากขึ้น ส่งผลให้พอลิแซ็กคาไรด์มีความสามารถในการต้านทานการไหลได้มากขึ้น สารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวในภาวะเบสจึงมีความหนืดสูงขึ้น (Ndjouenkeu *et al.*, 1996)

2.1.2 อุณหภูมิ

Woolfe *et al.* (1977) ศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อความหนืด สารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวความเข้มข้น 0.8% w/v ด้วย Capillary viscometer โดยเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องจนถึง 90 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นลงจนเท่ากับอุณหภูมิ เริ่มต้น พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ความหนืดสัมพัทธ์ของสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวเมื่อเทียบกับน้ำ (Relative viscosity) มีค่าลดลง และเมื่อลดอุณหภูมิลงเรื่อยๆ พบว่ามีความหนืดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อลดอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิห้องพบว่าสารละลายมีความหนืดน้อยกว่าความหนืดเริ่มต้นเกือบ 3 เท่า แสดงดังภาพที่ 5 โดยให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ วชิราภรณ์ (2549) ซึ่งพบว่าการให้ความร้อนแก่สารละลายพอลิแซ็กคาไรด์กระเจี๊ยบเขียว (ความเข้มข้น 0.5% w/v) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง ทำให้ความหนืดของสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์ที่วัดด้วยเครื่องวัดความหนืด (Brookfield digital rheometer) มีค่าลดลง 2 เท่า เมื่อเทียบกับความหนืดของสารละลายก่อนให้ความร้อน ในการศึกษาของ Woolfe *et al.* (1977) ให้ความร้อนกับสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวสูงถึง 90 องศาเซลเซียสพบการตกตะกอนของโปรตีนในระหว่างการให้ความร้อน และตะกอนนั้นไม่สามารถละลายได้เมื่อสารละลายเย็นลงแล้ว เนื่องจากพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เมื่อได้รับความร้อนโปรตีนบางส่วนจึงอาจเกิดการเสียสภาพ (Denature) และอาจเป็นไปได้ว่าความหนืดของสารละลายกระเจี๊ยบเขียวเกิดเนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์

พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวมีกรดกาแล็กทูโรนิกเป็นองค์ประกอบหลัก เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Tomoda *et al.*, 1980) ซึ่งพันธะไกลโคซิดิกเป็นพันธะโควาเลนต์ที่มีความแข็งแรง และต้องใช้อุณหภูมิสูงในการทำลายพันธะ การให้ความร้อนกับสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่อุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส สำหรับการศึกษาของ วชิราภรณ์ (2549) และ Woolfe *et al.* (1977) ตามลำดับ ที่อุณหภูมิดังกล่าวโครงสร้างหลักจึงไม่ถูกทำลาย ทำให้เมื่อลดอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิห้องสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวจึงมีความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสายของพอลิแซ็กคาไรด์สามารถเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและเกิดการยึดเกาะด้วยพันธะไฮโดรเจนได้อีกครั้ง



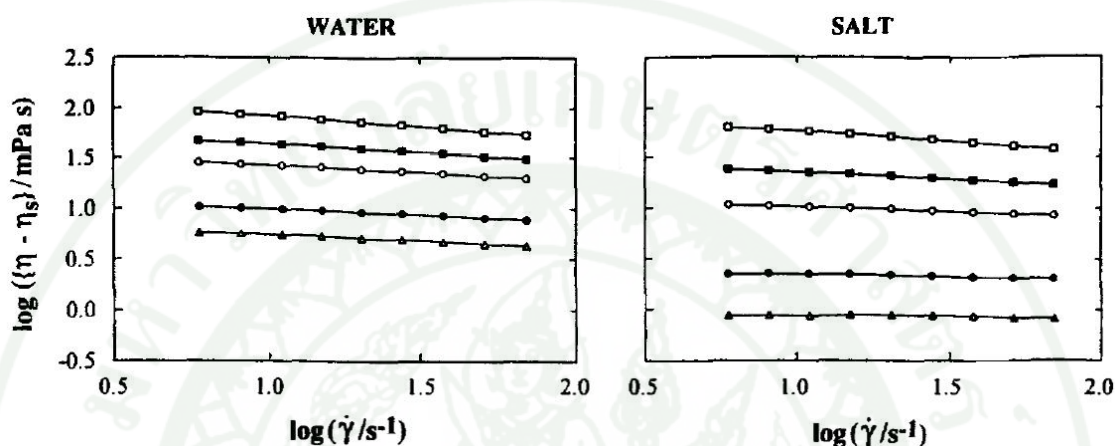
ภาพที่ 5 ผลของความร้อน (เส้นทึบ) และการทำให้เย็น (เส้นประ) ต่อความหนืดสัมพัทธ์ (Relative viscosity) ของพอลิแอคริลาไมด์จากกระเจียบเขียวที่ความเข้มข้น 0.8% w/v

ที่มา: Woolfe *et al.* (1977)

2.1.3 สารอิเล็กโทรไลต์

Ndjouenkeu *et al.* (1996) ทำการวิเคราะห์ความหนืดของพอลิแอคริลาไมด์จากกระเจียบเขียวที่สกัดด้วยน้ำและผ่านการกำจัดโปรตีนออกแล้วด้วยเครื่อง Viscometer โดยใช้หัววัดแบบ Cup and Bob พบว่าพอลิแอคริลาไมด์จากกระเจียบเขียวที่ความเข้มข้น 0.096, 0.19, 0.48, 0.67 และ 0.96% (w/v) ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ มีความหนืดน้อยกว่าสารละลายพอลิแอคริลาไมด์จากกระเจียบเขียวในน้ำเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นเดียวกัน แต่พบการเปลี่ยนแปลงความหนืดอย่างชัดเจนเมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นต่ำ (0.19 และ 0.096% w/v) (ภาพที่ 6) แสดงให้เห็นว่าพอลิแอคริลาไมด์จากกระเจียบเขียวมีการตอบสนองต่อโมเลกุลที่มีประจุ โมเลกุลของพอลิแอคริลาไมด์เมื่อกระจายตัวในน้ำสายเกลียวแต่ละสายจะคลายตัวออกด้วยแรงผลักระหว่างประจุภายในโมเลกุล (Intramolecular electrostatic repulsion) เมื่อเติมสารอิเล็กโทรไลต์ลงในสารละลาย ประจุที่เกิดจากการแตกตัวของสารอิเล็ก-

โพลีไคโธลจะปลดแรงผลักดันกล่าวบนสายของพอลิแซ็กคาไรด์ ทำให้สายพอลิแซ็กคาไรด์จับตัวกันแน่นขึ้น ส่งผลให้ความหนืดลดลง แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์ ทำให้มีพื้นที่ที่ใช้ในการคลายตัวในน้ำของสายพอลิแซ็กคาไรด์ลดลง สายพอลิแซ็กคาไรด์จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงได้น้อย การเปลี่ยนแปลงความหนืดเนื่องจากการหดตัวของสายพอลิแซ็กคาไรด์จึงน้อยลงด้วย

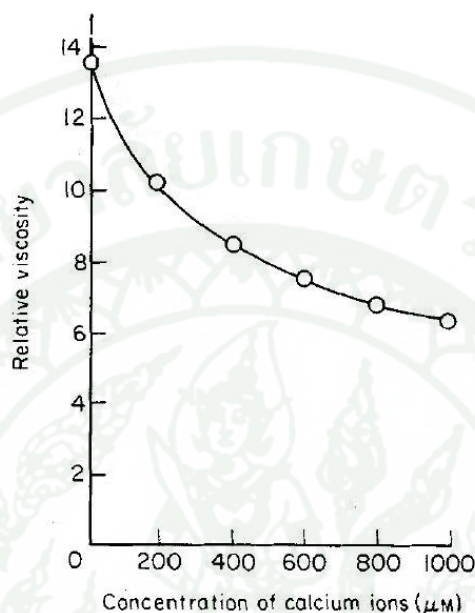


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืด (Flow curve) ของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวที่ความเข้มข้น 0.096% (▲), 0.19% (●), 0.48% (○), 0.67% (■) และ 0.96% (□) ในน้ำ (ซ้าย) และในโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ (ขวา) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส, η_s หมายถึง ความหนืดของตัวทำละลาย (0.1 N HCl), $\dot{\gamma}$ หมายถึง อัตราเฉือน (1/วินาที)

ที่มา: Ndjouenkeu *et al.* (1996)

เมื่อพิจารณาผลของการเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 200 - 1,000 ไมโครโมลาร์ พบว่าความหนืดสัมพัทธ์ของสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวที่ความเข้มข้น 0.5% w/v มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ แสดงดังภาพที่ 7 สอดคล้องกับรายงานของ BeMiller *et al.* (1993) ซึ่งกล่าวว่า การต้านทานการไหลของสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากการเติมเกลือที่มีประจุบวก 1 ประจุ (Monovalent cations) เช่น โซเดียมคลอไรด์ และโพแทสเซียมคลอไรด์ แต่ความหนืดจะลดลงเมื่อเติมเกลือที่มีประจุบวก 2 ประจุ (Divalent cations) เช่น แคลเซียมคลอไรด์ และแมกนีเซียมซัลเฟต ส่วนเกลือที่มีประจุบวก 3 ประจุ (Trivalent cations) เช่น เกลือของอะลูมิเนียม

จะทำให้สารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวตกตะกอน แต่ในงานวิจัยของวชิราภรณ์ (2549) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในช่วง 0 - 1,000 ไมโครโมลาร์ไม่ส่งผลต่อความหนืดของสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่ความเข้มข้น 0.5% (w/v)

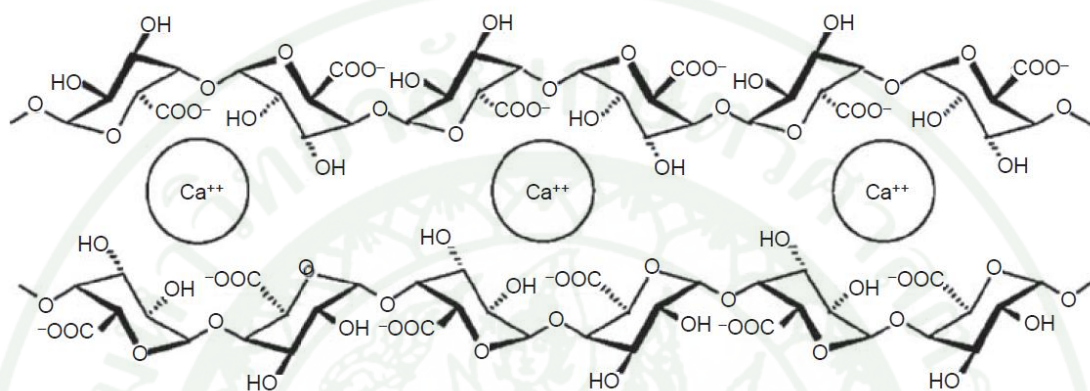


ภาพที่ 7 ผลของประจุแคลเซียมต่อความหนืดสัมพัทธ์ (Relative viscosity) ของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว ความเข้มข้น 0.5% w/v ที่พีเอช 6.0

ที่มา: Woolfe *et al.* (1977)

พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีประจุลบ (Anionic polysaccharide) โครงสร้างหลักประกอบด้วยกรดกาแล็กทูโรนิก ซึ่งมีหมู่คาร์บอกซิลที่สามารถแตกตัวเป็นประจุลบได้เมื่อละลายน้ำ (Ndjouenkeu *et al.*, 1996) แต่ปริมาณกรดกาแล็กทูโรนิกมีอยู่ค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีประจุลบชนิดอื่น เช่น เพกทินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ เพกทินดังกล่าวจะมีความไวต่อแคลเซียมไฮดรอกไซด์สูง เนื่องจากมีปริมาณกรดกาแล็กทูโรนิกสูง ประกอบกับการเรียงตัวของหมู่คาร์บอกซิลอิสระอย่างสม่ำเสมอ (Blockwise distribution) โดยมีหมู่คาร์บอกซิลอิสระเรียงต่อกันอย่างน้อย 14 - 20 โมเลกุล ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวเป็นโครงสร้างที่เหมาะสมกับการเกิดอันตรกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในลักษณะของ Egg-box model (Ralet *et al.*, 2001; Brejnholt, 2010) ดังภาพที่ 8 แต่สารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จาก

กระเจี๊ยบเขียวซึ่งมีปริมาณกรดกาแล็กทูโรนิกต่ำ (24.2% w/w) มีส่วนของคาร์บอกซิลอิสระไม่เพียงพอที่จะเกิดอันตรกิริยากับแคลเซียมไอออนในลักษณะของ Egg-box model ทำให้ปริมาณแคลเซียมไอออนที่ความเข้มข้นต่างๆ จึงไม่มีผลต่อความหนืดของสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว



ภาพที่ 8 ภาพจำลอง Egg-box model การเกิดอันตรกิริยาระหว่างแคลเซียมไอออนกับคาร์บอกซิลไอออนในโครงสร้างของเพกทินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ

ที่มา: Brejnholt (2010)

2.1.4 สารที่ละลายน้ำได้ (Water-soluble substances)

การเติมน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลกลูโคสความเข้มข้น 5 - 40% ในสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่ละลายอยู่ในโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium borohydride) ความเข้มข้น 1% ทำการวิเคราะห์ความหนืดด้วย Rotovisco viscomer โดยใช้หัววัดแบบ Cone and plate พบว่าค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ลดลงเล็กน้อยเนื่องจากน้ำตาลจะไปลดการจับน้ำ (Hydration) ของพอลิแซ็กคาไรด์ ขณะเดียวกันน้ำตาลก็จะเข้าจับกับน้ำ ส่วนการเติมมอลโตเดกซ์ทรินความเข้มข้น 5 - 40% จะช่วยเพิ่มความหนืดแก่สารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลพอลิแซ็กคาไรด์ ทำให้มีค่าความหนืดสูงขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม (Bhat and Tharanathan, 1987)

2.2 คุณสมบัติในการเป็นสารให้ความคงตัวแก่อิมัลชัน

Ndjouenkeu *et al.* (1997) ได้ทำการศึกษาผลของการเติมสารสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวแบบผงแห้ง (Okra flour) ที่มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water emulsion) จากการศึกษาพบว่ากระเจี๊ยบเขียวแบบผงแห้งมีค่า Water absorption capacity (WAC), Oil absorption capacity (OAC) และ Water oil absorption index (WOAI) อยู่ในระดับต่ำ เมื่อเทียบกับพอลิแซ็กคาไรด์จากพืชชนิดอื่น แสดงดังตารางที่ 1 ค่าดังกล่าวเป็นค่าที่แสดงความสามารถในการเป็นสารให้ความคงตัวแก่อิมัลชัน โดยการที่พอลิแซ็กคาไรด์จะช่วยให้อิมัลชันคงตัวได้นั้นจะต้องมีค่า WAC และ OAC สูง นอกจากนั้น อิมัลชันที่มีการเติมพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวยังมีค่า Emulsifying activity (EA) ซึ่งทดสอบจากการหมุนเหวี่ยงอิมัลชัน และ Emulsion stability (ES) ที่ทดสอบภายหลังการให้ความร้อนกับอิมัลชันมีค่าต่ำ จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวมีคุณสมบัติในการเป็นสารให้ความหนืด (Thickener) เนื่องจากสามารถอุ้มน้ำได้ดี (WAC 412.4%) แต่มีคุณสมบัติในการเป็นสารให้ความคงตัวแก่อิมัลชันต่ำ เนื่องจากค่า EA และ ES มีค่าต่ำ

ตารางที่ 1 ค่า Water absorption capacity (WAC), Oil absorption capacity (OAC) และ Water oil absorption capacity (WOAI) ของ Okra, Dika nut และ Khan flour

ตัวอย่าง	WAC (%)	OAC (%)	WOAI (%)
Okra flour	412.4	229.7	1.8
Dika nut flour	938.9	304.9	3.2
Khan flour	1053.6	76.4	13.8

ที่มา: Ndjouenkeu *et al.* (1997)

ใน ค.ศ. 2011 Georgiadis *et al.* ศึกษาผลของการใช้พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่สกัดด้วยระบบสารละลายแบบลำดับส่วนต่อความคงตัวของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water emulsion) ที่ใช้ Tween 20 เป็นสารให้ความคงตัว พบว่าอิมัลชันที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดด้วยบัฟเฟอร์วอร์นพีเอช 5.2 จะเกิดการเกาะกลุ่มกันของเม็ดไขมัน (Flocculation) และแยกชั้นเป็นครีม (Creaming) หากใช้ที่ความเข้มข้นต่ำ (0.125%) เนื่องจากเกิด Depletion

interactions แต่เมื่อใช้ที่ความเข้มข้นสูง (1.25 - 2.5%) สามารถลดการเกิดการแยกชั้นของอิมัลชันอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากพอลิแซ็กคาไรด์จะเพิ่มความหนืดของเฟสต่อเนื่อง (Continuous phase) ในอิมัลชัน ส่วนพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดด้วย Chelating agent ที่พีเอช 5.2 ทำให้เกิดการเกาะกลุ่มกันของเม็ดไขมัน และจะเกิดการแยกชั้นอย่างรวดเร็วเมื่อใช้พอลิแซ็กคาไรด์ที่ความเข้มข้นมากกว่า 0.5% ถึงแม้จะเพิ่มความเข้มข้นจนถึง 2.5% ก็ไม่สามารถป้องกันการเกิดการแยกชั้นได้ ทั้งนี้เพราะพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดด้วย Chelating agent มีความหนืดต่ำ ความหนืดที่แตกต่างกันของพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดด้วยบัฟเฟอร์ร้อน และ Chelating agent อาจเนื่องจากมวลโมเลกุลที่แตกต่างกัน โดยพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดด้วยบัฟเฟอร์ร้อนมีมวลโมเลกุลมากกว่า 1,400,000 ดาลตัน ขณะที่พอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดด้วย Chelating agent มีมวลโมเลกุล 100,000 ดาลตัน (Georgiadis *et al.*, 2011)

3. การใช้ประโยชน์พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว

3.1 การใช้ประโยชน์ทางด้านอาหาร

ปัจจุบันยังไม่มีการผลิตพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวมาใช้เป็นสารเจือปนอาหารในเชิงทางการค้า แต่ประเทศในแถบแอฟริกาซึ่งเป็นแหล่งเพาะปลูกกระเจี๊ยบเขียวที่สำคัญ นิยมนำกระเจี๊ยบเขียวมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารพื้นเมืองประเภทซูป สตูว์ เพื่อเพิ่มความหนืด โดยมีการใช้ทั้งในรูปของผักสด ผักแห้ง และแบบผง (Ndjouenkeu *et al.*, 1996) ส่วนในประเทศญี่ปุ่นนิยมนำกระเจี๊ยบเขียวมาประกอบอาหาร เช่น ผักสดย่างไฟ สลัด ผัด และซูป

Romanchik-Cerpovicz *et al.* (2002) ศึกษาการนำพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวมาใช้ในรูปของสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์คุกกี้ช็อกโกแลตแบบแท่งแทนการใช้มาการีนและไข่แดง โดยพบว่าคุกกี้ไร้ไขมันที่ใช้พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวเป็นสารทดแทนไขมันมีปริมาณความชื้นมากกว่าคุกกี้สูตรไขมันเต็ม และสามารถรักษาความชุ่มชื้นได้ดีกว่าหลังเก็บรักษาไว้ 48 ชั่วโมง ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่นไม่แตกต่างจากคุกกี้สูตรไขมันเต็ม และให้คะแนนการยอมรับด้านความชุ่มชื้น (Moistness) ของคุกกี้ไร้ไขมันที่ใช้พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวไม่แตกต่างจากคุกกี้ไขมันเต็ม อีกทั้งยังมีคะแนนการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างกับคุกกี้สูตรปกติและคุกกี้ที่มีการใช้ซอสแอปเปิ้ลเป็นสารทดแทนไขมัน และใน ค.ศ. 2006 Romanchik-Cerpovicz *et al.* ศึกษาการใช้พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวเพื่อ

ทดแทนไขมันนม (Fat substitute) ที่ระดับ 25%, 50%, 75% และ 100% ในขนมหวานแช่แข็งรสช็อกโกแลต พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่นของขนมหวานแช่แข็งที่ทดแทนไขมันนมด้วยพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวที่ระดับ 25 - 75% ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการทดแทนไขมัน แต่การทดแทนไขมันนมทั้งหมด (100%) ด้วยพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวทำให้ผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรส ความรู้สึกหลังการกลืน (Aftertaste) และการยอมรับโดยรวมน้อยกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อระดับการแทนที่ไขมันด้วยพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการละลายของขนมหวานแช่แข็งลดลง

การคืนรูปไข่ขาวผง (Reconstituted dried egg white) สามารถนำพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวมาเป็นส่วนประกอบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขึ้นฟู (Whipping) โดยจะใช้เดี่ยวหรือใช้ร่วมกับสารเพิ่มประสิทธิภาพในการขึ้นฟูชนิดอื่นก็ได้ และยังพบว่าการใช้สารสกัดเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวสดหรือผักสดแช่แข็งที่สกัดด้วยน้ำและผ่านการตกตะกอนด้วยเมทานอลสามารถลดเวลาการตีไข่ขาวให้ขึ้นฟูได้ดีกว่าการใช้พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวในรูปผงแห้งที่มีขายทางการค้า ยกตัวอย่างเช่น หากใช้พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวในรูปผงแห้งที่มีความเข้มข้น 0.04% ของน้ำหนักไข่ขาวเหลวสามารถลดระยะเวลาการตีไข่ขาวให้ขึ้นฟู (Whipping time) ลง 40% หากใช้ Triethyl citrate ซึ่งเป็น Surface active agent ชนิดหนึ่ง ที่ความเข้มข้น 0.03% เพียงชนิดเดียวสามารถลดระยะเวลาการตีไข่ขาวให้ขึ้นฟูลงได้ 55% แต่ถ้าหากใช้พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวที่มีความเข้มข้น 0.04% ร่วมกับ Triethyl citrate 0.03% สามารถลดระยะเวลาการตีให้ขึ้นฟูลงถึง 70% นอกจากนี้เมื่อนำไข่ขาวผงที่มีการเติมพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวหรือใช้ร่วมกับ Whipping agent ตัวอื่นมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ขนมอบ จะช่วยลดระยะเวลาในการตีส่วนผสม และปรับปรุงเนื้อสัมผัสของขนมอบให้ดีกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมสารช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขึ้นฟู (Ziegler and Buehler, 1965; BeMiller *et al.*, 1993)

Acquistucci and Francisci (2002) พบว่าเมื่อผสมกระเจียบเขียวในรูปผงแห้ง (Okra flour) 1% กับแป้งสาลีเพื่อใช้ในการผลิตขนมปังสามารถเพิ่มปริมาตรของขนมปังได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ใช้แป้งสาลีเพียงอย่างเดียว และผู้ทดสอบทั่วไปให้การยอมรับด้านลักษณะปรากฏและสีของขนมปังที่เติมกระเจียบเขียวผงร่วมกับแป้งสาลีมากกว่าตัวอย่างควบคุม

ใน ค.ศ. 2011 Prommakool *et al.* นำพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวมาเป็นส่วนผสมในฟิล์มบริโภคนำได้ (Edible film) โดยศึกษาการใช้พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่สกัดลำดับส่วนด้วยสารละลายที่ต่างกัน ได้แก่ ส่วนที่สกัดด้วยบัฟเฟอร์ร้อน (Hot buffer soluble solids, HBSS) และส่วนที่สกัดด้วยด่าง (alkaline-soluble-solid fraction, ASS) นำมาผสมกับ Whey protein isolate (WPI) เพื่อผลิตเป็นฟิล์มที่บริโภคนำได้ พบว่าเมื่อสัดส่วนของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว (ทั้ง HBSS และ ASS) ต่อ WPI เพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งแรงของฟิล์มลดลง ฟิล์มมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น และการผสม HBSS หรือ ASS ลงในฟิล์ม WPI ทำให้ฟิล์มมีค่าการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง HBSS และ WPI และนอกจากนี้การผสม HBSS ลงในฟิล์ม WPI ทำให้ฟิล์มผสมมีค่าการซึมผ่านของออกซิเจนลดลง แต่การผสม ASS ลงในฟิล์ม WPI ทำให้ฟิล์มผสมมีค่าการซึมผ่านของออกซิเจนเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบและโครงสร้างที่แตกต่างกันของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่สกัดลำดับส่วนด้วยสารละลายที่ต่างกันทำให้ฟิล์มผสมบริโภคนำได้มีคุณสมบัติแตกต่างกัน

3.2 การใช้ประโยชน์ทางด้านการแพทย์

นอกจากการใช้ประโยชน์พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวในด้านอาหารแล้วยังมีงานวิจัยที่ศึกษาการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการแพทย์อีกด้วย สำหรับการแพทย์แผนโบราณ กระเจี๊ยบเขียวถูกนำมาใช้เป็นสมุนไพรที่มีฤทธิ์ขับปัสสาวะ ใช้รักษาโรคเกี่ยวกับช่องปาก และลดอาการระคายเคืองในช่องท้อง (Ndjouenkeu *et al.*, 1996; Lengsfeld *et al.*, 2004) ผักกระเจี๊ยบเขียวเมื่อสัมผัสกับน้ำจะมีลักษณะเป็นเมือกกลื่น โดยส่วนที่เป็นเมือกหรือพอลิแซ็กคาไรด์จากผักกระเจี๊ยบเขียวมีคุณสมบัติช่วยบรรเทาอาการปวดของโรคกระเพาะอาหารและลำไส้ โดยจะไปช่วยเคลือบและบรรเทาอาการระคายเคืองของเนื้อเยื่อที่อักเสบได้ และยังมีสารขับพยาธิตัวจิ๋วได้ ซึ่งปรากฏสรรพคุณในตำราแพทย์แผนโบราณ และการทดลองแพทย์แผนใหม่ทั้งในและต่างประเทศ (เฉลิมเกียรติ และคณะ, 2536) การศึกษาของ Tomoda *et al.* (1989) พบว่าพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดของหนูได้อย่างมีนัยสำคัญ และใน ค.ศ. 2004 Lengsfeld *et al.* ได้ทำการศึกษาในแบบจำลองของเยื่อบุกระเพาะอาหาร พบว่าพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่สกัดด้วยน้ำสามารถช่วยลดการเกาะติดของ *Helicobacter pylori* บริเวณผนังเยื่อบุกระเพาะอาหารได้ ซึ่ง *Helicobacter pylori* คือแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของแผลเรื้อรังในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กตอนต้น

ไอศกรีม

ไอศกรีม คือ ของผสมแช่เยือกแข็งที่ประกอบไปด้วยส่วนผสมของนม สารให้ความหวาน สารให้ความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์และสารให้กลิ่นรส หรืออาจผสมส่วนผสมอื่นๆ เช่น ผลิตรสจากไข่ สี และแป้งไฮโดรไลเซต ส่วนผสมที่ได้นี้เรียกว่าไอศกรีมเหลวหรือไอศกรีมมิกซ์ (Ice cream mix) ถูกนำไปผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ โฮโมจิไนซ์ ก่อนนำไปปั่นเยือกแข็งโดยการถ่ายเทความร้อนออกอย่างรวดเร็วพร้อมกับการกวนให้อากาศเข้าไปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเรียบเนียน (Marshall *et al.*, 2003)

ไอศกรีมในประเทศไทยตามราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 118 ตอนพิเศษ 70 ง. (กระทรวงสาธารณสุข, 2544) ได้แบ่งไอศกรีมเป็น 5 ชนิด ดังนี้

- (1) ไอศกรีมนม ได้แก่ ไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้นมหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนม
- (2) ไอศกรีมดัดแปลง ได้แก่ ไอศกรีมตาม (1) ที่ทำขึ้นโดยใช้ไขมันชนิดอื่นแทนมันเนยทั้งหมดหรือแต่บางส่วน หรือไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันแต่ผลิตภัณฑ์นั้นมิใช่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนม เช่น ไอศกรีมที่ผสมน้ำมันปาล์ม หรือน้ำมันมะพร้าว หรือไอศกรีมกะทิ เป็นต้น
- (3) ไอศกรีมผสม ได้แก่ ไอศกรีมตาม (1) หรือ (2) แล้วแต่กรณี ซึ่งมีผลไม้หรือวัตถุดิบที่เป็นอาหารเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย
- (4) ไอศกรีมตาม (1)(2) หรือ (3) ชนิดเหลว หรือแข็ง หรือผง
- (5) ไอศกรีมหวานเย็น ได้แก่ ไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้น้ำและน้ำตาล หรืออาจมีวัตถุดิบที่เป็นอาหารเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย

ไอศกรีมดังกล่าวอาจใส่วัตถุแต่งกลิ่น รส และสีด้วยก็ได้

1. องค์ประกอบหลักของไอศกรีม

1.1 ไขมัน (Fat)

ไขมันเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญในการผลิตไอศกรีม ช่วยเพิ่มความเข้มข้นของกลิ่น (Richness of flavor) ให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียน ช่วยให้ไอศกรีมคงรูป (Body) และทำให้ไอศกรีมมีคุณสมบัติการละลายตามต้องการ การใช้ไขมันในปริมาณที่เหมาะสมช่วยให้

ส่วนผสมมีความสมดุลทำให้ได้ไอศกรีมที่มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน กลิ่นรสดี และไขมันทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นระหว่างผนังและใบพัดของเครื่องปั่นเยือกแข็งไอศกรีมในระหว่างการปั่นเยือกแข็งไอศกรีม (Goff and Hartel, 2004) ไขมันนมจัดเป็นแหล่งไขมันหลักที่ใช้ในการผลิตไอศกรีม เช่น นมสด ครีม เนย น้ำมันเนย หางนมผง และนมระเหยต่างๆ ข้อกำหนดของการใช้ไขมันนมในไอศกรีมคือ ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ลดความสามารถในการขึ้นฟูของไอศกรีม (Overrun) และให้พลังงานสูง ในหลายประเทศส่วนใหญ่มักใช้ไขมันที่ได้จากไขมันนม แต่มีบางประเทศ เช่น สหราชอาณาจักร และบางประเทศในยุโรป อนุญาตให้ใช้ไขมันจากพืชในไอศกรีมได้ (Goff and Hartel, 2004) โดยไขมันพืชที่นิยมใช้ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันเมล็ดในปาล์ม น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันถั่วลิสง และไขมันที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วน (Fraction) ของน้ำมันที่กล่าวมาข้างต้น น้ำมันพืชเหล่านี้ควรผ่านกระบวนการทำให้อิ่มตัว (Hydrogenation) เพื่อให้ได้ลักษณะการละลาย (Melting characteristic) ที่เหมาะสมตามความต้องการที่จะนำไปใช้ ปริมาณไขมันตามมาตรฐานกำหนดโดยประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 222 พ.ศ. 2544 (กระทรวงสาธารณสุข, 2544) กำหนดไว้ว่าไอศกรีมนมต้องมีไขมันเนยเป็นส่วนผสมไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และไอศกรีมดัดแปลงที่ใช้ไขมันอื่นแทนไขมันเนยทั้งหมดหรือแค่บางส่วนต้องมีไขมันทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ขณะที่ในแคนาดาและสหรัฐอเมริกากำหนดให้ไอศกรีมปกติ (Plain ice cream) ต้องมีไขมันนมไม่ต่ำกว่า 10% (Marshall *et al.*, 2003)

1.2 ธาตุไขมันไม่รวมไขมันเนย (Milk solid not fat)

ธาตุน้ำนมไม่รวมไขมันเนย หมายถึง ของแข็งที่อยู่ในน้ำนม ได้แก่ โปรตีน แลคโตส กลีโคเจน และวิตามิน ซึ่งไม่รวมไขมันนม ในการผลิตไอศกรีม ธาตุน้ำนมไม่รวมไขมันเนยส่วนมากใช้ในรูปแบบของนมผงขาดมันเนย (Skim milk power) ในปริมาณร้อยละ 8 - 15 ธาตุน้ำนมไม่รวมไขมันเนยประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนหลัก คือ โปรตีน (เคซีนและโปรตีนเวย์) ร้อยละ 37 แลคโตส ร้อยละ 55 และกลีโคเจน ร้อยละ 8 โปรตีนช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อเรียบเนียน ช่วยป้องกันไม่ให้โครงสร้างอ่อน เนื้อสัมผัสหยาบ ทำให้อุณหภูมิและเนื้อสัมผัสของไอศกรีมดีขึ้น ส่วนแลคโตสช่วยเพิ่มรสหวานให้ไอศกรีมเล็กน้อย กลีโคเจนช่วยเพิ่มรสเค็ม ธาตุน้ำนมไม่รวมไขมันเนยช่วยเพิ่มความข้นหนืด ควบคุมร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีม ควบคุมขนาดเกล็ดน้ำแข็งในระหว่างการแช่แข็ง ลดจุดเยือกแข็งของไอศกรีม ปริมาณธาตุน้ำนมไม่รวมไขมันเนยแปรผกผันกับปริมาณไขมันเพื่อรักษาสมดุลของส่วนผสมและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสดี มีคุณภาพในการเก็บรักษาที่ดี การเติมธาตุน้ำนมไม่รวมไขมันเนยมากเกินไปจะทำให้ไอศกรีมมีรสเค็ม มีกลิ่นไหม้ (Cooked flavor) และเสี่ยง

ต่อการเกิดผลึกแลคโตสในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งมีผลทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสหยาบคล้ายทราย (Sandiness) (Marshall *et al.*, 2003; Goff and Hartel, 2004)

1.3 สารให้ความหวาน (Sweeteners)

สารให้ความหวานที่นำมาใช้ในไอศกรีมมีหลายชนิด เช่น ซูโครส กลูโคส ฟรุกโตส น้ำผึ้ง และคอร์นไซรัป จุดประสงค์ของสารให้ความหวานที่นำมาใช้ในไอศกรีมนั้น เพื่อให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์และให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดแก่ส่วนผสมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้สารให้ความหวานยังช่วยเพิ่มความหนืด ปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไอศกรีมให้ดีขึ้น ลดจุดเยือกแข็งของไอศกรีมเหลว (Marshall *et al.*, 2003) น้ำหนักโมเลกุลของสารให้ความหวานที่ใช้มีผลต่อจุดเยือกแข็งของไอศกรีมเป็นอย่างมาก สารให้ความหวานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น กลูโคส หรือ ซูโครส จะทำให้จุดเยือกแข็งของไอศกรีมลดลงได้มากกว่าสารให้ความหวานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น มอลโต-เดกซ์ตริน หรือ กลูโคสไซรัป (Goff and Hartel, 2004) ดังนั้นการเลือกใช้สารให้ความหวานต่างชนิดกันในไอศกรีม อาจทำให้ไอศกรีมที่ได้มีคุณลักษณะต่างกัน โดยปกตินิยมใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับกลูโคสไซรัปในการผลิตไอศกรีม เนื่องจากน้ำตาลซูโครสนั้นเป็นน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ดี หาง่าย มีความหวานสูง แต่มีผลต่อการลดลงของจุดเยือกแข็งของไอศกรีมเป็นอย่างมากส่งผลให้ไอศกรีมมีจุดเยือกแข็งค่อนข้างต่ำ และมีราคาสูง จึงนิยมใช้ร่วมกับกลูโคสไซรัปด้วยเพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิต แต่ในประเทศไทยน้ำตาลซูโครสจะมีราคาถูกกว่ากลูโคสไซรัป สำหรับกลูโคสไซรัปนั้นจะช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดในสูตรโดยเพิ่มความหวานเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการเติมซูโครส ปรับปรุงให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสดีขึ้น ช่วยปรับปรุงลักษณะการแข็งตัวทำให้ไอศกรีมไม่ละลายเร็วเกินไป

1.4 สารให้ความคงตัว (Stabilizer)

สารให้ความคงตัวช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียน ป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่และการเกิดผลึกของน้ำตาลแลคโตสในไอศกรีม โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้สภาวะการเก็บที่อุณหภูมิไม่คงที่ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความเป็นเนื้อเดียวกันและสามารถต้านทานการละลายได้ดี (Goff and Hartel, 2004) สารให้ความคงตัวมักเป็นสารจำพวก ไฮโดรคอลลอยด์ เช่น โลคัสปีน คาราจีแนน กัวร์กัม แอลจีเนต เพกทิน หรือ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นต้น สารให้ความคงตัวมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำสูง ซึ่งมีผลทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน เพิ่มเนื้อให้กับ

ไอศกรีม และช่วยให้ไอศกรีมละลายช้าลง แต่ไม่มีผลต่อจุดเยือกแข็ง นอกจากนี้สารให้ความคงตัวยังทำให้อายุการขึ้นฟูของไอศกรีมลดลง การใช้สารให้ความคงตัวมากเกินไปทำให้ได้ไอศกรีมเหนียวและมีเนื้อหนัก และทำให้ไอศกรีมมีลักษณะการละลายเปลี่ยนไปไม่เป็นที่ต้องการ (Marshall *et al.*, 2003)

1.5 อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier)

อิมัลซิไฟเออร์ช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน มีโครงสร้างแน่นขึ้น ลดระยะเวลาการตีให้ขึ้นฟูได้ ไอศกรีมที่มีอายุการขึ้นฟูสม่ำเสมอ ฟองอากาศมีขนาดเล็ก และกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในโครงสร้างของไอศกรีม ทั้งยังช่วยให้ไอศกรีมมีลักษณะแห้ง (Dryness) สามารถคงรูปอยู่ได้ และช่วยลดอัตราการละลาย การใช้อิมัลซิไฟเออร์มากเกินไป อาจทำให้ไอศกรีมมีการละลายช้าลง รูปร่างและเนื้อสัมผัสไม่ดี อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไอศกรีมหลักๆ มี 2 ชนิด คือ โมโนและไดกลีเซอไรต์ และอีกชนิดคือ ซอร์บิแทนเอสเตอ์ เช่น โพลีซอร์เบท 80 โดยปริมาณที่นิยมใช้กันทั่วไปสำหรับโมโนและไดกลีเซอไรต์ คือ 0.1 - 0.2% และใช้โพลีซอร์เบท 80 ในปริมาณ 0.02 - 0.04% (Marshall *et al.*, 2003)

1.6 น้ำ (Water)

น้ำเป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณมากที่สุดในไอศกรีม น้ำเป็นตัวกลางขององค์ประกอบทั้งหมดในไอศกรีมทั้งองค์ประกอบที่ละลายน้ำได้ และองค์ประกอบที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ (Clarke, 2004) ในขั้นตอนการปั่นเยือกแข็งและการแช่แข็งไอศกรีม น้ำส่วนใหญ่ในไอศกรีมจะอยู่ในรูปของแข็ง แต่จะไม่กลายเป็นน้ำแข็งทั้งหมด เนื่องจากผลของตัวถูกละลายทำให้จุดเยือกแข็งลดต่ำลง ความสมดุลระหว่างผลึกน้ำแข็งกับส่วนที่เป็นของเหลวและขนาดของผลึกน้ำแข็งมีบทบาทที่สำคัญต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม (Marshall *et al.*, 2003) น้ำในไอศกรีมมาจากส่วนผสมต่างๆ ที่เติมลงไปในไอศกรีมเหลว ได้แก่ ผลิตภัณฑ์นม น้ำเชื่อม หรือจากน้ำที่เติมลงไปโดยตรง

2. กระบวนการผลิตไอศกรีม

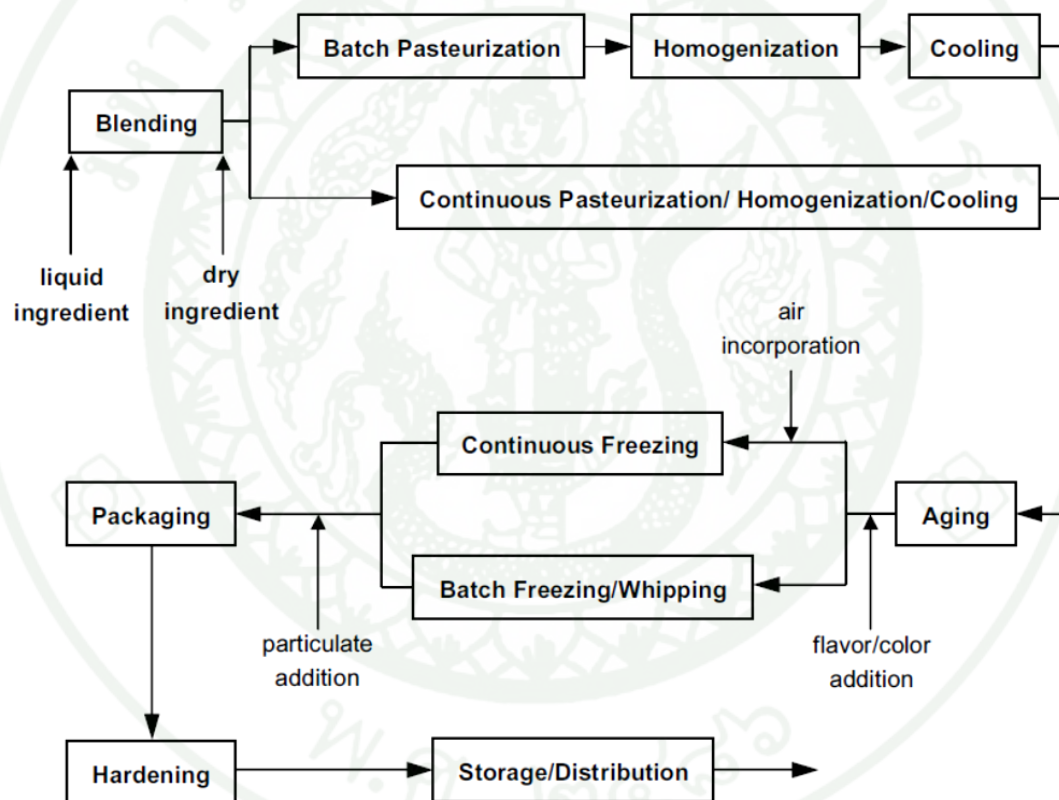
กระบวนการผลิตไอศกรีมมีขั้นตอนพื้นฐานดังแสดงในภาพที่ 9 กระบวนการผลิตไอศกรีมสามารถทำได้ทั้งแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง ส่วนผสมที่เป็นของเหลว (ครีม นำนม กลูโคส-ไซรัป และน้ำ) จะถูกเทลงไปในถังผสม จากนั้นเปิดใบกวนและเริ่มให้ความร้อน เมื่ออุณหภูมิถึง 50 องศาเซลเซียส เทส่วนผสมที่เป็นของแข็ง (นมผง น้ำตาลทราย สารให้ความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์) ลงไปในถัง เพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อน ของผสมที่ได้เรียกว่าไอศกรีมเหลวหรือไอศกรีมมิกซ์ (Ice cream mix)

ไอศกรีมเหลวที่ได้ต้องผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อระดับพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization) เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียที่อุณหภูมิ 69 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (Low-Temperature Long-Time, LTLT) หรือที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 วินาที (High-Temperature Short-Time, HTST) (Marshall *et al.*, 2003) และผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ (Homogenization) เพื่อให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กและสม่ำเสมอ ช่วยป้องกันการแยกชั้นของไขมันในไอศกรีมเหลว ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อเนียนขึ้น และเพิ่มความสามารถในการขึ้นฟู (Whipping ability) (Goff and Hartel, 2004)

ไอศกรีมเหลวที่ผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์แล้วถูกทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 0 - 4 องศาเซลเซียส และบ่ม (Aging) ไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง แต่โดยส่วนใหญ่มักบ่มไว้ 1 คืน เพื่อให้ไขมันเกิดเป็นผลึก (Crystallization) และเกิด Partial coalescence และเพื่อให้โปรตีนและสารให้ความคงตัวอิมัลซิไฟเออร์ดูดซับน้ำอย่างสมบูรณ์ (Hydration) ทำให้ได้ไอศกรีมเหลวที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นและส่งผลให้ไอศกรีมมีเนื้อเนียน จากนั้นนำไอศกรีมเหลวที่ผ่านการบ่มแล้วไปปั่นเยือกแข็ง (Freezing) ทำให้น้ำในไอศกรีมเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก และมีการเติมอากาศเข้าไปทำให้ได้ไอศกรีมเนื้อเนียนและทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเบา (Lightness) เนื่องจากปริมาตรไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นจากอากาศที่แทรกอยู่ในเนื้อไอศกรีม

ไอศกรีมที่ปั่นได้อาจเติมองค์ประกอบอื่นๆ ที่เป็นขึ้นในขั้นตอนนี้ เช่น ผลไม้ ถั่ว หรือคุกกี้ เป็นต้น และบรรจุในภาชนะต่างๆ (Packaging) หรือนำไปขึ้นรูปทำให้ได้ไอศกรีมรูปแบบต่างๆ เช่น ไอศกรีมแท่ง ไอศกรีมโคน เป็นต้น เนื่องจากไอศกรีมที่ออกจากเครื่องปั่นเยือกแข็งไอศกรีมมีอุณหภูมิประมาณ -5 ถึง -6 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมินี้ไอศกรีมยังไม่แข็งมาก มีปริมาณน้ำที่

กลายเป็นน้ำแข็งประมาณร้อยละ 50 ดังนั้นไอศกรีมจึงต้องผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิประมาณ -25 ถึง -30 องศาเซลเซียส (Hardening) เพื่อให้เนื้อที่ยังเหลือกลายเป็นน้ำแข็ง เก็บรักษาไอศกรีมที่อุณหภูมิต่ำกว่า -20 องศาเซลเซียส (Goff and Hartel, 2004) อุณหภูมิในการเก็บรักษาเป็นตัวกำหนดอายุการเก็บของไอศกรีม หากในขั้นตอนการเก็บรักษาหรือการขนส่ง อุณหภูมิสูงเกินไปหรือไม่สม่ำเสมอ ทำให้น้ำแข็งละลาย เมื่อไอศกรีมถูกนำกลับมาแช่แข็งใหม่ หรือ อุณหภูมิลดลงอีกครั้ง ไอศกรีมจะมีขนาดของผลึกน้ำแข็งที่ใหญ่ขึ้น (Recrystallization) ทำให้ได้ ไอศกรีมที่มีเนื้อหยาบจากผลึกน้ำแข็ง (Icy) ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Heat shock (Marshall *et al.*, 2003)



ภาพที่ 9 กระบวนการผลิตไอศกรีม

ที่มา: Goff and Hartel (2004)

3. หน้าที่ของไขมันในไอศกรีม และการลดไขมันในไอศกรีม

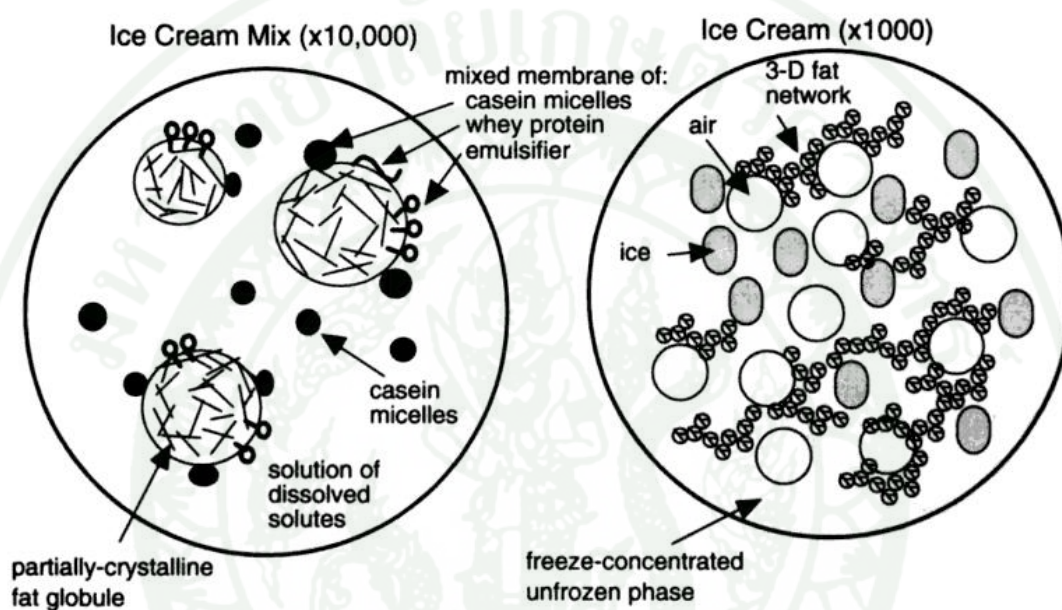
ไขมันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและใช้เป็นตัวที่บอกถึงคุณภาพของไอศกรีม ดังนั้น The International Ice Cream Association ได้เสนอมาตรฐานของไอศกรีมโดยผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่มีไขมันสูง (Full fat) ต้องมีไขมันไม่ต่ำกว่า 8% ผลิตภัณฑ์ลดไขมัน (Reduced fat) มีไขมัน 2 - 7% ผลิตภัณฑ์ไขมันต่ำ (Low fat) มีไขมัน 0.5 - 2% ผลิตภัณฑ์ไม่มีไขมัน (Fat free) มีไขมันน้อยกว่า 0.5% (White, 1993)

ไขมันส่งผลต่อเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏของไอศกรีม และความรู้สึกในปากโดยให้ความรู้สึกลิ้น เคลือบมัน เรียบเนียน และปรับปรุงคุณสมบัติการละลายในปาก นอกจากนี้ไขมันยังทำหน้าที่ให้กลิ่นรส และเป็นตัวพา (Carrier) ของสารให้กลิ่นรส เนื่องจากกลิ่นรสส่วนใหญ่ละลายในไขมัน ดังนั้น ปริมาณไขมันจึงมีผลต่อระยะเวลาที่ได้รับกลิ่นรส อัตราการปลดปล่อยกลิ่นรส และระดับการรับรู้กลิ่นรสของไอศกรีม (Li et al., 1997; Marshall et al., 2003; Frøst et al., 2005)

หลังจากที่ไอศกรีมเหลวผ่านกระบวนการโฮโมจีไนซ์ เม็ดไขมันมีขนาดเล็กลงทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวของเม็ดไขมัน ในระหว่างกระบวนการบ่มไอศกรีมเหลว เม็ดไขมันเกิดผลึกโครงสร้างที่ซับซ้อนของผลึกรูปเข็ม (Needle-like crystals) หลังจากนำไอศกรีมเหลวที่ผ่านกระบวนการบ่มไปผ่านกระบวนการปั่นเยือกแข็ง (Freezing) และเติมอากาศ (Whipping) เม็ดไขมันถูกทำให้เสียสมดุล (Destabilization) ผลึกไขมันที่เกิดขึ้นจะทะลุผนังของเม็ดไขมันทำให้ไขมันเหลวเชื่อมเม็ดไขมันที่อยู่ใกล้เคียงกัน เม็ดไขมันจึงเกาะกันเป็นกลุ่ม (Clump) เชื่อมโยงกันเป็นสาย กระบวนการนี้เรียกว่า Partial coalescence ทำให้เซลล์อากาศที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการปั่นเยือกแข็ง ไอศกรีมถูกหุ้มด้วยชั้นของกลุ่มสายเม็ดไขมัน เซลล์อากาศจึงสามารถคงอยู่ได้ ดังนั้นโครงสร้างของไอศกรีมจึงประกอบด้วยเซลล์อากาศซึ่งมีเม็ดไขมันล้อมรอบ และมีผลึกน้ำแข็งกระจายตัวอยู่ในส่วนของของเหลวที่ไม่แข็งตัว (ภาพที่ 10) โครงสร้างของไอศกรีมดังกล่าวส่งผลต่อลักษณะปรากฏที่ดี มีความแห้ง (Dryness) ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียน (Smoothness) เพิ่มความต้านทานต่อการละลายหรือคงรูปได้ดี (Stand-up properties) (Marshall et al., 2003)

ไอศกรีมลดไขมันมีโครงสร้างร่างแหของไขมันที่ล้อมรอบเซลล์อากาศน้อย เซลล์อากาศขนาดเล็กสามารถเคลื่อนที่มาเชื่อมกันเป็นเซลล์อากาศขนาดใหญ่ได้ในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็งไอศกรีมและระหว่างการเก็บรักษาไอศกรีม (Marshall et al., 2003) เนื่องจากแรงดัน

ภายในเซลล์อากาศขนาดเล็กมากกว่าเซลล์อากาศขนาดใหญ่ทำให้สามารถรวมกันเป็นเซลล์อากาศขนาดใหญ่ มีผลให้ไอศกรีมมีปริมาตรลดลง ไอศกรีมเกิดการยุบตัว (Collapse) หรือเรียกว่า Shrinkage นอกจากนี้ยังพบว่าไอศกรีมลดไขมันละลายเร็วกว่าไอศกรีมไขมันสูง เนื่องจากมีโครงสร้างร่างแหของไขมันที่ช่วยชะลอและรักษารูปร่างของไอศกรีมระหว่างละลายน้อยกว่า และไขมันยังถูกแทนที่ด้วยน้ำ หรือผลึกน้ำแข็งซึ่งมีอุณหภูมิในการหลอมเหลวต่ำกว่าผลึกไขมัน



ภาพที่ 10 ภาพจำลองโครงสร้างของไอศกรีมเหลว (Ice cream mix) และไอศกรีม

ที่มา: Marshall *et al.* (2003)

การลดไขมันในสูตรไอศกรีมทำให้ไอศกรีมมีคุณภาพด้อยลงในด้านลักษณะปรากฏ ไอศกรีมเป็นเกล็ดน้ำแข็งมากขึ้นทำให้เนื้อสัมผัสหยาบ ความรู้สึกในปาก (Mouthfeel) ด้อยลง และการรับกลิ่นรสไม่ดี เนื่องจากไขมันเป็นตัวพากลิ่นรส (Flavour carrier) และหน่วงกลิ่นรสที่เติมลงไป ไอศกรีม โดยไอศกรีมลดไขมันมีแนวโน้มที่กลิ่นรสจะถูกปลดปล่อยออกมาเร็วและจางหายไปอย่างรวดเร็วระหว่างละลายในปาก ไอศกรีมลดไขมันจึงมักไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค Li *et al.* (1997) ได้ศึกษาผลของปริมาณไขมันนม (0.5 - 10%) ต่อการรับรู้กลิ่นรสวานิลลาในไอศกรีม โดยทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสและวัดปริมาณวานิลลินอิสระด้วยเครื่อง HPLC พบว่าจำนวนวานิลลิน (Vanillin) อิสระลดลงเมื่อปริมาณไขมันในไอศกรีมสูงขึ้น แต่ผู้ทดสอบชิม

บอกได้เพียงว่าเมื่อปริมาณไขมันในสูตรไอศกรีมเพิ่มขึ้น คุณสมบัติต่างๆ ทางประสาทสัมผัสดีขึ้น การยอมรับโดยรวมเพิ่มขึ้น และมีระยะเวลารับรู้กลิ่นรส (Time-intensity for flavor perception) นานขึ้นตามปริมาณไขมันที่มากขึ้น โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากไอศกรีมที่มีไขมันต่ำทำให้กลิ่นรสถูกปลดปล่อยได้เร็วกว่า จึงได้รับกลิ่นรสเร็วกว่าไอศกรีมที่มีไขมันสูง

4. การใช้สารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

การใช้สารทดแทนไขมันในไอศกรีมลดไขมันเพื่อทำหน้าที่ทดแทนคุณคุณสมบัติของไขมัน ทางด้านเนื้อสัมผัสและกลิ่นรส แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สารแทนที่ไขมัน (Fat substitute) มักใช้เรียกสารทดแทนไขมันประเภทไขมัน (Lipid- or fat-based fat replacer) ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพ และเคมีคล้ายไขมัน ใช้แทนที่ไขมันในอัตราส่วน 1:1 โดยจะจำลองคุณสมบัติทางหน้าที่ของไขมัน แต่ไม่ใหพลังงาน หรือให้พลังงานน้อยกว่าไขมัน และอีกประเภท คือ สารเลียนแบบไขมัน (Fat mimetic) มักใช้เรียกสารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต (Protein- and carbohydrate-based fat replacer) ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ แล้วให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่สามารถเลียนแบบความรู้สึกบางอย่างในปากได้คล้ายไขมัน โดยจะทำหน้าที่แทนไขมันได้บางส่วนที่ และไม่จำเป็นต้องแทนที่ไขมันในอัตราส่วน 1:1 (White, 1993; Akoh, 1998) ชนิดของสารทดแทนไขมันสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

4.1 สารทดแทนไขมันประเภทไขมัน (Lipid- or fat-based fat replacer)

เป็นสารที่ได้จากการปรับปรุงโครงสร้างไขมันหรือเลียนแบบไขมันตามธรรมชาติ สามารถทดแทนการย่อยของน้ำย่อยในร่างกาย จึงไม่ใหพลังงานหรือให้พลังงานน้อยมาก ตัวอย่างเช่น Olestra, EPG (Esterification propoxylate glycerol), DDM (Dialkyl dihexadecylmalonate), TATCA (Trialkoxytricarballate) เป็นต้น โดยส่วนใหญ่สารทดแทนไขมันประเภทไขมันนี้จะสามารถทนความร้อนที่อุณหภูมิขณะทอดได้ (White, 1993)

4.2 สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน (Protein-based fat replacer)

ผลิตจากโปรตีนนม, ไข่, เวย์ หรือโปรตีนจากพืช และรวมถึง Microparticulated protein ซึ่งเกิดจากการให้แรงในขณะให้ความร้อนกับโปรตีน (Thermally aggregation under

shear condition) ทำให้เกิดอนุภาคน้ำมันขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 - 2 ไมโครเมตร) ซึ่งจะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เป็นครีม เรียกกระบวนการนี้ว่า Microparticulation (Marshall *et al.*, 2003) Microparticulated protein ถูกย่อยได้เช่นเดียวกับโปรตีน และให้ความรู้สึกและลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายไขมัน แต่ให้พลังงานน้อยกว่าหรือไม่ให้พลังงาน สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนไม่สามารถใช้กับอาหารที่ผ่านความร้อนสูงมาก เช่น การทอด แต่เหมาะสำหรับใช้เป็นส่วนผสมในอาหารที่ผ่านการทำให้สุก หรือกระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูงได้ สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนมักใช้ในผลิตภัณฑ์นม น้ำสลัด ขนมหวานแช่แข็ง และ มาการีน สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน ได้แก่ Simplese®, Prolo 11 เป็นต้น

4.3 สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate-based fat replacer)

เป็นสารทดแทนไขมันกลุ่มใหญ่ที่สุดที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ สารจำพวก กัม เพกทิน เซลลูโลส และแป้ง เมื่อจับกับน้ำจะให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสและความรู้สึกเคลือบมันในปากคล้ายไขมัน สารกลุ่มนี้สามารถเลียนแบบพฤติกรรมบางอย่างของไขมัน เช่น ให้ความหนืดแก่ไอศกรีมเหลว ทำให้โฟมคงตัว ควบคุมการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็ง และควบคุมการแยกตัวของน้ำ โดยคาร์โบไฮเดรตจะให้พลังงานน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของพลังงานที่ได้รับจากไขมัน สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตไม่เหมาะกับการทอด แต่สามารถใช้เป็นตัวขัดขวางไขมัน (Fat barrier) จากการทอดหรือการอบได้ (Akoh, 1998)

การใช้สารทดแทนไขมันในไอศกรีมลดไขมันสามารถเลียนแบบลักษณะทางวิทยากระแส (Rheology) ของไอศกรีมที่มีไขมันได้ ในขณะที่ลักษณะการตกผลึกของไขมัน และโครงสร้างทางโมเลกุลของไขมัน (Polymorphism) ไม่สามารถทำเลียนแบบได้ การเลียนแบบลักษณะทางวิทยากระแสเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้ไอศกรีมลดไขมันเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภคได้ ไอศกรีมลดไขมันจะต้องมีความเป็นครีม (Creaminess) เช่นเดียวกับไอศกรีมไขมันสูงด้วย โดยอนุภาคในไอศกรีมที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.1 - 2 ไมโครเมตรจะให้ความรู้สึกเป็นครีม (Creaminess) ขณะที่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 3 ไมโครเมตรจะทำให้ผู้บริโภครับรู้ถึงเนื้อสัมผัสเป็นเม็ดหยาบ (Gritty) (Marshall *et al.*, 2003)

Schmidt *et al.* (1993) ศึกษาผลของการใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในไอศกรีมไขมันต่ำ (ไขมัน 2.1%) โดยใช้ N-Lite D และ Simplese D100 เป็นตัวแทนของ

สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ตามลำดับ ไส้ครีมสูตรควบคุมประกอบด้วย ไขมันนม 4.8% หางนมผง 11% น้ำตาล 15% มอลโตเดกซ์ตริน 2% และสารให้ความคงตัว 0.8% และทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ จลนทรีย์ และทางเคมี พบว่าการใช้ Simplese D100 ให้ค่าความเป็นกรดสูงกว่าไส้ครีมสูตรควบคุม และไส้ครีมลดไขมันที่ใช้ N-Lite D เนื่องจาก Simplese D100 ผลิตจากเวย์โปรตีนซึ่งมีกรดแลคติกรวมอยู่ด้วย ไส้ครีมลดไขมันที่ใช้ N-Lite D ซึ่งเป็นสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต ทำให้มีความหนืด และความคงตัว (Consistency) มากกว่าไส้ครีมลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนและไส้ครีมสูตรควบคุม ลักษณะเช่นนี้ส่งผลให้ไส้ครีมละลายได้ช้าลง และเริ่มละลายช้ากว่าไส้ครีมอีก 2 สูตร อัตราการขึ้นฟู (Overrun) ของไส้ครีมลดไขมันที่ใช้ Simplese D100 สูงถึง 111.5% มีความสามารถในการกักเก็บอากาศระหว่างการปั่นเยือกแข็งได้ดีกว่าไส้ครีมสูตรควบคุม ในขณะที่ไส้ครีมลดไขมันที่ใช้ N-Lite D ให้ค่าการขึ้นฟูต่ำ (60%) เนื่องจากมีความหนืดมาก

Kailasapathy and Songvanich (1998) ศึกษาผลของการใช้สารทดแทนไขมัน 4 ชนิด ได้แก่ N-Lite D, Slendid, Paselli SA 2 และ Simplese ในผลิตภัณฑ์ไส้ครีมที่มีปริมาณไขมัน 13% และไส้ครีมลดไขมันที่มีปริมาณไขมัน 2% พบว่า ไส้ครีมที่ใช้ N-Lite D และ Paselli SA 2 ให้ความหนืดต่ำกว่าการใช้ Slendid และ Simplese ส่งผลให้มีค่าการขึ้นฟูมากกว่า เนื่องจากเมื่อความหนืดสูงจะไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของไพบัตในขณะตีอากาศระหว่างการปั่นเยือกแข็ง ไส้ครีม ค่าการขึ้นฟูของไส้ครีมให้ผลการทดลองสอดคล้องกับการขยายตัวของฟองอากาศ (Foam expansion) และความคงตัวของฟองอากาศ (Foam liquid stability) ดังนี้ เมื่อค่าการขึ้นฟูสูง ค่าการขยายตัวและความคงตัวของฟองอากาศมีค่าสูงตามไปด้วย นอกจากนี้ เมื่อความหนืดสูงขึ้น มีผลให้ไส้ครีมละลายช้าลง และช่วยยับยั้งการเกิด Heat shock ในระหว่างการเก็บรักษา และเมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน พบว่าสารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ผลิตจากแป้ง เม็ดแป้งพองตัวขึ้นเมื่อสัมผัสกับน้ำ ทำให้ผู้ทดสอบรับรู้คล้ายความมัน ในขณะที่สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีนมีโมเลกุลขนาดเล็กจำนวนมาก จึงให้ความรู้สึกลื่นไหลคล้ายครีมเช่นกัน แต่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของผลึกน้ำแข็งระหว่างไส้ครีมสูตรควบคุมกับไส้ครีมลดไขมันที่ใช้สารทดแทนไขมัน โดยไส้ครีมสูตรควบคุมเกิดผลึกน้ำแข็งมากกว่าไส้ครีมลดไขมัน อาจเนื่องมาจาก สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรตสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้ ส่งผลให้น้ำอิสระน้อยลง จึงเกิดผลึกน้ำแข็งน้อยลง ส่วนการใช้ Simplese เป็นสารทดแทนไขมันเกิดผลึกน้ำแข็งน้อยที่สุด อาจเนื่องจากในสูตรโครงสร้างทางเคมี เช่น พันธะไดซัลไฟด์ ที่สามารถจับกับน้ำได้ นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจากปริมาณของแข็งทั้งหมด

ที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีปริมาณน้ำน้อยกว่าสูตรอื่น อย่างไรก็ตาม ผลการยอมรับโดยรวมของไอศกรีมแต่ละสูตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยไอศกรีมสูตรควบคุมได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุด

จุฑารัตน์ (2549) ศึกษาการใช้อินนูลินเป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมวานิลลาลดไขมัน พบว่าการใช้อินนูลินสายยาวร่วมกับสายสั้นในอัตราส่วน 1:1 (รวมเป็น 6%) ช่วยปรับปรุงคุณภาพของไอศกรีมลดไขมัน (ปริมาณไขมัน 3%) เนื่องจากอินนูลินสามารถเกิดร่างแหและจับกับโมเลกุลของน้ำได้ ทำให้ไอศกรีมละลายช้าลงเทียบกับการใช้อินนูลินสายสั้นเพียงอย่างเดียว และการใช้อินนูลินสายยาวเพียงอย่างเดียวทำให้ไอศกรีมละลายช้าเกินไป การใช้อินนูลินสายยาวร่วมกับสายสั้นให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม และนอกจากนี้ยังพบว่าการใช้อินนูลินเป็นสารทดแทนไขมันสามารถต้านปรากฏการณ์ Heat shock ได้ดีกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม (ไขมัน 9%)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 กระเจี๊ยบเขียว ความยาวฝักประมาณ 9 - 12 เซนติเมตร เก็บเกี่ยวช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2552 จากพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางแถบจังหวัดนครนายก รวบรวมโดยบริษัท ทิมฟู้ด จำกัด ระหว่างรอการสกัดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ไม่เกิน 3 วัน
- 1.2 หางนมผง (Skimmed milk powder, New Zealand)
- 1.3 ไขมันนม (Anhydrous milk fat, 99.9% Milk fat, New Zealand) จากบริษัท วิคกี้เอนเตอร์ไพรส์ จำกัด
- 1.4 น้ำตาลทราย (บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด, ประเทศไทย)
- 1.5 อิมัลซิไฟเออร์ Mono-di glyceride, Grindsted® Mono-Di HP 60-M (Danisco, Malaysia) จากบริษัท Danisco Thailand
- 1.6 กัวร์กัม (Guar gum powder, Lotus gum, India) จาก BJCSpecialties บริษัท Berli Jucker Public จำกัด
- 1.7 โลcust Bean กัม (Locust bean gum, France) จาก Thai Food and Chemical Co., Ltd
- 1.8 กลิ่นวานิลลา (Imitation vanilla flavor, McCormick & Co., Inc., USA)

2. สารเคมี

- 2.1 การเตรียม Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP)
 - 2.1.1 เอทานอล 95%, Commercial grade จากห้างหุ้นส่วนจำกัด แซค ซายน์ เอ็น
- 2.2 การวิเคราะห์โปรตีน
 - 2.2.1 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) 98% Analytical grade, RCI Labscan, ประเทศไทย
 - 2.2.2 กรดบอริก (Boric acid) Analytical grade, Ajax Finechem, Australia

2.2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) Commercial grade จาก บริษัท ทีทีเค ซายเอนซ์ จำกัด

2.2.4 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper(II)sulfate pentahydrate) Analytical grade, QRëC, New Zealand

2.2.5 โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulfate) Technical grade, Carlo Erba Reagents, Italy

2.2.6 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) Analytical grade, Ajax Finechem, Australia

2.2.7 โบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green) Analytical grade, Ajax Finechem, Australia

2.2.8 เมทิลเรด (Methyl red) Analytical grade, Panreac, Spain

2.3 การวิเคราะห์ไขมัน (Crude fat)

2.3.1 ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) จุดเดือด 35 - 60 องศาเซลเซียส Analytical grade, J.T.Baker, USA.

2.4 การวิเคราะห์เส้นใย (Crude fiber)

2.4.1 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) 98% เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1

2.4.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) Analytical grade, Merck, Germany

2.4.3 อะซิโตน (Acetone) Analytical grade, RCI Labscan, ประเทศไทย

2.5 การวิเคราะห์กรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid)

2.5.1 3-ฟีนิลฟีนอล (3-phenylphenol) 90%, Aldrich, USA.

2.5.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) Analytical grade, Mallinckrodt, USA.

2.5.3 โซเดียมเตตราโบเรต (Sodium tetraborate) Analytical grade, Ajax Finechem, Australia

2.5.4 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) 98% เช่นเดียวกับข้อ 2.2.1

2.5.5 กรดซัลฟามิก (Sulfamic acid) Analytical grade, Ajax Finechem, Australia

2.5.6 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide) Analytical grade, Mallinckrodt, USA.

2.5.7 กรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid monohydrate) minimum 98%, ใช้เป็นสารมาตรฐาน เช่นเดียวกับข้อ 2.5.3

2.6 การวิเคราะห์ปริมาณเมทานอลและ Degree of methyl esterification (DM)

2.6.1 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide) เช่นเดียวกับข้อ 2.6.6

2.6.2 กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) 85%, Analytical grade, Mallinckrodt, USA.

2.6.3 โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate) Analytical grade, Ajax Finechem, Australia

2.6.4 แอลกอฮอล์ ออกซิเดส จาก *Pichia pastoris* (Alcohol oxidase, EC 1.1.3.13, Lot number 030M1227V) Sigma-Aldrich, USA.

2.6.5 อะซีติลอะซีโตน (Acetylacetone) Analytical grade, Carlo Erba, Italy

2.6.6 แอมโมเนียมอะซิเตต (Ammonium acetate) Analytical grade, Merck, Germany

2.6.7 กรดแอสติก (Acetic acid) Analytical grade, QRëC, New Zealand

2.6.8 เมทานอล (Methanol) 99.9%, HPLC grade, QRëC, New Zealand ใช้เป็นสารมาตรฐาน

3. อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการเตรียม Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP)

3.1.1 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, WB 22, Memmert GmbH+Co.KG., Germany)

3.1.2 เครื่องกวนสาร (Overhead stirrer, EUROSTAR power basic, IKA®, Germany) และใบพัดแบบ 4 เวก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร

3.1.3 เครื่องคั้นระบบไฮดรอลิก (Hydraulic press, ประเทศไทย) และถุงกรอง Polypropylene สำหรับใส่ตัวอย่าง

3.1.4 เครื่องปั่นผสม (Super blender, MX-T31GN, National, Matsushita Electric Co., Ltd., Taiwan)

3.1.5 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Refrigerated centrifuge, Himac CR 20B2, Hitachi)

- 3.1.6 เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (Sieve shaker, AS200 control, Retsch, Germany) และตะแกรงร่อนขนาด 100 และ 200 mesh
- 3.1.7 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (GT4100, Ohaus, USA)
- 3.1.8 เครื่องชั่งสปริง
- 3.1.9 ถังสแตนเลสทรงกระบอกขนาดประมาณ 20 ลิตร
- 3.1.10 อุปกรณ์ครัว
- 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี
- 3.2.1 ตู้อบลมร้อน (Heating oven, ED115, Binder, Germany)
- 3.2.2 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์โพรตีน BÜCHI Distillation Unit B-324, Digestion Unit K-435 และ Scrubber B-414 (BÜCHI Labortechnik AG, Switzerland)
- 3.2.3 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ไขมัน Soxtec™ System HT 1043 Extraction Unit และ 1046 Service Unit (Tecator, Sweden)
- 3.2.4 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์เส้นใย (Crude fiber) Fibertec™ System M 1020 Hot Extractor (Tecator, Sweden) และ Fritted glass crucible
- 3.2.5 เตาเผา (Muffle furnace, Tactical 308, Gallenkamp, UK)
- 3.2.6 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer, Genesys 10S UV-Vis Spectrophotometer, Thermo Scientific, USA)
- 3.2.7 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge, Z 206 A, Hermle Labortechnik, Germany)
- 3.2.8 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, WB 22, Memmert GmbH+Co.KG., Germany)
- 3.2.9 เครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก (Magnetic stirrer, RCT Basic, IKA® WERKE, Malaysia)
- 3.2.10 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (GT4100, Ohaus, USA)
- 3.2.11 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (AP 210D, Ohaus, USA)
- 3.2.12 เครื่องวัดกรด-ด่าง (pH meter, Microcomputer pH-vision 6071, Jenco electronic, Ltd., USA)
- 3.2.13 เครื่องเขย่าผสมสาร (Vortex mixer, VX100, Labnet International, Inc., USA)
- 3.2.14 เตาให้ความร้อน (Hotplate, TOE-12, Tema Dis Ticaret A.S., Turkey)

3.2.15 โถแก้วดูดความชื้น (Desiccator)

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

3.3.1 เครื่องวัดค่าสี (Spectrophotometer, CM-3500d, Konika Minolta Sensing, Inc., Japan)

3.3.2 เครื่องมือวัดคุณสมบัติทางวิทยากระแสด (Rheological property) (Stress controlled rheometer, Physica MCR 300, Anton Paar, Germany) พร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบ Peltier และอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบน้ำวน (Constant temperature circulator, Viscotherm VT2, Anton Paar, Germany) ภาพเครื่องวัดคุณสมบัติทางวิทยากระแสด แสดงดังภาพผนวกที่ ๑1

3.3.3 เครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก (Magnetic stirrer, RCT Basic, IKA® WERKE, Malaysia)

3.3.4 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (GT4100, Ohaus, USA)

3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตไอศกรีม

3.4.1 เครื่องผสมอาหารแบบมือถือ (Hand blender, B-525 MA, 500 Watt, Fagor, Spain)

3.4.2 โฮโมจีไนเซอร์ (Two-stage homogenizer, 15MR-8TA, APV Gaulin, Inc., USA)

3.4.3 เครื่องปั่นเยือกแข็งไอศกรีม (Batch Freezer, Model TS2 Professionale, Frigomat, Italy) ภาพเครื่องปั่นเยือกแข็งไอศกรีมแสดงดังภาพผนวกที่ ๑2

3.4.4 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (GT4100, Ohaus, USA)

3.4.5 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple)

3.4.6 ตู้เย็น (Refrigerator, SJ D55G GY, Sharp)

3.4.7 ตู้แช่แข็ง (Freezer, SF-C65, Sanyo, ประเทศไทย) อุณหภูมิ -24 ± 1 องศาเซลเซียส

3.4.8 ภาชนะและอุปกรณ์เครื่องครัว

3.5 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม

3.5.1 เครื่องมือวัดคุณสมบัติทางวิทยากระแสด (Stress controlled rheometer, Physica MCR 300, Anton Paar, Germany) พร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบ Peltier และ

อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบน้ำวน (Constant temperature circulator, Viscotherm VT2, Anton Paar, Germany)

3.5.2 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer, TA.XTPlus, Stable Micro Systems Ltd., UK)

3.5.3 ตะแกรงลวดขนาด 12 mesh (12 ช่องเปิดต่อความยาวตะแกรง 1 นิ้ว)
พร้อมขาตั้ง สำหรับวัดการละลายของไอศกรีม

3.5.4 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple)

3.5.5 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Ohaus, Model GT4100, USA)

3.5.6 อุปกรณ์สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

วิธีการ

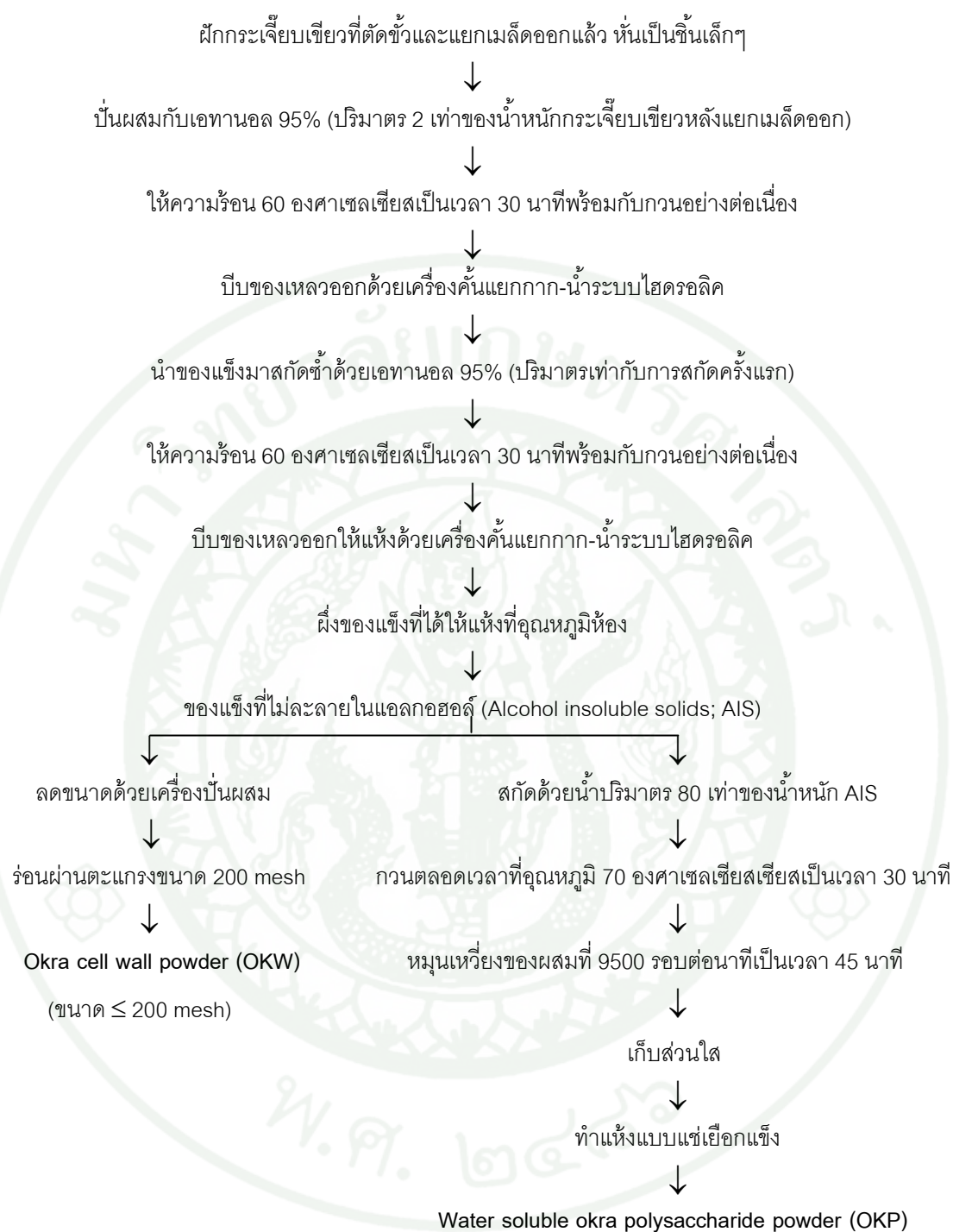
1. การเตรียม Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP)

วิธีการเตรียม Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ดัดแปลงจากวิธีการของ (2549) เริ่มจากการเตรียมของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (Alcohol insoluble solids; AIS) โดยใช้เอทานอลเพื่อกำจัดน้ำออกจากวัตถุดิบ ลดกิจกรรมของเอนไซม์ และกำจัดสารโมเลกุลเล็ก เช่น สี และน้ำตาลออกไป (Andersson *et al.*, 2006) นำฝักกระเจี๊ยบเขียวมาตัดหัวและแยกเมล็ดออก เนื่องจากเมล็ดกระเจี๊ยบเขียวมีปริมาณไขมันค่อนข้างสูง (Ndjouenkeu *et al.*, 1996) จากนั้นนำฝักกระเจี๊ยบเขียวหลังแยกหัวและเมล็ดออกแล้วมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร บั่นผสมกับเอทานอล 95% ปริมาตร 2 เท่าของน้ำหนักฝักกระเจี๊ยบเขียวหลังแยกเมล็ดออกด้วยเครื่องปั่นผสม (Super blender, MX-T31GN, National, Matsushita Electric Co., Ltd., Taiwan) ความเร็วมอเตอร์ระดับ 4 (ความเร็วระดับกลาง) เป็นเวลา 40 วินาที (ความเร็วขั้นสุดทำของเอทานอลเมื่อถูกเจือจางด้วยความร้อนจากฝักกระเจี๊ยบเขียวเหลือประมาณ 70% (v/v)) เทของผสมลงในถังสแตนเลสทรงกระบอกขนาดประมาณ 20 ลิตร และนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, WB 22, Memmert GmbH+Co.KG., Germany) พร้อมกับกวนอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องกวนสาร (Overhead stirrer, EUROSTAR power basic, IKA®, Germany) ที่ความเร็วประมาณ 300 รอบต่อนาที จนของผสมมีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส กวนพร้อมให้ความร้อนของ

ผสมเป็นเวลา 30 นาที ปิดถังสแตนเลสด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์เพื่อลดการระเหยของเอทานอล หลังจากให้ความร้อนของผสมลงในถุงกรอง Polypropylene ม้วนปากถุงให้แน่นแล้วนำไปบีบของเหลวออกด้วยเครื่องคั้นแยกกาก-น้ำระบบไฮดรอลิก (Hydraulic press) บีบจนไม่มีของเหลวไหลออกมา จากนั้นนำของแข็งที่ได้มาสกัดด้วยเอทานอลอีกครั้งโดยใช้ปริมาตรเท่ากับการสกัดครั้งแรก ให้ความร้อนพร้อมกับกวนอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับการสกัดครั้งแรก จากนั้นนำของผสมไปบีบของเหลวออกด้วยเครื่องคั้นแยกกาก-น้ำระบบไฮดรอลิกอีกครั้ง แล้วนำของแข็งที่ได้มาแผ่นภาคในตู้ดูดควันจนแห้ง ได้ส่วนของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (Alcohol insoluble solids; AIS)

AIS ที่ได้แยกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปลดขนาดโดยการปั่นด้วยเครื่องปั่นผสม (Super blender, MX-T31GN, National, Matsushita Electric Co., Ltd., Taiwan) และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 Mesh โดยใช้เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (Sieve shaker, AS200 control, Retsch, Germany) เรียกส่วนนี้ว่า Okra cell wall powder (OKW)

AIS ส่วนที่สองนำไปสกัดด้วยน้ำ เรียกส่วนนี้ว่า Water soluble okra polysaccharide (OKP) โดยใช้ น้ำกลั่น ปริมาตร 80 เท่าของน้ำหนัก AIS ผสมในถังสแตนเลส ให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, WB 22, Memmert GmbH+Co.KG., Germany) จนของผสมมีอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พร้อมกับกวนอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องกวนสาร (Overhead stirrer, EUROSTAR power basic, IKA®, Germany) ที่ความเร็วประมาณ 300 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที ขณะกวนและให้ความร้อนปิดถังสแตนเลสด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์เพื่อลดการระเหยของน้ำ นำของผสมที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Refrigerated centrifuge, Himac CR 20B2, Hitachi) ที่ความเร็ว 9500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 45 นาที เก็บส่วนใสส่งไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่บริษัท ชันไฮน์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด โรงงานตั้งอยู่ที่จังหวัดจันทบุรี (รายละเอียดของบริษัทแสดงในภาคผนวก จ) ของแข็งที่ได้คือ OKP ในรูปผงแห้ง ขั้นตอนการเตรียม AIS, OKW และ OKP จากกระเจี๊ยบเขียวแสดงดังภาพที่ 11 (ดัดแปลงจากวารสาร, 2549)



ภาพที่ 11 แผนภาพเตรียม Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide (OKP)

ที่มา: ดัดแปลงจากวารสาร (2549)

2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP)

2.1 การวิเคราะห์ความชื้น ปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย แก้ว และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ทั้งหมดตามวิธีของ AOAC (2005) องค์ประกอบทางเคมีทั้งหมดรายงานเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเปียก (%w/w, Wet basis) รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ก

2.2 การวิเคราะห์กรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) (Melton and Smith, 2001)

นำพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่อยู่ในรูปผงแห้งมาละลายด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นขณะแช่หลอดทดลองในอ่างน้ำแข็ง ปรับปริมาตรสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวเป็น 25 มิลลิลิตร นำสารละลายไปหมุนเหวี่ยงเพื่อตกตะกอนส่วนที่ไม่ละลาย จากนั้นเปิดสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวใส่หลอดทดลอง หลอดละ 400 ไมโครลิตร เติมสารละลายกรดซัลฟามิกความเข้มข้น 4 โมลาร์ ในโพแทสเซียมซัลฟามेटที่พีเอช 1.6 (4 M Sulfamic acid / potassium sulfamate solution, pH 1.6) ปริมาตร 40 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วย Vortex เติมสารละลายโซเดียมเตตราโบเรตความเข้มข้น 75 มิลลิโมลาร์ ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (75 mM Sodium tetraborate in sulfuric acid solution) ปริมาตร 2.4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วย Vortex วางหลอดทดลองในอ่างน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิในอ่างน้ำแข็ง เป็นเวลา 10 นาที เติมสารละลายเมตาไฮดรอกซีไดฟีนิลความเข้มข้น 0.15% ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5% (0.15% m-hydroxydiphenyl in 0.5% NaOH) ปริมาตร 80 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วย Vortex และตั้งไว้เป็นเวลา 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer, Genesys 10S UV-Vis Spectrophotometer, Thermo Scientific, USA) คำนวณปริมาณกรดกาแล็กทูโรนิกเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง (%w/w, Dry basis) จากกราฟมาตรฐานของกรดกาแล็กทูโรนิก (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ก)

2.3 การวิเคราะห์ปริมาณเมทานอลและ Degree of methyl esterification (Klavons and Bennett, 1986; Yamazaki *et al.*, 2009)

นำตัวอย่างพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่อยู่ในรูปผงแห้งมาย่อยหมู่เมทิลเอสเตอร์ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นปรับพีเอชเป็น 7.5 ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก และปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตรด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ก่อนนำไปหมวนเหวี่ยงเพื่อตกตะกอนส่วนที่ไม่ละลาย จากนั้นเปิดสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลายเอนไซม์แอลกอฮอล์ออกซิเดส จาก *Pichia pastoris* (Alcohol oxidase, EC 1.1.3.13) แล้วบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 20 นาที เติมสารละลายอะซีติลอะซิโตนในแอมโมเนียมอะซิเตตในกรดแอซีติก (Acetylacetone/ ammonium acetate/ acetic acid) เขย่าให้เข้ากันด้วย Vortex บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ตั้งให้เย็นจนเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer, Genesys 10S UV-Vis Spectrophotometer, Thermo Scientific, USA) คำนวณปริมาณเมทานอลเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง (%w/w, Dry basis) จากกราฟมาตรฐานของเมทานอล และคำนวณหาค่า Degree of methyl esterification (DM) จากสมการ (รายละเอียดการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ก)

$$\text{Degree of methyl esterification (DM)} = \frac{\text{Moles of methanol} \times 100}{\text{Moles of galacturonic acid}}$$

2.4 การวิเคราะห์ค่าสี

วัดค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) ค่าสีเหลือง (b^*) ค่าความเข้มของสี (Chroma; C^*) และค่ามุมของสี (Hue; h^*) ของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวทั้งที่อยู่ในรูปที่ผงแห้ง และสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.5% (w/w) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (CM-3500d, Konika Minolta Sensing, Inc., Japan) แผนภาพของสีในระบบ CIELAB และการตั้งค่าเครื่องมือ Spectrophotometer สำหรับการวัดตัวอย่างแสดงในภาคผนวก ก

2.5 การศึกษาคุณสมบัติด้านการไหล (Flow behavior) ของสารละลาย Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP)

เตรียมสารละลาย OKW และ OKP ที่ความเข้มข้น 0.1 - 0.5% (w/w) โดยละลาย OKW หรือ OKP อย่างช้าๆ ลงในน้ำกลั่นพร้อมกวนด้วยแท่งแม่เหล็กบนเครื่องกวนสาร (Magnetic stirrer, RCT Basic, IKA® WERKE, Malaysia) นาน 1 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ก่อนการวิเคราะห์หน้าตัวอย่างมาตั้งทิ้งไว้จนอุณหภูมิเท่ากับ อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส) จึงนำไปวัดคุณสมบัติด้านการไหลของสารละลาย OKW และ OKP ด้วยเครื่องมือวัดคุณสมบัติทางวิทยากระแส Stress controlled rheometer (Physica MCR 300, Anton Paar, Germany) โดยใช้หัววัดแบบ Cone and plate (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และ ขนาดมุม 1°) วัดพฤติกรรมการไหล (Flow behavior) ของ สารละลายในช่วง Shear rate ($\dot{\gamma}$) ตั้งแต่ $0.01 - 1000 \text{ s}^{-1}$ ควบคุมอุณหภูมิขณะวัดที่ 25 องศาเซลเซียสด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิระบบ Peltier และอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบน้ำวน (Constant temperature circulator, Viscotherm VT2, Anton Paar, Germany) นำข้อมูล Shear rate และ Shear stress ที่ได้ในช่วง Shear rate ระหว่าง $0.1 - 100 \text{ 1/s}$ มาเข้าสมการของ Herschel-Bulkley (สมการที่ 1) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Rheoplus/32 version 3.10 (Anton Paar, Germany) และเปรียบเทียบค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ของแต่ละตัวอย่างที่ Shear rate เท่ากับ 50 s^{-1} (ดัดแปลงจาก Chen *et al.*, 2010) คำนวณค่าความหนืดปรากฏโดยใช้สมการที่ 2 ตัวอย่างการคำนวณค่าความหนืดปรากฏแสดงในภาคผนวก ค

$$\tau = K(\dot{\gamma})^n + \tau_0 \quad (1)$$

$$\text{Apparent viscosity } (\eta_{50}) = \frac{\tau_{50}}{\dot{\gamma}_{50}} \quad (2)$$

- โดย τ = Shear stress (mPa) τ_0 = Yield stress (mPa)
 $\dot{\gamma}$ = Shear rate (s^{-1}) n = Flow behavior index
 K = Flow coefficient (mPa.s^n)
 η_{50} = Apparent viscosity at shear rate of 50 s^{-1} (mPa.s)
 τ_{50} = Shear stress at shear rate of 50 s^{-1} (mPa)
 $\dot{\gamma}_{50}$ = Shear rate of 50 s^{-1}

3. การศึกษาผลของปริมาณ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมลดไขมัน

3.1 การผลิตไอศกรีม

สูตรไอศกรีมแสดงดังตารางที่ 2 โดยไอศกรีมไขมันเต็ม (Full fat; FF) ประกอบด้วยไขมัน 10% โดยน้ำหนัก จากไขมันนม (Anhydrous milk fat, ปริมาณไขมัน 99.9%) เนื้อมันไม่รวมมันเนย (Milk solid not fat; MSNF) 12% จากหางนมผง น้ำตาลทราย 12% ใช้ Mono- and di-glycerides 0.2% เป็นอิมัลซิไฟเออร์ และน้ำสะอาด ไอศกรีมลดไขมัน (Reduced-fat ice cream; RF) ประกอบด้วยไขมัน 5% และไอศกรีมลดไขมัน (RF) ที่เติม OKW หรือ OKP ในปริมาณ 0.2 หรือ 0.4% ส่วนผสมอื่นเท่ากับไอศกรีมไขมันเต็ม และเติมน้ำสะอาดให้ได้ส่วนผสมรวมเท่ากับ 100%

ตารางที่ 2 สูตรไอศกรีมที่ใช้ศึกษาผลของปริมาณ OKW และ OKP ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมลดไขมัน

Treatment	Fat (%w/w)	MSNF (%w/w)	Sucrose (%w/w)	Emulsifier (%w/w)	OKW (%w/w)	OKP (%w/w)	Water (%w/w)	Total solid (%)
FF	10	12	12	0.2	-	-	65.8	34.2
RF	5	12	12	0.2	-	-	70.8	29.2
RF+0.2%OKW	5	12	12	0.2	0.2	-	70.6	29.4
RF+0.4%OKW	5	12	12	0.2	0.4	-	70.4	29.6
RF+0.2%OKP	5	12	12	0.2	-	0.2	70.6	29.4
RF+0.4%OKP	5	12	12	0.2	-	0.4	70.4	29.6

หมายเหตุ FF = Full fat ice cream, RF = Reduced-fat ice cream, MSNF = Milk solid not fat, OKW = Okra cell wall powder, OKP = Water soluble okra polysaccharide powder

ขั้นตอนการผลิตไอศกรีมแสดงดังภาพที่ 12 (ดัดแปลงจาก Goff *et al.*, 1995) โดยเริ่มจากอุ่นน้ำสะอาดในภาชนะให้ได้ 50 องศาเซลเซียสในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นค่อยๆ

เติมวัตถุดิบที่เป็นของแห้ง (หางนมผง น้ำตาลทราย อิมัลซิไฟเออร์ และพอลิแซ็กคาไรด์จาก กระเจียบเขียว) ที่ผสมเข้าด้วยกันแล้ว คนจนส่วนผสมละลายหมดจึงเติมไขมันนม แล้วปั่น ส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องผสมอาหารแบบมือถือ (Hand blender, B-525 MA, 500 Watt, Fagor, Spain) เป็นเวลา 1 นาที โดยใช้ความเร็วต่ำสุด พาสเจอร์ไรซ์ส่วนผสมที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิพร้อมกับกวนส่วนผสมตลอดเวลา นำส่วนผสมที่พาสเจอร์ไรซ์แล้วไปผ่านโฮโมจีไนเซอร์ (Two-stage homogenizer, 15MR-8TA, APV Gaulin, Inc., USA) โดยใช้ความดัน 2500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่วาล์วตัวแรก และ 500 ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว สำหรับวาล์วตัวที่สอง หลังผ่านโฮโมจีไนเซอร์แล้วลดอุณหภูมิส่วนผสมอย่างรวดเร็วใน อ่างน้ำแข็งจนส่วนผสมมีอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียส ปั่นส่วนผสมไอศกรีมเหลว (Ice cream mix) ในตู้เย็น (Refrigerator, SJ D55G GY, Sharp) ที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังปั่นนำไอศกรีมเหลวสุตรละ 1,500 กรัม มาเติมกลิ่นวานิลลาปริมาตร 45 มิลลิลิตร ก่อนนำไปปั่นเยือกแข็งด้วยเครื่องปั่นเยือกแข็งไอศกรีม (Batch Freezer, Model TS2 Professionale, Frigomat, Italy) เป็นเวลา 15 นาที บรรจุไอศกรีมลงในภาชนะพลาสติกกลม ขนาด 110 มิลลิลิตร นำไอศกรีมไปแช่เยือกแข็งในตู้แช่แข็ง (Freezer, SF-C65, Sanyo, ประเทศไทย) ที่อุณหภูมิประมาณ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไอศกรีมที่ได้ไป ตรวจสอบคุณสมบัติด้านต่างๆ

3.2 การตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีม

3.2.1 การวัดคุณสมบัติด้านการไหล (Flow behavior) ของไอศกรีมเหลว (Ice cream mix) หลังการปั่นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ด้วยเครื่องมือวัด คุณสมบัติทางวิทยากระแส Stress controlled rheometer (Physica MCR 300, Anton Paar, Germany) โดยใช้หัววัดแบบ Cone and plate (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และ ขนาดมุมเท่ากับ 1°) วัดพฤติกรรมการไหล (Flow behavior) ในช่วง Shear rate ($\dot{\gamma}$) ตั้งแต่ $0.1 - 1000 \text{ s}^{-1}$ ควบคุมอุณหภูมิขณะวัดที่ 4 องศาเซลเซียสด้วยชุดควบคุมอุณหภูมิระบบ Peltier และ อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบน้ำวน (Constant temperature circulator, Viscotherm VT2, Anton Paar, Germany) นำข้อมูล Shear rate และ Shear stress ที่ได้ในช่วง Shear rate ระหว่าง $0.1 - 100 \text{ s}^{-1}$ มาเข้าสมการของ Herschel-Bulkley (สมการที่ 1) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Rheoplus/32 version 3.10 (Anton Paar, Germany) และเปรียบเทียบค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ของแต่ละตัวอย่างที่ Shear rate เท่ากับ 50 s^{-1} (ดัดแปลงจาก Goff *et al.*,

1995) คำนวณค่าความหนืดปรากฏโดยใช้สมการที่ 2 ตัวอย่างการคำนวณค่าความหนืดปรากฏ
แสดงในภาคผนวก ค

นำน้ำใส่ภาชนะและให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสในอ่างควบคุมอุณหภูมิ



ผสมวัตถุดิบที่เป็นของแข็งเข้าด้วยกัน ค่อยๆ เติมน้ำและคนให้เป็นเนื้อเดียวกัน



เติมไขมันนม



ปั่นของผสมด้วยเครื่องผสมอาหารแบบมือถือใช้ความเร็วต่ำสุดนาน 1 นาที



พาสเจอร์ไรส์ส่วนผสมที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ



นำไปผ่านโฮโมจีไนเซอร์ โดยใช้ความดัน 2500/500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



ลดอุณหภูมิไอศกรีมเหลวในอ่างน้ำแข็งจนมีอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียส



บ่มไอศกรีมเหลวในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



แต่งกลิ่นวานิลลา



ปั่นเยือกแข็งไอศกรีมเหลวด้วยเครื่องปั่นเยือกแข็งไอศกรีมเป็นเวลา 15 นาที



บรรจุไอศกรีมลงในภาชนะพลาสติกกลมขนาด 110 มิลลิเมตร



แช่เยือกแข็งไอศกรีมในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิประมาณ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ภาพที่ 12 ขั้นตอนการผลิตไอศกรีม

3.2.2 การวัดการขึ้นฟูของไอศกรีม (Overrun) โดยชั่งน้ำหนักไอศกรีมเหลวที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้ว บรรจุเต็มในถ้วยพลาสติกบนเครื่องชั่งตวงวัด 2 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักไอศกรีมเหลว (Ice cream mix) และเมื่อปั่นเยือกแข็งไอศกรีมแล้วบรรจุไอศกรีมที่ได้ในถ้วยขนาดเดิมจนเต็ม ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ทำการวัด 3 ซ้ำ นำข้อมูลไปคำนวณค่าร้อยละการขึ้นฟู ดังสมการที่ 3 (Marshall *et al.*, 2003)

$$\text{ร้อยละการขึ้นฟู} = \frac{(\text{น้ำหนักไอศกรีมเหลว} - \text{น้ำหนักไอศกรีม})}{\text{น้ำหนักไอศกรีม}} \times 100 \quad (3)$$

3.2.3 การวัดความแน่นแข็ง (Hardness) หลังจากบรรจุไอศกรีมเต็มถ้วยพลาสติกและทำให้แข็งตัวที่อุณหภูมิ -25 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้ว ย้ายตัวอย่างไอศกรีมมาไว้ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อปรับอุณหภูมิของไอศกรีมให้เท่ากับอุณหภูมิที่ใช้ในการเลิฟไอศกรีม (Marshall *et al.*, 2003) จึงนำตัวอย่างไอศกรีมไปวัดค่าความแน่นแข็งด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer, TA.XTPlus, Stable Micro Systems Ltd., UK) ใช้หัววัดรูปทรงกรวยมุม 45° (Probe เบอร์ P/45C) วัดค่าแรงกดที่กระทำต่อไอศกรีม ขณะบรรจุอยู่ในถ้วย โดย Load cell รับน้ำหนักได้ 25 กิโลกรัม ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัววัดก่อนทดสอบ ขณะทดสอบ และหลังทดสอบอยู่ที่ 2.0, 2.0 และ 2.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ระยะทางที่หัววัดกดลงไปลึก 20 มิลลิเมตร อุณหภูมิของตัวอย่างไอศกรีมหลังวัดค่าความแน่นแข็งอยู่ในช่วง -14 ± 2 องศาเซลเซียส กำหนดค่าความแน่นแข็ง คือ แรงสูงสุดที่หัววัดกดลงไป ในตัวอย่าง (หน่วยเป็นนิวตัน (N)) ทำการวัด 5 ซ้ำ โดยหัววัดกดลงกึ่งกลางของถ้วยไอศกรีม 1 ครั้ง ต่อไอศกรีมแต่ละถ้วย (ดัดแปลงจากจุฑารัตน์, 2549)

3.2.4 การวัดอัตราการละลาย (Melting rate) นำไอศกรีมหลังแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง มาวัดอัตราการละลายที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส) โดยนำไอศกรีมที่ชั่งน้ำหนักเริ่มต้นแล้วออกจากภาชนะพลาสติกอย่างระมัดระวัง วางไอศกรีมบนตะแกรงลวดขนาด 12 mesh ซึ่งรองรับไอศกรีมที่ละลายด้วยถ้วยพลาสติกที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นบันทึกเวลาที่ไอศกรีมละลายจนเกิดหยดแรก (First dripping time) และชั่งน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายลงในถ้วยพลาสติกทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 60 นาที คำนวณร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมที่ละลาย ได้จากน้ำหนักของไอศกรีมที่ละลายทุกๆ 10 นาที เทียบต่อน้ำหนักไอศกรีมเริ่มต้น 100 กรัม ดังสมการที่ 4 ทำการวัด 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้ไปเขียน

กราฟระหว่างร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายกับเวลา (นาที) ความชันของกราฟที่ได้คืออัตราการละลาย (Melting rate) โดยหาความชันในช่วงเวลาระหว่าง 20 - 60 นาที (ดัดแปลงจาก Garcia *et al.*, 1995) ตัวอย่างการคำนวณอัตราการละลายแสดงในภาคผนวก ค

$$\text{ร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมที่ละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักไอศกรีมที่ละลาย}}{\text{น้ำหนักไอศกรีมเริ่มต้น}} \times 100 \quad (4)$$

4. การเปรียบเทียบไอศกรีมลดไขมันที่ใช้ Okra cell wall powder (OKW) หรือ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) เป็นสารทดแทนไขมันกับพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่น

ผลิตไอศกรีมลดไขมันโดยเลือกปริมาณของ OKW และ OKP ที่เหมาะสมจากข้อ 3 ที่ทำให้ไอศกรีมลดไขมันมีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับไอศกรีมไขมันเต็ม แล้วนำสูตรที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับไอศกรีมลดไขมันที่ใช้พอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นในปริมาณเท่ากัน โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้กัวร์กัม (Guar gum) และโลคัสบีนกัม (Locust bean gum) ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่นิยมใช้เป็นสารให้ความคงตัว (Stabilizer) ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

4.1 ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมดังข้อ 3.2

4.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมไขมันเต็มและไอศกรีมลดไขมัน ด้วยวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (Different from control test) (เพ็ญขวัญ, 2550; Meilgaard *et al.*, 2006) โดยใช้ไอศกรีมไขมันเต็มเป็นตัวอย่างควบคุมซึ่งติดรหัส "C" เปรียบเทียบกับไอศกรีมลดไขมันที่ใช้พอลิแซ็กคาไรด์เป็นสารทดแทนไขมันซึ่งติดรหัสด้วยตัวเลขสามหลัก และมีตัวอย่างควบคุมซึ่งติดรหัสด้วยตัวเลขสามหลักเป็นตัวอย่างควบคุมหลอก (Blind control) โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปซึ่งเป็นนิสิตระดับปริญญาตรี โท และเอก สังกัดภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จำนวน 40 คน (ช่วงอายุ 20 - 32 ปี)

ขั้นตอนการทดสอบให้ผู้ทดสอบประเมินตัวอย่าง “C” ก่อน แล้วจึงทดสอบตัวอย่างที่ติดรหัสด้วยตัวเลขสามหลักแบบสุ่มลำดับการลิ้นฟ และผู้ทดสอบให้คะแนนบอกขนาดความแตกต่างของลักษณะที่กำหนดเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมว่า มากกว่า (+) น้อยกว่า (-) หรือไม่แตกต่าง (0) โดยใช้สเกลตั้งแต่ -5 ถึง 5 ลักษณะที่ทำการประเมิน ได้แก่ ความแน่นเนื้อ (Firmness) ความเรียบเนียน (Smoothness) กลิ่นรส (Flavor) ความเคลือบมันในปาก (Mouth coating) และการละลายในปาก (Meltdown) (ดัดแปลงจาก Aime *et al.*, 2001) ตามตัวอย่างแบบทดสอบการเปรียบเทียบความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมในภาคผนวก ง

คำอธิบายลักษณะที่ใช้ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ความแน่นเนื้อ (Firmness) หมายถึง แรงที่ต้องใช้ลิ้นกดไอศกรีมกับเพดานปาก ความเรียบเนียน (Smoothness) หมายถึง การสัมผัสของลิ้นกับอนุภาคต่างๆ หรือ ผลึกน้ำแข็ง กลิ่นรส (Flavor) หมายถึง ความแรงของการรับรู้กลิ่นรสของไอศกรีมอยู่ในปาก ความเคลือบมันในปาก (Mouth coating) หมายถึง ความรู้สึกมีไขมันเคลือบในปาก ขณะรับประทานไอศกรีมจนละลายหมด การละลายในปาก (Meltdown) หมายถึง การละลายของไอศกรีมภายในปากจนเป็นของเหลวทั้งหมด

5. การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองข้อ 2 - 4 (ยกเว้นข้อ 4.2) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 12.0

สำหรับข้อ 4.2 การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) โดยกำหนดให้ผู้ประเมินแต่ละคนเป็น Block วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับความ

เชื่อมั่น 95% ด้วยวิธี Dunnett's test (เพ็ญขวัญ, 2550; Meilgaard *et al.*, 2006) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 12.0



ผลและวิจารณ์

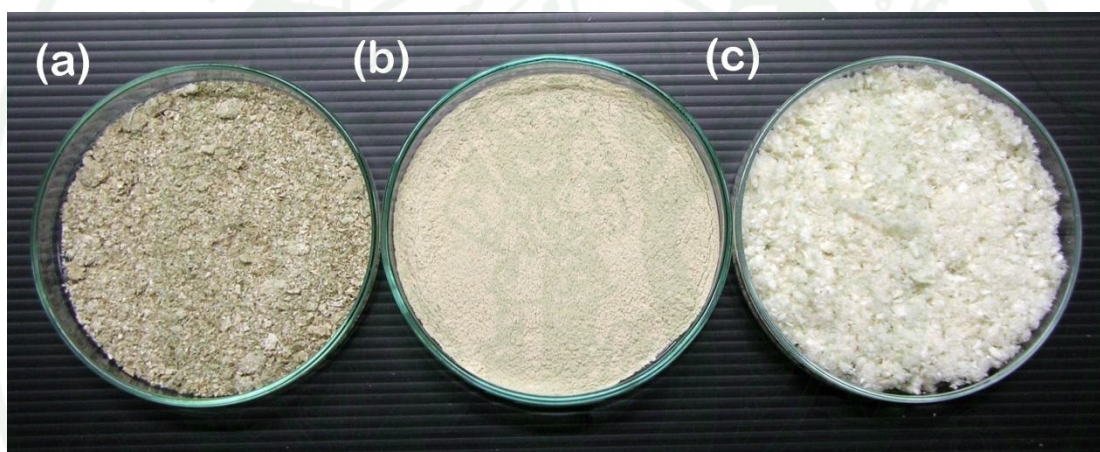
1. การเตรียมของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (Alcohol insoluble solids; AIS) Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP)

กระเจี๊ยบเขียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในงานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือจากบริษัท ทิมฟู้ด จำกัด กระเจี๊ยบเขียวที่ได้มีความยาวฝักประมาณ 9 - 12 เซนติเมตร อายุฝัก 7 วันหลังดอกบาน เนื่องจากฝักกระเจี๊ยบเขียวที่มีอายุ 4 - 8 วัน เป็นช่วงที่พอลิแซ็กคาไรด์มีลักษณะข้นหนืด หรือ Ropiness value มากกว่าฝักที่มีอายุในช่วงอื่นๆ (BeMiller *et al.*, 1993) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ฝักกระเจี๊ยบเขียวที่มีอายุ 7 วันหลังดอกบานมาทำการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ ขั้นตอนการสกัดเริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบ โดยนำกระเจี๊ยบเขียวสด 184.8 กิโลกรัม มาหั่นขั้ว ฝักตามแนวยาว และแยกเมล็ดออก เนื่องจากเมล็ดกระเจี๊ยบเขียวมีปริมาณไขมันค่อนข้างสูง (Ndjouenkeu *et al.*, 1996) ฝักกระเจี๊ยบเขียวที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบสามารถแยกออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) ส่วนเนื้อของฝักกระเจี๊ยบเขียว 100.53 กิโลกรัม คิดเป็น 54.55% ของฝักกระเจี๊ยบเขียวสด 2) เมล็ด 42.64 กิโลกรัม คิดเป็น 23.13% ของฝักกระเจี๊ยบเขียวสด และ 3) ขั้ว 36.81 กิโลกรัม คิดเป็น 19.92% ของฝักกระเจี๊ยบเขียวสด น้ำหนักที่หายไปประมาณ 2.4% อาจเนื่องมาจากการสูญเสียความชื้นในระหว่างการเตรียมตัวอย่าง ส่วนเนื้อของฝักกระเจี๊ยบเขียวเป็นส่วนที่มีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์มากที่สุด และใช้ส่วนนี้ในการเตรียมของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (Alcohol insoluble solids; AIS)

ขั้นตอนการเตรียมของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (AIS) โดยใช้เอทานอลความเข้มข้น 95% ปริมาตร 2 เท่าของน้ำหนักเนื้อฝักกระเจี๊ยบเขียว โดยเอทานอลสามารถกำจัดน้ำออกจากวัตถุดิบ ลดกิจกรรมของเอนไซม์ และกำจัดสารโมเลกุลเล็ก เช่น สี และน้ำตาลออกจากฝักกระเจี๊ยบเขียว (Andersson *et al.*, 2006) หลังจากกรองแยกเอทานอลออกและผึ่งให้แห้งเป็นเวลาประมาณ 12 ชั่วโมง ของแข็งที่ได้คือ AIS ซึ่งมีลักษณะเป็นผงซีลล์ฟิซซึ้นเล็กๆ สีน้ำตาลอ่อน (ภาพที่ 13a)

การศึกษานี้แบ่ง AIS ออกเป็น 2 ส่วน เพื่อศึกษาคุณสมบัติของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่ได้จากวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน โดย AIS ส่วนแรกนำไปลดขนาดด้วยเครื่องบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 mesh เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน ได้เป็น Okra cell wall

powder (OKW) มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลืองอ่อน (ภาพที่ 13b) และ AIS อีกส่วนหนึ่ง นำไปสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยน้ำ พอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้นำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) เรียกส่วนนี้ว่า Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้น้ำในการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวเพื่อต้องการรักษาโครงสร้างดั้งเดิมของพอลิแซ็กคาไรด์ไว้ นอกจากนี้การสกัดด้วยน้ำเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก และปลอดภัยต่อการนำไปใช้ในอาหาร โดย OKP ที่สกัดได้มีลักษณะเป็นปุยสีขาวนวล (ภาพที่ 13c) OKP หากวางทิ้งไว้ให้สัมผัสกับอากาศและความชื้นจะสามารถดูดความชื้นกลับได้ง่ายและเกิดการเกาะตัวกันเป็นก้อน จึงเก็บรักษาโดยการบรรจุในถุงพลาสติกลามิเนตที่ฉาบด้วยอะลูมิเนียม และเก็บในโถแก้วดูดความชื้น (Desiccator)



ภาพที่ 13 ลักษณะปรากฏของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (Alcohol insoluble solids; AIS) (a), Okra cell wall powder (OKW) (b) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) (c)

จากขั้นตอนการเตรียม AIS ข้างต้น โดยใช้ฝักกระเจี๊ยบเขียวสดเริ่มต้น 184.8 กิโลกรัม มีปริมาณผลได้ (Yield) ของ AIS เท่ากับ 6.99 กิโลกรัม คิดเป็น 3.78% เทียบกับน้ำหนักฝักกระเจี๊ยบเขียวสด เมื่อแบ่ง AIS ประมาณ 400 กรัม มาลดขนาดด้วยเครื่องบดและร่อนผ่านตะแกรง ได้เป็น OKW ประมาณ 285 กรัม คิดเป็นปริมาณผลได้เท่ากับ 71.46% เมื่อเทียบกับน้ำหนัก AIS หรือเท่ากับ 2.70% เมื่อเทียบกับน้ำหนักฝักกระเจี๊ยบเขียวสด สังเกตเห็นว่าขั้นตอนการเตรียม OKW จาก AIS มีการสูญเสียของ AIS ประมาณ 1.08% โดยการสูญเสียอาจเกิดระหว่างขั้นตอนการลดขนาด และการร่อนผ่านตะแกรง

การเตรียม OKP โดยแบ่ง AIS ปริมาณ 2,460 กรัม มาสกัดด้วยน้ำ และทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะได้ OKP เท่ากับ 479 กรัม คิดเป็นปริมาณผลได้เท่ากับ 19.47% เมื่อเทียบกับน้ำหนัก AIS หรือคิดเป็น 0.74% เทียบกับน้ำหนักผักกระเจี๊ยบเขียวสด (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ปริมาณผลได้ (Yield) ของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (AIS), Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide (OKP)

ตัวอย่าง	ปริมาณผลได้เทียบกับ AIS (%)	ปริมาณผลได้เทียบกับน้ำหนักผักกระเจี๊ยบเขียวสด (%)
AIS	100.0	3.78
OKW	71.46	2.70
OKP	19.47	0.74

การเปรียบเทียบปริมาณผลได้ของ AIS และ OKP ของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นแสดงดังตารางที่ 4 พบว่าปริมาณผลได้ของ OKP จากการงานวิจัยนี้ใกล้เคียงกับการศึกษาของ วชิราภรณ์ (2549) ซึ่งใช้เอทานอลร่วมกับคลอโรฟอร์มและเมทานอลที่อัตราส่วน 1:1 ในขั้นตอนการเตรียม AIS จากนั้นนำ AIS ที่ได้ไปสกัด OKP ด้วยน้ำปริมาตร 10 เท่าของน้ำหนัก AIS และทำการสกัดซ้ำด้วยน้ำอีกครั้ง พบว่ามีปริมาณผลได้ของ OKP ในรูปผงแห้งที่สกัดด้วยน้ำครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 เท่ากับ 0.77% และ 0.16% ตามลำดับ และมีปริมาณผลได้รวม 2 ครั้งเท่ากับ 0.93% เทียบกับน้ำหนักผักกระเจี๊ยบเขียวสด จะเห็นได้ว่าการสกัด OKP ด้วยน้ำครั้งที่ 1 มีปริมาณผลได้ใกล้เคียงกับการทดลองนี้ แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของอรุณญา (2554) และ Sengkhampan et al. (2009) พบว่าปริมาณผลได้ของ AIS เท่ากับ 5.3% และ 5.8% เทียบกับน้ำหนักผักกระเจี๊ยบเขียวสดตามลำดับ และมีปริมาณผลได้ของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่สกัดด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พีเอช 5.2 (Hot buffer soluble solids; HBSS) เท่ากับ 0.96% และ 0.65% เทียบกับน้ำหนักผักกระเจี๊ยบเขียวสด หรือ 17.96% และ 11.2% เทียบกับน้ำหนัก AIS ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ปริมาณผลได้ (Yield) ของของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (AIS) และพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว (Okra polysaccharide; OKP) เปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ใกล้เคียงกัน

งานวิจัย	สภาวะที่ใช้สกัด OKP	อัตราส่วน AIS ต่อ สารละลาย	ปริมาณผลได้ ของ AIS เทียบกับน้ำหนัก ผักสด (%)	ปริมาณผลได้ ของ OKP เทียบกับ น้ำหนัก AIS (%)	ปริมาณผลได้ ของ OKP เทียบกับ น้ำหนักผักสด (%)
งานปัจจุบัน	น้ำกลั่น, 70 °C	1: 80	3.78	19.47	0.74
วชิราภรณ์ (2549) ^A	น้ำ, อุณหภูมิห้อง	1: 10	NA	NA	0.93
อรัญญา (2554) ^B	Acetate buffer, pH 5.2, 70 °C	1: 10	5.33	17.96	0.96
Sengkhampan et al. (2009) ^C	Acetate buffer, pH 5.2, 70 °C	1: 30	5.8	11.2	0.65

หมายเหตุ NA หมายถึง ไม่ปรากฏข้อมูล (Not available)

^A หมายถึง งานวิจัยดังกล่าวสกัด OKP จาก AIS โดยใช้ น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง อัตราส่วน AIS: น้ำ เท่ากับ 1:10 และสกัดซ้ำ 2 ครั้ง

^B หมายถึง งานวิจัยดังกล่าวสกัด OKP จาก AIS โดยใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตต บัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ พีเอช 5.2 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง อัตราส่วน AIS: บัฟเฟอร์ เท่ากับ 1: 10

^C หมายถึง งานวิจัยดังกล่าวสกัด OKP จาก AIS โดยใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตต บัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ พีเอช 5.2 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง อัตราส่วน AIS: บัฟเฟอร์ เท่ากับ 1: 30

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณผลได้กับงานวิจัยในต่างประเทศพบว่ามีปริมาณผลได้แตกต่างจากการทดลองนี้ โดยจากงานวิจัยของ Woolfe et al. (1977) ทำการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวด้วยน้ำและตกตะกอนด้วยเอทานอล มีปริมาณผลได้ของพอลิแซ็กคาไรด์ในรูปผงแห้ง เท่ากับ 1.6% ของน้ำหนักผักสด ใน ค.ศ. 1980 Tomoda et al. สกัดพอลิแซ็กคาไรด์จาก

กระเจี๊ยบเขียวด้วยน้ำและตกตะกอนด้วยเอทานอล ในขั้นตอนนี้มีปริมาณผลได้ของ Crude mucilage เท่ากับ 0.35% ขณะที่ Lengsfeld *et al.* (2004) ซึ่งทำการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวด้วยน้ำ แล้วทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยไม่ผ่านขั้นตอนการตกตะกอนด้วยเอทานอล มีปริมาณผลได้เท่ากับ 1.9% ของน้ำหนักผักสด Sharma *et al.* (2013) สกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวด้วยน้ำและตกตะกอนด้วยอะซิโตน มีปริมาณผลได้เท่ากับ 0.24% ของน้ำหนักผักกระเจี๊ยบเขียวสด

จากงานวิจัยที่รวบรวมไว้ข้างต้นชี้ให้เห็นว่าปริมาณผลได้ของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวมีค่าแตกต่างกัน โดยขึ้นกับขั้นตอนการสกัด สารที่ใช้ในการสกัด และขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ นอกจากนี้ปริมาณของพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้ยังขึ้นกับสายพันธุ์ของกระเจี๊ยบเขียวด้วย (Bhat and Tharanathan, 1986)

2. องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP)

2.1 องค์ประกอบทางเคมี

Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) เมื่อสกัดและเตรียมเป็นรูปผงแห้งแล้ว มีองค์ประกอบทางเคมีคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเปียก (%w/w, Wet basis) ดังนี้ OKW มีความชื้น 9.34% โปรตีน 18.25% ไขมัน 0.09% เส้นใย 14.72% เถ้า 7.83% และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ทั้งหมด 49.78% ขณะที่ OKP มีความชื้น 11.12% โปรตีน 10.29% ไขมัน 0.24% เส้นใย 0.11% เถ้า 13.70% และคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ทั้งหมด 64.54% แสดงดังตารางที่ 5 สังเกตเห็นว่าโปรตีนและเส้นใยจะมีปริมาณลดลงระหว่างขั้นตอนการเตรียม OKP ด้วยการนำ AIS ไปสกัดด้วยน้ำ

จากการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldhal แล้วคำนวณเป็นปริมาณโปรตีนโดยใช้ Conversion factor เท่ากับ 6.25 พบว่า OKW มีปริมาณโปรตีนมากกว่า OKP (18.25% และ 10.29% ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 5) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Sengkhampan *et al.* (2009) ที่รายงานว่า AIS มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 15.8% และพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่สกัดด้วยบัฟเฟอร์วีรอน (HBSS) มีปริมาณโปรตีนลดลงเหลือ 3.5% จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่า

OKP ที่สกัดได้จาก AIS มีปริมาณโปรตีนน้อยกว่า OKW ซึ่งได้จากการนำ AIS มาผ่านการลดขนาดเท่านั้น จึงอาจมีความเป็นไปได้ว่าโปรตีนบางส่วนจับอยู่กับส่วนของผนังเซลล์ และถูกกำจัดออกไปในขั้นตอนการสกัด ส่วนปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ใน OKP อาจเป็นส่วนของโปรตีนที่จับอยู่กับสายพอลิแซ็กคาไรด์ สอดคล้องกับ Woolfe *et al.* (1977) ซึ่งวิเคราะห์พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวด้วยเทคนิคทางเคมี Gel chromatography และ Electrophoresis แล้วพบว่าโปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวอาจเกิดอันตรกิริยาที่แน่นหนาต่อกัน

การคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble carbohydrate) จากการหักลบองค์ประกอบอื่นๆ จากตารางที่ 5 พบว่า OKP มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดมากกว่า OKW (64.54% และ 49.78% ตามลำดับ) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Sengkhampan *et al.* (2009) ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (Total carbohydrate) ด้วยวิธี Orcinol/ sulfuric acid โดยใช้กาแล็กโทสเป็นสารมาตรฐาน พบว่าพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่สกัดด้วยบัฟเฟอร์ร้อน (HBSS) มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดมากกว่าส่วนของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (AIS) (90% และ 57.5% ตามลำดับ) และเมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย (Crude fiber) ที่ได้จากส่วนที่เหลือจากการย่อยตัวอย่างพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยกรดและด่างร้อน จากตารางที่ 5 พบว่า OKW มีปริมาณเส้นใยมากกว่า OKP ถึง 133 เท่า โดยเส้นใยที่พบใน OKW อาจเป็นส่วนของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Sengkhampan *et al.* (2009) ที่ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำตาลใน AIS ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี Gas chromatography พบว่า AIS ประกอบไปด้วยพอลิแซ็กคาไรด์หลายชนิด ได้แก่ เพกทิน เฮมิเซลลูโลส เช่น ไสเลน และ ไสโลกูแคน และเซลลูโลส จะเห็นได้ว่า OKW และ OKP ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีองค์ประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์ต่างกัน โดย OKW ประกอบด้วยเพกทินทั้งที่ละลายและไม่ละลายน้ำ เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส ขณะที่ OKP ประกอบด้วย เพกทินที่ละลายน้ำได้เท่านั้น

ปริมาณเถ้าแสดงถึงปริมาณของสารอนินทรีย์ (Inorganics) ซึ่งได้แก่แร่ธาตุต่างๆ จากตารางที่ 5 พบว่าปริมาณเถ้าของ OKW และ OKP มีปริมาณ เท่ากับ 7.83% และ 13.70% ตามลำดับ โดยสุขสันต์ (2550) ได้รายงานปริมาณแร่ธาตุต่างๆ จากการวิเคราะห์กระเจี๊ยบเขียวฝักสดในส่วนที่บริโภคได้ พบว่าแร่ธาตุในกระเจี๊ยบเขียวประกอบด้วยโพแทสเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก ขณะที่ Woolfe *et al.* (1977) ได้ทำการสกัดเมือก (Mucilage) จากกระเจี๊ยบเขียวด้วยน้ำ และนำเมือกกระเจี๊ยบเขียวไปผ่านกระบวนการไดอะไลซิส (Dialysis) พบว่า

ปริมาณเถ้าซึ่งแสดงถึงปริมาณแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว ลดลงเพียงเล็กน้อยจาก 5.95% เหลือ 4.81% โดยน้ำหนักเปียก แร่ธาตุที่ Woolfe *et al.* (1977) ทำการศึกษา ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส แสดงให้เห็นว่าไอออน เหล่านี้อาจจับอยู่กับหมู่ที่เป็นกรดบนสายพอลิแซ็กคาไรด์ ทั้งนี้ทางผู้วิจัยได้ส่งตัวอย่าง OKW และ OKP ไปวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อยืนยันปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์ได้จาก งานวิจัยนี้ พบว่าได้ผลใกล้เคียงกัน (ผลการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%w/w, Wet basis) ¹	
	OKW	OKP
ความชื้น	9.34 ^a ± 0.12	11.12 ^b ± 0.17
โปรตีน	18.25 ^b ± 0.26	10.29 ^a ± 0.17
ไขมัน	0.09 ^a ± 0.03	0.24 ^b ± 0.08
เส้นใย	14.72 ^b ± 0.41	0.11 ^a ± 0.02
เถ้า	7.83 ^a ± 0.04	13.70 ^b ± 0.06
คาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ทั้งหมด ²	49.78	64.54

หมายเหตุ ¹ หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

² ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble carbohydrate)

เท่ากับ 100 - (% ขององค์ประกอบอื่น)

a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณกรดกาแล็กทูโรนิกซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีหมู่แสดงความเป็นกรด (Sugar acid) ที่อยู่บนโครงสร้างหลักของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวที่สกัดด้วยน้ำ (Tomoda *et al.*, 1980) จากตารางที่ 6 พบว่า OKW และ OKP มีปริมาณกรดกาแล็กทูโรนิกคิดเป็น % โดยคำนวณเทียบกับน้ำหนัก AIS 100 กรัม มีค่าเป็น 27.62% และ 7.53% ตามลำดับ ซึ่ง

OKW มีปริมาณกรดกาแล็กทูโรนิกมากกว่า OKP ถึง 3.7 เท่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sengkhampan *et al.* (2009) ที่รายงานว่า AIS มีปริมาณกรดกาแล็กทูโรนิกมากกว่า HBSS ถึง 3.5 เท่า (14% และ 4% ตามลำดับ)

ค่า Degree of methyl esterification สามารถคำนวณได้จากสัดส่วนโมลของเมทานอลต่อกรดกาแล็กทูโรนิก ซึ่งปริมาณเมทานอลสามารถหาได้จากการวิเคราะห์ปริมาณเมทานอลโดยใช้เอนไซม์ Alcohol oxidase ตามวิธีของ Klavons and Bennett (1986) พบว่าทั้ง OKW และ OKP มีปริมาณเมทานอลต่ำ 1.60% และ 0.52% ตามลำดับ (ไม่แสดงข้อมูล) และมีค่า Degree of methyl esterification ต่ำเช่นกัน โดย OKW และ OKP มีค่า Degree of methyl esterification เท่ากับ 25.00% และ 7.98% ตามลำดับ (ตารางที่ 6) แสดงให้เห็นว่าหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ของกรดกาแล็กทูโรนิกบนโครงสร้างหลักของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวทั้งสองชนิดถูกแทนที่ด้วยหมู่เมทิล (-CH₃) เป็นเมทิลเอสเทอร์ (-COOCH₃) ค่อนข้างน้อย สอดคล้องกับผลการทดลองของ วชิราภรณ์ (2549) ที่รายงานว่า OKP มีปริมาณเมทอกซิล และค่า Degree of methyl esterification ต่ำ (0.2% และ 4.73% ตามลำดับ) ขณะที่ Sengkhampan *et al.* (2009) รายงานค่า Degree of methyl esterification ของ AIS และ HBSS ซึ่งวิเคราะห์โดย High performance liquid chromatography เท่ากับ 59% และ 24% ตามลำดับ เพกทินทางการค้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ (Low-methoxylated pectin) มีค่า Degree of methyl esterification อยู่ในช่วง 20 - 45% ขณะที่เพกทินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลสูง (High-methoxylated pectin) มีค่า Degree of methyl esterification อยู่ในช่วง 55 - 75% (Schols and Voragen, 2002) ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่าตัวอย่างที่ใช้ในการสกัด ขั้นตอนที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง สารละลายและสภาวะที่ใช้ในการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ และวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบที่แตกต่างกัน อาจทำให้ค่าต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้มีความแตกต่างกัน

การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวด้วยตัวทำละลายต่างกัน และสภาวะที่ใช้ในการสกัดต่างกัน มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของพอลิแซ็กคาไรด์ โดยพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำ มีอัตราส่วนของน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ กรดกาแล็กทูโรนิก: กาแล็กโทส: แรมโนส เท่ากับ 1.3: 1.0: 0.1 มีโปรตีน 7.31% และละลายน้ำได้ดี (Woolfe *et al.*, 1977) หากสกัดด้วยบัฟเฟอร์รอนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พีเอช 7.2 อัตราส่วนของน้ำตาลจะเปลี่ยนเป็น 1.3: 1.3: 1.0 (Sengkhampan *et al.*, 2009) ส่วนพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ มีอัตราส่วนของกรดกาแล็กทูโรนิก: กาแล็กโทส:

แรมโนส เท่ากับ 0.4: 1.0: 0.4 มีปริมาณโปรตีน 1.6% ซึ่งน้อยกว่าพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดด้วยน้ำ และมีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อย แต่ละลายได้ดีในสารละลายโซเดียมบอโรไฮไดรด์ ความเข้มข้น 1% (Bhat and Tharanathan, 1986) จากผลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยน้ำ อาจเกิดการสูญเสียน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบหลักค่อนข้างน้อย และได้พอลิแซ็กคาไรด์ที่สามารถละลายได้ดีในน้ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร และมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคมากกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายอื่น

ตารางที่ 6 ปริมาณกรดกรดกาแล็กทูโรนิก และ Degree of methyl esterification ของ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ กรัม/100 กรัม ของ AIS	
	OKW	OKP
กรดกาแล็กทูโรนิก	27.62 (38.65) ¹	7.53 (38.69)
Degree of methyl esterification ²	25.00	7.98

หมายเหตุ ¹ ค่าในวงเล็บ หมายถึง ค่าเฉลี่ย เป็น กรัม/100 กรัม ของตัวอย่าง

² หมายถึง (Moles of methanol/Moles of galacturonic acid) x 100

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

2.2.1 ค่าสี

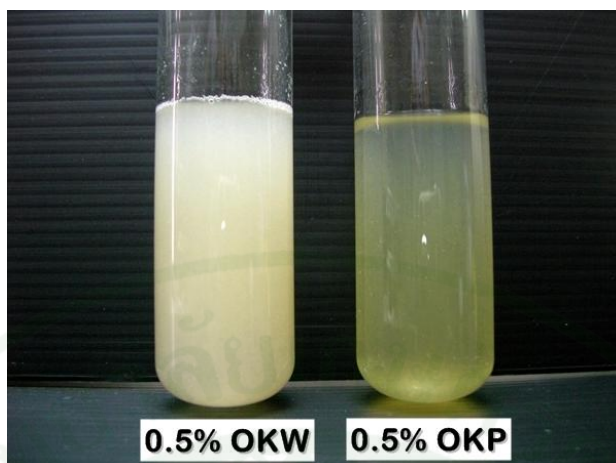
วิเคราะห์ค่าสีของ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ทั้งในรูปผงแห้งและในรูปสารละลายที่ความเข้มข้น 0.5% โดยใช้เครื่องวัดสี (Spectrophotometer, CM-3500d, Konika Minolta Sensing, Inc., Japan) ค่าที่ทำการวิเคราะห์ใช้ระบบ CIELAB ได้แก่ ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง - เขียว (a*) ค่าสีเหลือง - น้ำเงิน (b*) ค่าความเข้มของสี (C*) และค่ามุมสี (h*) แผนภาพของสีในระบบ CIELAB แสดงดังภาพผนวกที่ ก3

จากภาพที่ 13 และตารางที่ 7 ทั้ง OKW และ OKP ในรูปผงแห้งมีสีค่อนข้างไปทางสีเหลืองอ่อน พิจารณาจากค่าความสว่าง (L^*) ของ OKW และ OKP มีค่า 83.22 และ 85.34 ตามลำดับ แสดงว่า OKW และ OKP ในรูปผงแห้งมีสีอ่อนเกือบขาว ค่า b^* มีค่า (+) และค่า h^* ซึ่งบอกมุมของสี มีค่าเข้าใกล้มุม 90° แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างทั้งสองชนิดมีสีโทนเหลือง

เมื่อนำ OKW และ OKP มาละลายน้ำที่ความเข้มข้น 0.5% (w/w) แล้วนำไปวิเคราะห์ค่าสี พบว่าสารละลายทั้ง 2 ชนิดมีค่าความสว่าง (L^*) ลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างในรูปผงแห้ง แสดงว่าเมื่อตัวอย่างถูกเจือจางด้วยน้ำแล้วมีความสว่างน้อยกว่าตัวอย่างในรูปผงแห้ง ตัวอย่าง OKW และ OKP เมื่อละลายน้ำสารละลายจะมีลักษณะขุ่น และตัวอย่าง OKW มีส่วนของผนังเซลล์หรือเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำแขวนลอยอยู่ในสารละลายด้วย สังเกตได้จากภาพที่ 14 สารละลายทั้งสองชนิดมีสีโทนเหลืองผสมเขียว ซึ่งพิจารณาจากค่า a^* ที่มีค่า (-) และจากค่ามุมของสี (h^*) มีค่าอยู่ระหว่างมุม 90° และ 180° บ่งบอกว่าสีของสารละลาย OKW และ OKP มีสีผสมระหว่างสีเหลืองและสีเขียว แต่มีค่าความเข้มของสี (C^*) น้อยกว่าตัวอย่างในรูปผงแห้ง จากลักษณะปรากฏด้านสีของ OKW และ OKP แสดงให้เห็นว่า OKW และ OKP สามารถนำไปใช้ได้ทั้งในผลิตภัณฑ์ที่มีสีอ่อนแต่มีลักษณะขุ่น ไปจนถึงผลิตภัณฑ์ที่มีสีเข้ม เช่น ผลิตภัณฑ์นม หรือผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เป็นต้น

ตารางที่ 7 ค่าสีของ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ทั้งในรูปที่ผงแห้ง และสารละลายที่ความเข้มข้น 0.5% (w/w)

ค่าสี	ผงแห้ง		สารละลายความเข้มข้น 0.5% (w/w)	
	OKW	OKP	OKW	OKP
L^*	83.22 ± 0.16	85.34 ± 0.27	39.12 ± 0.48	29.46 ± 0.05
a^*	0.10 ± 0.01	-0.70 ± 0.02	-1.31 ± 0.12	-0.76 ± 0.06
b^*	12.46 ± 0.06	13.64 ± 0.23	1.38 ± 0.25	0.62 ± 0.12
C^*	12.46 ± 0.06	13.66 ± 0.23	1.91 ± 0.22	0.98 ± 0.11
h^*	89.55 ± 0.05	92.92 ± 0.09	133.92 ± 5.13	141.27 ± 3.88



ภาพที่ 14 ลักษณะปรากฏของสารละลาย Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ความเข้มข้น 0.5% (w/w)

2.2.2 คุณสมบัติด้านการไหล (Flow behavior) ของสารละลาย Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP)

จากการศึกษาคุณสมบัติด้านการไหล (Flow behavior) ของสารละลาย OKW และ OKP ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.1 - 0.5% (w/w) ด้วยเครื่องมือวัดคุณสมบัติทางวิทยา-กระแส (Stress controlled rheometer, Physica MCR 300, Anton Paar, Germany) โดยใช้หัววัดแบบ Cone and plate วัดพฤติกรรมการไหล (Flow behavior) ของสารละลายในช่วงอัตราเฉือน (Shear rate) ตั้งแต่ $0.1 - 1000 \text{ s}^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือน (Flow curve) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืด (Viscosity curve) ของสารละลาย OKW แสดงดังภาพที่ 15 และภาพที่ 16 และของสารละลาย OKP แสดงดังภาพที่ 17 และภาพที่ 18 ตามลำดับ พบว่าความหนืดของสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวทั้ง 2 ชนิดขึ้นกับอัตราเฉือน และเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้นทำให้ความหนืดของสารละลายมีค่าลดลง แสดงว่าสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวทั้งสองชนิดมีพฤติกรรมการไหลแบบนอนนิวตันเนียน (Non-Newtonian) การที่สารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวมีความหนืดเมื่อกระจายตัวอยู่ในน้ำอาจเนื่องมาจากพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวมีลักษณะเป็น Disordered polysaccharide coils เมื่ออยู่ในน้ำสายของพอลิแซ็กคาไรด์จะขยาย (Expand) ตัวออกด้วยแรงผลักระหว่างประจุภายในโมเลกุล (Intramolecular electrostatic repulsion) (Ndjouenkeu *et al.*, 1996) ทำให้โครงสร้างมีแรงเสียดทานภายใน

(Internal friction) เมื่อมีแรงมากระทำทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของสารละลายทำให้เกิดแรงต้านทานการไหล ซึ่งสามารถวิเคราะห์ออกมาเป็นค่าความหนืดได้ (Glicksman, 1982)

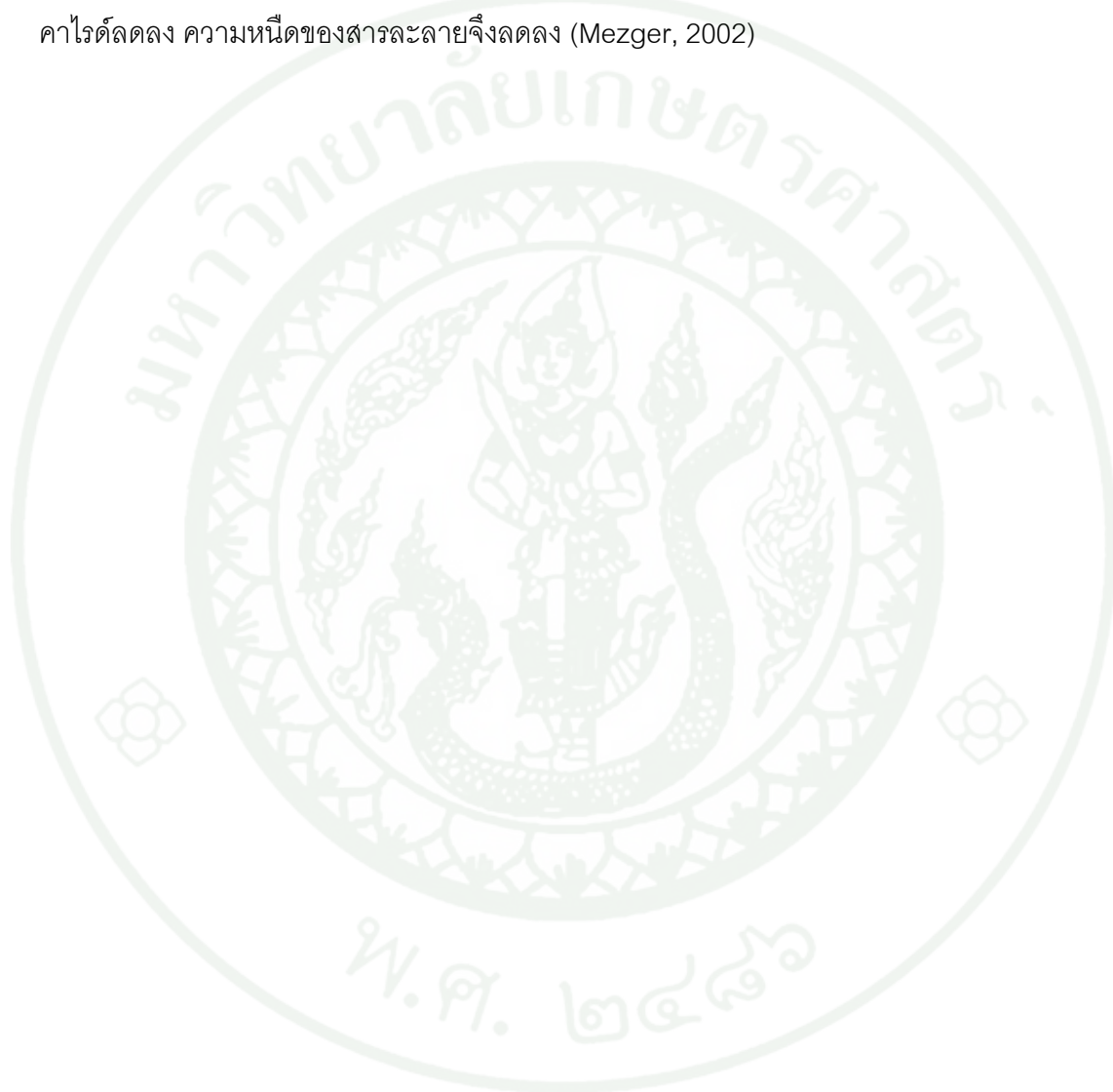
เมื่อนำข้อมูลระหว่างความเค้นเฉือน (Shear stress) และอัตราเฉือน (Shear rate) มาหาความสัมพันธ์โดยใช้สมการ Hershel-Bulkley ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Rheoplus/32 version 3.10 (Anton Paar, Germany) โดยสมการ Hershel-Bulkley มีตัวแปรต่างๆ ดังนี้

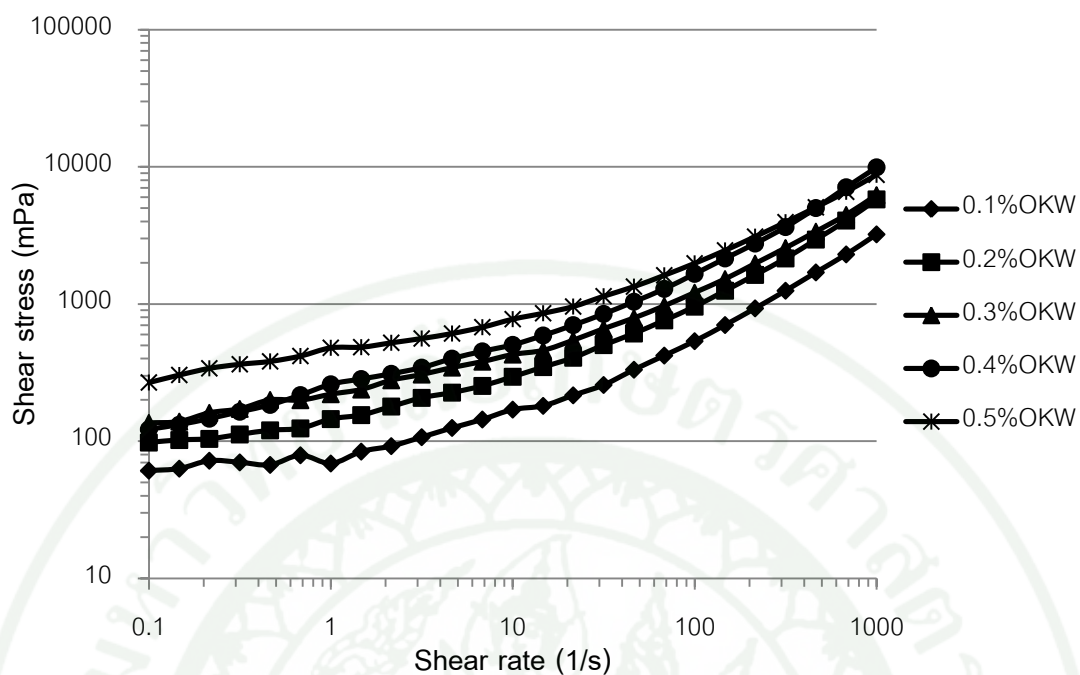
$$\tau = K(\dot{\gamma})^n + \tau_0$$

โดย τ	= Shear stress (mPa)	τ_0	= Yield stress (mPa)
$\dot{\gamma}$	= Shear rate (s ⁻¹)	n	= Flow behavior index
K	= Flow coefficient (mPa.s ⁿ)		

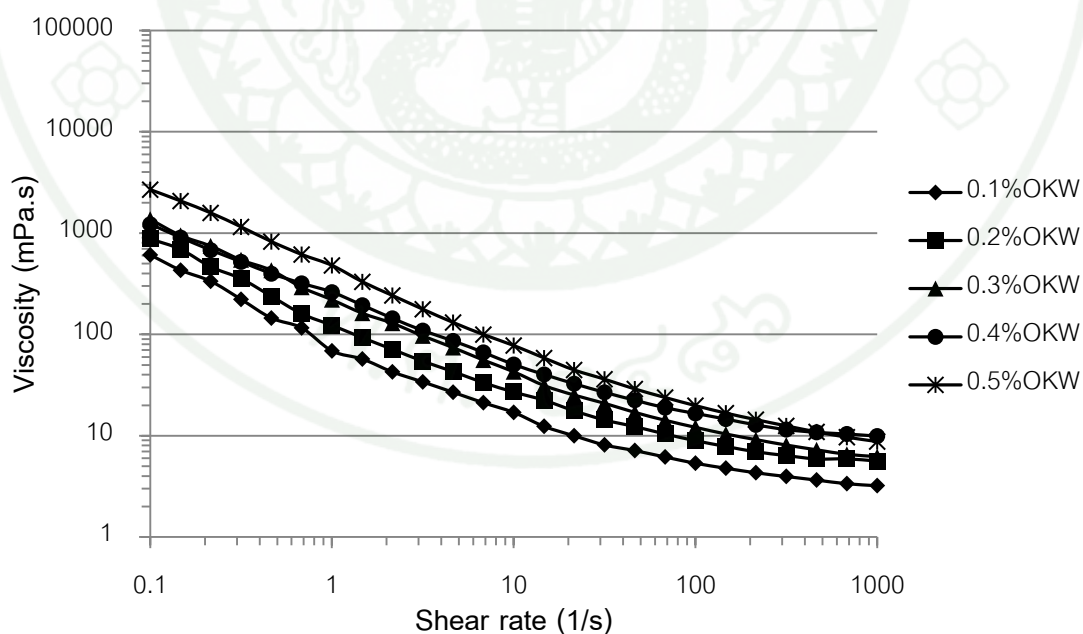
ค่า Yield stress หมายถึงค่าความเค้นเฉือนที่ทำให้ของไหลเริ่มไหล ค่า Flow behavior index หรือค่า n บ่งบอกพฤติกรรมของของไหลเมื่อเริ่มไหล และค่า Flow coefficient หรือค่า K หมายถึงค่าความหนืดของตัวอย่างที่อัตราเฉือนเท่ากับ 1 s⁻¹ เมื่อนำข้อมูลในช่วงอัตราเฉือนระหว่าง 0.1 - 100 s⁻¹ แทนค่าในสมการ Hershel-Bulkley พบว่าสมการที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination) หรือ ค่า R-Square อยู่ในช่วง 0.98 - 0.99 (ไม่แสดงข้อมูล) R-Square มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า สมการ Hershel-Bulkley มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้อธิบายพฤติกรรมการไหลของสารละลาย OKW และ OKP ในช่วงความเข้มข้นที่ทำการศึกษา (0.1 - 0.5%) จากตารางที่ 8 ค่า Flow behavior index (n) มีค่ามากกว่า 0 แต่น้อยกว่า 1 ($0 < n < 1$) แสดงว่าเมื่อเพิ่มอัตราเฉือนให้สารละลายของ OKW และ OKP จะทำให้ความหนืดของสารละลายมีค่าลดลง และค่า Yield stress, Flow coefficient และค่าความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือน 50 s⁻¹ (Apparent viscosity, η_{50}) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ OKW และ OKP เพิ่มขึ้น แสดงว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายต้องใช้แรงมากขึ้นเพื่อทำให้สารละลายเริ่มไหล และสารละลายจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีความเข้มข้นต่ำโมเลกุลจะอยู่กันอย่างไม่เป็นระเบียบ (Disordered conformation) และอยู่ในรูป Random coil เกิดอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์ได้ยากทำให้ความหนืดต่ำ แต่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น โอกาสที่โมเลกุลสามารถเกิดการทับซ้อนกันมีมากขึ้น จึงเกิดอันตรกิริยากันระหว่างพอลิเมอร์ (Intermolecular interaction) และภายในพอลิเมอร์ (Intramolecular interaction) ด้วย

พันธะไฮโดรเจน เกิดจุดเชื่อม (Junction zone) ได้มากขึ้น และเกิดโครงสร้างร่างแหที่ทำให้สามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากขึ้น สารละลายจึงมีความหนืดเพิ่มขึ้น (Morris, 1990) แต่ Flow behavior index (n) ของสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้น หมายความว่าความหนืดของสารละลายจะลดลงเร็วขึ้นเมื่อเพิ่มแรงเฉือน เนื่องจากสายพอลิแซ็กคาไรด์จะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ตามแนวแรงที่ให้ ทำให้แรงอันตรกิริยาระหว่างสายของพอลิแซ็กคาไรด์ลดลง ความหนืดของสารละลายจึงลดลง (Mezger, 2002)

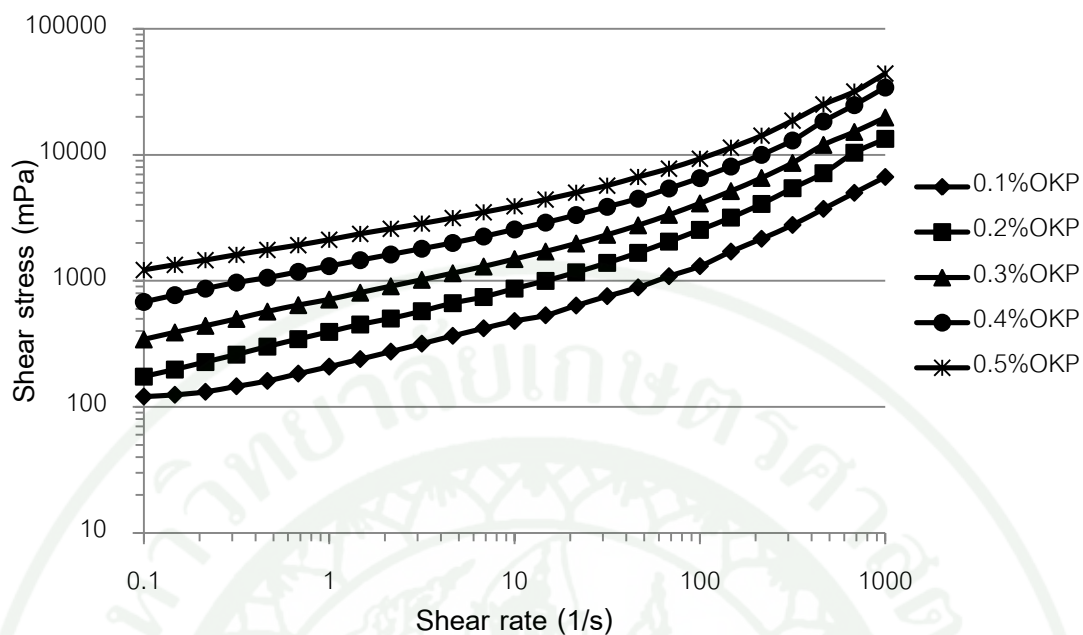




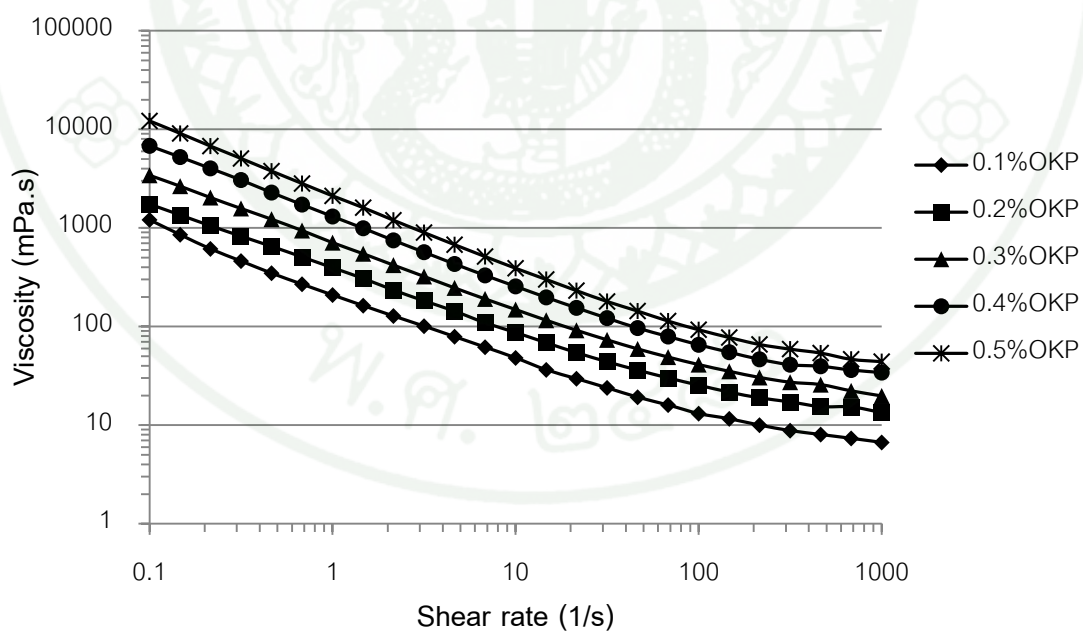
ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือน (Flow curve) ของสารละลาย Okra cell wall powder (OKW) ที่ความเข้มข้น 0.1 - 0.5% (w/w)



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืด (Viscosity curve) ของสารละลาย Okra cell wall powder (OKW) ที่ความเข้มข้น 0.1 - 0.5% (w/w)



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความเค้นเฉือน (Flow curve) ของสารละลาย Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ที่ความเข้มข้น 0.1 - 0.5% (w/w)



ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือนกับความหนืด (Viscosity curve) ของสารละลาย Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ที่ความเข้มข้น 0.1 - 0.5% (w/w)

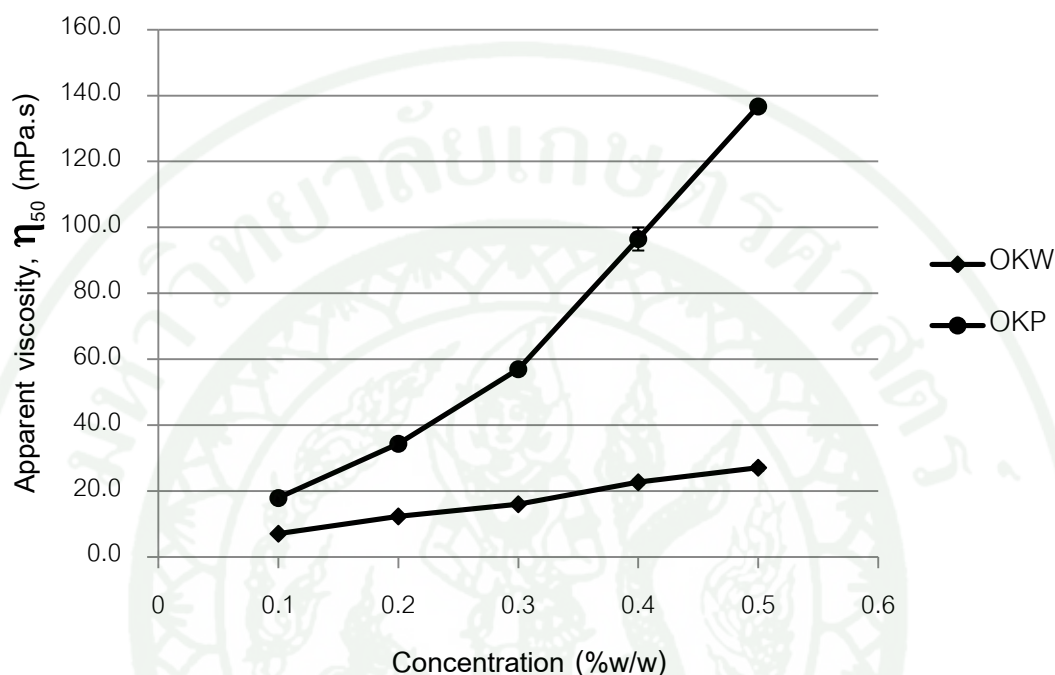
ตารางที่ 8 คุณสมบัติด้านการไหล (Flow behavior) ของสารละลาย Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ที่ความเข้มข้น 0.1 - 0.5% (w/w)

Type	Conc. (%w/w)	Yield stress, τ_0 (mPa)	Flow coefficient, K (mPa.s ⁿ)	Flow behavior index, n	Apparent viscosity, η_{50} (mPa.s)
OKW	0.1	32.45 ^a ± 6.87	24.04 ^a ± 8.86	0.6728 ^d ± 0.7661	7.12 ^a ± 0.33
	0.2	84.84 ^{ab} ± 2.47	48.53 ^{ab} ± 12.20	0.6168 ^d ± 0.0495	12.37 ^b ± 0.59
	0.3	108.31 ^b ± 2.65	100.04 ^{bc} ± 8.45	0.4959 ^c ± 0.0135	16.07 ^c ± 0.49
	0.4	114.19 ^b ± 4.68	161.78 ^c ± 9.93	0.4714 ^{abc} ± 0.0075	22.73 ^d ± 0.75
	0.5	242.63 ^c ± 18.11	164.28 ^c ± 6.67	0.4895 ^{bc} ± 0.0133	27.14 ^e ± 0.88
OKP	0.1	63.43 ^{ab} ± 6.61	130.65 ^c ± 13.93	0.4742 ^{abc} ± 0.0114	17.94 ^c ± 1.16
	0.2	86.22 ^{ab} ± 10.38	279.38 ^d ± 26.90	0.4521 ^{abc} ± 0.0190	34.40 ^f ± 0.51
	0.3	207.01 ^c ± 26.31	473.63 ^e ± 41.16	0.4401 ^{abc} ± 0.0168	57.03 ^g ± 0.59
	0.4	481.65 ^d ± 69.01	823.76 ^f ± 20.87	0.4251 ^{abc} ± 0.0127	96.52 ^h ± 3.49
	0.5	744.68 ^e ± 37.94	1236.57 ^g ± 63.46	0.4078 ^a ± 0.0116	136.72 ⁱ ± 0.94

หมายเหตุ a - i ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นเดียวกันพบว่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ที่อัตราเฉือน 50 s⁻¹ ของสารละลาย OKP ที่ความเข้มข้น 0.1% มีค่ามากกว่า OKW 2.5 เท่า และที่ความเข้มข้น 0.5% สารละลาย OKP มีความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือน 50 s⁻¹ มากกว่าสารละลาย OKW ถึง 5 เท่า และต้องใช้ความเข้มข้นของ OKW ถึง 0.3% จึงจะมีความหนืดปรากฏที่อัตราเฉือน 50 s⁻¹ ไม่แตกต่างกับ OKP ที่ความเข้มข้น 0.1% (ตารางที่ 8 และ ภาพที่ 19) เนื่องจาก OKP ผ่านขั้นตอนการสกัด AIS ด้วยน้ำและทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จึงมีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์มากกว่า OKW สังเกตได้จากตารางที่ 5 ที่แสดงให้เห็นว่า OKP มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble carbohydrate) มากกว่า OKW (64.54% และ 49.78% ตามลำดับ) และ OKP มีปริมาณเยื่อใยน้อยกว่า OKW แสดงให้เห็นว่า OKW และ OKP มีองค์ประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์ต่างกัน โดย OKW ประกอบด้วยเพกทินทั้งที่ละลายและไม่

ละลายน้ำ เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส ขณะที่ OKP ประกอบด้วย เพกทินที่ละลายน้ำได้เป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้ OKP มีความสามารถในการเพิ่มความข้นหนืดให้กับสารละลายได้มากกว่า OKW



ภาพที่ 19 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ที่ความเข้มข้น 0.1 - 0.5% (w/w) ต่อค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ที่อัตราเฉือน 50 s^{-1}

3. การศึกษาผลของปริมาณ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมลดไขมันเปรียบเทียบกับไอศกรีมไขมันเต็ม

ไอศกรีมไขมันเต็มที่มีปริมาณไขมันนม 10% ซึ่งไขมันเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญในการผลิตไอศกรีม ช่วยเพิ่มความเข้มข้นของกลิ่น (Richness of flavor) ให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียน ช่วยให้ไอศกรีมคงรูป (Body) และทำให้ไอศกรีมมีคุณสมบัติการละลายตามต้องการ (Goff and Hartel, 2004) ปัจจุบันไอศกรีมไขมันต่ำได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย แต่การลดไขมันในไอศกรีมทำให้ทำให้ลักษณะปรากฏ กลิ่นรส รสชาติ และเนื้อสัมผัสด้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับ

ไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันสูงกว่า (Guinard *et al.*, 1997) การใช้สารทดแทนไขมันประเภทคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate-based fat replacer) ซึ่งสามารถจับกับน้ำแล้วทำให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสและความรู้สึกเคลือบมันในปากคล้ายไขมัน สารกลุ่มนี้สามารถเลียนแบบพฤติกรรมบางอย่างของไขมัน เช่น ให้ความหนืดแก่ไอศกรีมเหลว ทำให้โฟมคงตัว ควบคุมการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็ง และควบคุมการแยกตัวของน้ำ (Marshall *et al.*, 2003) จากการศึกษาคุณสมบัติด้านการไหลของสารละลาย Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) จากข้อ 2 แสดงให้เห็นว่า OKW และ OKP มีคุณสมบัติในการเพิ่มความหนืดได้ จึงมีความเป็นไปได้ว่าพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวสามารถนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมลดไขมันได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาไอศกรีมลดไขมันซึ่งมีปริมาณไขมันนม 5% ที่มีการเติมพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว เพื่อปรับปรุงคุณลักษณะของไอศกรีมลดไขมันให้ใกล้เคียงกับไอศกรีมไขมันเต็มที่มีปริมาณไขมันนม 10%

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมไขมันเต็ม (Full fat ice cream; FF) ที่มีปริมาณไขมัน 10% ไอศกรีมลดไขมัน (Reduced-fat ice cream; RF) ที่มีปริมาณไขมัน 5% ไอศกรีมลดไขมันที่เติม Okra cell wall powder (OKW) ที่ระดับความเข้มข้น 0.2% และ 0.4% โดยน้ำหนัก และไอศกรีมลดไขมันที่เติม Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ที่ระดับความเข้มข้น 0.2% และ 0.4% โดยน้ำหนัก ส่วนองค์ประกอบอื่นนอกจากไขมันในไอศกรีมทุกสูตรประกอบด้วยเนื้อมันไม่รวมมันเนย (Milk solid not fat) 12% น้ำตาลทราย 12% อิมัลซิไฟเออร์ 0.2% และเติมน้ำสะอาดให้ส่วนผสมครบ 100% โดยน้ำหนัก คุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมที่ทำการศึกษา ได้แก่ คุณสมบัติด้านการไหล (Flow behavior) ของไอศกรีมเหลว (Ice cream mix) การขึ้นฟูของไอศกรีม (Overrun) หลังการปั่นเยือกแข็ง ความแน่นแข็ง (Hardness) และคุณสมบัติด้านการละลาย (Melting properties) ของไอศกรีมหลังผ่านการแช่เยือกแข็งแล้ว

3.1 คุณสมบัติด้านการไหล (Flow behavior) ของไอศกรีมเหลว

การศึกษาคูณสมบัติด้านการไหล (Flow behavior) ของไอศกรีมเหลวที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ด้วยเครื่องมือวัดคุณสมบัติทางวิทยากระแส (Stress controlled rheometer, Physica MCR 300, Anton Paar, Germany) โดยใช้หัววัดแบบ Cone and plate วัดพฤติกรรมการไหล (Flow behavior) ของไอศกรีมเหลวในช่วงอัตราเฉือน (Shear rate) ตั้งแต่ $0.1 - 1000 \text{ s}^{-1}$

ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ของแต่ละตัวอย่างไอศกรีมเหลว (Ice cream mix) ที่อัตราเฉือนเท่ากับ 50 s^{-1} เนื่องจากที่อัตราเฉือนนี้เป็นค่าประมาณแทนอัตราเฉือนขณะตัวอย่างอาหารอยู่ในปากสำหรับตัวอย่างที่มีความหนืดต่ำ (Bourne, 2002; Akhtar *et al.*, 2006) ค่าต่างๆ ของคุณสมบัติด้านการไหลที่ทำการศึกษาลงแสดงดังตารางที่ 9

จากตารางที่ 9 ซึ่งเปรียบเทียบค่าความหนืดปรากฏของไอศกรีมเหลว พบว่าการลดไขมันในไอศกรีมจาก 10% เหลือ 5% ทำให้ความหนืดปรากฏของไอศกรีมเหลวลดลงจาก 28.33 mPa.s เหลือ 19.45 mPa.s แต่เมื่อเติม OKW ที่ความเข้มข้น 0.2% ในไอศกรีมลดไขมันทำให้ความหนืดปรากฏของไอศกรีมลดไขมันมีค่าเข้าใกล้ความหนืดปรากฏของไอศกรีมไขมันเต็ม และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ OKW เป็น 0.4% ทำให้ความหนืดปรากฏของไอศกรีมลดไขมันมีค่ามากกว่าค่าความหนืดปรากฏของไอศกรีมไขมันเต็ม (39.04 mPa.s และ 28.83 mPa.s ตามลำดับ)

ตารางที่ 9 คุณสมบัติด้านการไหล (Flow behavior) ของไอศกรีมเหลว (Ice cream mix)

Treatment	Yield stress, τ_0 (mPa)	Flow coefficient, K (mPa.s ⁿ)	Flow behavior index, n	Apparent viscosity, η_{50} (mPa.s)
FF	80.85 ^c ± 5.40	48.55 ^b ± 3.52	0.8522 ^b ± 0.0305	28.83 ^c ± 1.38
RF	27.94 ^a ± 8.26	22.86 ^a ± 2.25	0.9494 ^c ± 0.0757	19.45 ^a ± 3.87
RF+0.2%OKW	24.65 ^a ± 8.51	79.19 ^c ± 16.61	0.7038 ^a ± 0.0412	25.08 ^b ± 1.06
RF+0.4%OKW	71.17 ^c ± 2.85	97.96 ^d ± 7.50	0.7559 ^a ± 0.0211	39.04 ^d ± 0.51
RF+0.2%OKP	44.34 ^b ± 9.03	117.53 ^e ± 7.39	0.7168 ^a ± 0.0179	39.65 ^d ± 0.38
RF+0.4%OKP	141.79 ^d ± 8.06	289.42 ^f ± 5.39	0.7417 ^a ± 0.0065	108.20 ^e ± 0.99

หมายเหตุ a - f ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

FF = Full fat ice cream (10% Milk fat), RF = Reduced-fat ice cream (5% Milk fat), OKW = Okra cell wall powder, OKP = Water soluble okra polysaccharide powder

ผลของการเติม OKP ในไอศกรีมลดไขมันที่ระดับความเข้มข้น 0.2% และ 0.4% แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความเข้มข้นของพอลิแซ็กคาไรด์ทำให้ความหนืดปรากฏของไอศกรีมเหลวเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์ที่ความเข้มข้นต่ำ โมเลกุลจะอยู่กันอย่างไม่เป็นระเบียบ (Disordered conformation) และอยู่ในรูป Random coil เกิดอันตรกิริยาระหว่างพอลิเมอร์ได้ยาก ทำให้ความหนืดต่ำ แต่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น โมเลกุลสามารถเกิดการทับซ้อนกันมากขึ้น จึงเกิดอันตรกิริยากันระหว่างพอลิเมอร์ (Intermolecular interaction) และภายในพอลิเมอร์ (Intramolecular interaction) ด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดจุดเชื่อม (Junction zone) และเกิดโครงสร้างร่างแหที่ทำให้สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ สารละลายจึงมีความหนืดเพิ่มขึ้น (Morris, 1990) เช่นเดียวกับการเพิ่มความเข้มข้นของ OKP ในไอศกรีมซึ่งทำให้ความหนืดปรากฏของไอศกรีมเหลวเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน

3.2 ค่าการขึ้นฟูของไอศกรีม (Overrun)

ในขั้นตอนการผลิตไอศกรีม เมื่อนำไอศกรีมเหลวที่ผ่านการบ่มแล้วไปปั่นแบบเยือกแข็งพร้อมกับการตีอากาศ การขึ้นฟูของไอศกรีม (Overrun) สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของไอศกรีมที่ลดลงเนื่องจากปริมาตรของไอศกรีมที่เพิ่มขึ้นจากอากาศที่แทรกอยู่ในเนื้อไอศกรีม โดยการเทียบน้ำหนักต่อปริมาตรของไอศกรีมก่อนและหลังปั่นเยือกแข็งไอศกรีม ในระหว่างกระบวนการปั่นเยือกแข็งไอศกรีม แรงเฉือนของใบพัดทำให้ไขมันบางส่วนเกิดการเกาะกลุ่มเชื่อมต่อกันเรียกว่าการเกิด Partial coalescence และหุ้มฟองอากาศไว้ โดยฟองอากาศที่ถูกหุ้มไว้ในโครงสร้างของไอศกรีมทำให้ไอศกรีมมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อค่าการขึ้นฟูของไอศกรีม จากตารางที่ 10 พบว่าไอศกรีมไขมันเต็มซึ่งมีปริมาณไขมันสูงมีค่าการขึ้นฟูต่ำกว่าไอศกรีมลดไขมัน เนื่องจากปริมาณไขมันสูงจะขัดขวางการตีอากาศระหว่างการปั่นเยือกแข็งไอศกรีม (Marshall *et al.*, 2003) การเติม OKW และ OKP ในไอศกรีมลดไขมันไม่ส่งผลต่อค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมลดไขมัน ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองในตารางที่ 9 แสดงให้เห็นว่า OKW และ OKP มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดปรากฏของไอศกรีมเหลว โดยตัวอย่างไอศกรีมลดไขมันที่เติม OKP ที่ระดับความเข้มข้น 0.4% ทำให้ความหนืดปรากฏของไอศกรีมเหลวมีค่าสูงกว่าตัวอย่างอื่น แต่มีค่าการขึ้นฟูไม่แตกต่างทางสถิติกับไอศกรีมลดไขมันตัวอย่างอื่น ($p > 0.05$) แสดงว่าความหนืดปรากฏของไอศกรีมเหลวไม่ส่งผลต่อค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมลดไขมัน ทั้งนี้ไอศกรีมทุกตัวอย่างที่

ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้มีค่าการขึ้นฟูอยู่ในช่วง 40 - 50% ซึ่งน้อยกว่าไอศกรีมบรรจุถ้วยทั่วไปที่มีค่าการขึ้นฟูอยู่ที่ 75 - 95% (Marshall *et al.*, 2003) เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องปั่นเยือกแข็งไอศกรีมที่ใช้ ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องปั่นไอศกรีมแบบ Batch freezer ซึ่งมีประสิทธิภาพน้อยกว่าเครื่องปั่นเยือกแข็งไอศกรีมระดับอุตสาหกรรมที่มักใช้เครื่องปั่นเยือกแข็งไอศกรีมแบบ Continuous freezer ที่สามารถตั้งค่าความขึ้นฟูของไอศกรีมตามต้องการได้

ตารางที่ 10 ผลของปริมาณ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ต่อค่าการขึ้นฟู (Overrun) ของไอศกรีม

Treatment	Overrun (%)
FF	42.45 ^a ± 1.03
RF	46.89 ^{bc} ± 1.64
RF+0.2%OKW	45.88 ^b ± 1.67
RF+0.4%OKW	45.55 ^b ± 1.60
RF+0.2%OKP	49.53 ^c ± 1.35
RF+0.4%OKP	47.90 ^{bc} ± 3.49

หมายเหตุ a - c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

FF = Full fat ice cream (10% Milk fat), RF = Reduced-fat ice cream (5% Milk fat), OKW = Okra cell wall powder, OKP = Water soluble okra polysaccharide powder

3.3 ค่าความแน่นแข็งของไอศกรีม (Hardness)

ค่าความแน่นแข็งของไอศกรีมวัดได้จากแรงสูงสุดที่หัววัดกดลงไปในตัวอย่างไอศกรีมซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านการเสียรูปร่างของไอศกรีมเมื่อได้รับแรงกด โดยวัดค่าความแน่นแข็งของตัวอย่างไอศกรีมที่อุณหภูมิ -14 ± 2 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้สำหรับเสิร์ฟไอศกรีม (-15 ถึง -13 องศาเซลเซียส)

จากผลการทดลองที่แสดงดังตารางที่ 11 เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างไคสกริมไขมันเต็มและไคสกริมลดไขมัน พบว่าการลดไขมันในไคสกริมทำให้ค่าความแน่นแข็งลดลงจาก 102.018 นิวตัน เป็น 88.075 นิวตัน แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงว่าการลดไขมันทำให้ไคสกริมเสียรูปร่างได้ง่ายกว่าเมื่อได้รับแรงกด ซึ่งสอดคล้องกับ Chen *et al.* (2010) ที่รายงานว่าลดไขมันในไคสกริมจาก 10% เหลือ 4% ทำให้ความแน่นแข็งของไคสกริมลดลง โดยรายงานเป็นค่าของระยะทางสูงสุดที่หัววัดกดลงไปบนเนื้อไคสกริม เมื่อพิจารณาค่าความแน่นแข็งของไคสกริมรวมกับค่าการขึ้นฟูของไคสกริมจากตารางที่ 10 จะเห็นว่าไคสกริมลดไขมันมีค่าการขึ้นฟูเท่ากับ 46.89% ซึ่งสูงกว่าไคสกริมไขมันเต็มที่มีค่าการขึ้นฟูเท่ากับ 42.45% แสดงให้เห็นว่าค่าการขึ้นฟูของไคสกริมมีความสัมพันธ์กับค่าความแน่นแข็งของไคสกริม ซึ่งสอดคล้องกับ Sofjan and Hartel (2004) ที่พบว่าการขึ้นฟูของไคสกริมเพิ่มขึ้นทำให้ความแน่นแข็งของไคสกริมลดลง กล่าวคือการลดไขมันทำให้ไคสกริมมีความแน่นแข็งลดลงเมื่อเทียบกับไคสกริมไขมันเต็ม ทำให้ไคสกริมเสียรูปร่างได้ง่ายเมื่อได้รับแรงกด

เมื่อศึกษาผลของการเติม OKW และ OKP ที่ระดับความเข้มข้น 0.2% พบว่า OKW และ OKP ทำให้ค่าความแน่นแข็งของไคสกริมลดไขมันเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าความแน่นแข็งของไคสกริมลดไขมัน ไคสกริมลดไขมันที่เติม OKW ที่ความเข้มข้น 0.2% และไคสกริมลดไขมันที่เติม OKP ที่ความเข้มข้น 0.2% เท่ากับ 88.075 นิวตัน 135.149 นิวตัน และ 126.587 นิวตัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเติม OKW และ OKP ที่ระดับความเข้มข้น 0.2% สามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไคสกริมลดไขมันให้มีความแน่นแข็งเพิ่มขึ้น และทำให้ความแน่นแข็งของไคสกริมลดไขมันมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับไคสกริมไขมันเต็มที่มีค่าความแน่นแข็งเท่ากับ 102.018 นิวตัน

การเพิ่มความเข้มข้นของ OKW และ OKP จาก 0.2% เป็น 0.4% ทำให้ไคสกริมลดไขมันมีค่าความแน่นแข็งสูงขึ้น และมีค่าสูงกว่าไคสกริมไขมันเต็มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่าความแน่นแข็งของไคสกริมลดไขมันที่เติม OKW และ OKP ที่ระดับความเข้มข้น 0.4% เท่ากับ 198.351 นิวตัน และ 147.736 นิวตัน ตามลำดับ การเพิ่มความเข้มข้นของ OKW และ OKP ทำให้ค่าความแน่นแข็งของไคสกริมลดไขมันเพิ่มสูงขึ้น เนื่องมาจากการเพิ่มความเข้มข้นของ OKW และ OKP ทำให้ไคสกริมเหลวมีค่าความหนืดปรากฏสูงขึ้น ซึ่งความหนืดของไคสกริมเหลวส่งผลต่อค่าความแน่นแข็งของไคสกริม โดยไคสกริมเหลวที่มีความหนืดมาก และมี

ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์มากจะทำให้ไอศกรีมมีค่าความแน่นแข็งมาก (Muse and Hartel, 2004; Chen et al., 2010)

เมื่อพิจารณาผลของความแน่นแข็งของไอศกรีมในตารางที่ 11 ร่วมกับค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมในตารางที่ 10 พบว่าการเติม OKW และ OKP ที่ความเข้มข้น 0.2% ในไอศกรีมลดไขมัน ทำให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมลดไขมันใกล้เคียงกับไอศกรีมไขมันเต็ม โดยที่ไอศกรีมลดไขมันที่เติม OKW และ OKP ที่ความเข้มข้นดังกล่าวมีค่าการขึ้นฟูที่สูงกว่าไอศกรีมไขมันเต็ม ซึ่งค่าการขึ้นฟูที่สูงกว่านี้ทำให้ได้เปรียบกว่าในทางการค้า เนื่องจากเมื่อพิจารณาที่น้ำหนักไอศกรีมเท่ากัน ไอศกรีมที่มีค่าการขึ้นฟูสูงกว่า จะได้ไอศกรีมที่มีปริมาตรมากกว่าไอศกรีมที่มีค่าการขึ้นฟูน้อย

ตารางที่ 11 ผลของปริมาณ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ต่อความแน่นแข็ง (Hardness) ของไอศกรีม

Treatment	Hardness (N)
FF	102.018 ^{ab} ± 19.004
RF	88.075 ^a ± 11.846
RF+0.2%OKW	135.149 ^{bc} ± 19.108
RF+0.4%OKW	198.351 ^d ± 14.118
RF+0.2%OKP	126.587 ^{abc} ± 26.952
RF+0.4%OKP	147.736 ^c ± 32.802

หมายเหตุ a - d ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

FF = Full fat ice cream (10% Milk fat), RF = Reduced-fat ice cream (5% Milk fat), OKW = Okra cell wall powder, OKP = Water soluble okra polysaccharide powder

3.4 คุณสมบัติด้านการละลายของไอศกรีม (Melting properties)

การศึกษาคุณสมบัติการละลายของไอศกรีมที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง โดยการวางไอศกรีมบนตะแกรงลวด บันทึกเวลาที่ไอศกรีมละลายจนเกิดหยดแรก (First dripping time) แล้วชั่งน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายลงในภาชนะทุกๆ 10 นาที เพื่อหาอัตราการละลายของไอศกรีมในช่วง 20 - 60 นาที (Melting rate) เนื่องจากไอศกรีมที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ละลายจนเกิดหยดแรกในช่วงนาที่ที่ 13 ถึงนาที่ที่ 19 (ตารางที่ 12) จึงเลือกคำนวณอัตราการละลายของไอศกรีมตั้งแต่นาทีที่ 20 เป็นต้นไป และสังเกตลักษณะการละลายของไอศกรีมเป็นเวลา 60 นาที (ตัวอย่างการคำนวณอัตราการละลายและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับร้อยละของไอศกรีมที่ละลายแสดงดังภาคผนวก ค) ไอศกรีมที่มีคุณภาพด้านการละลายที่ดีควรมีการละลายไม่ช้าหรือเร็วเกินไป สามารถคงรูปร่างขณะละลาย และของเหลวที่ละลายมีลักษณะเป็นเนื้อเดียว ไอศกรีมที่มีการละลายช้าเกินไปเป็นคุณสมบัติที่ไม่ดีของไอศกรีมเนื่องจากมีผลต่อเนื้อสัมผัส และการได้รับกลิ่นรสและอัตราการรับรู้กลิ่นรสในปากด้อยลง (Li *et al.*, 1997; Hyvönen *et al.*, 2003)

จากผลการทดลองในตารางที่ 12 แสดงเวลา (นาที) ที่ไอศกรีมละลายจนเกิดหยดแรก พบว่าไอศกรีมไขมันเต็มละลายจนเกิดหยดแรกเร็วที่สุด การลดไขมันในไอศกรีมไม่ส่งผลต่อเวลาที่ไอศกรีมละลายจนเกิดหยดแรก การเติม OKW และ OKP ทำให้เวลาที่ไอศกรีมละลายจนเกิดหยดแรกใช้เวลานานขึ้น เรียงตามลำดับจากน้อยไปมากดังนี้ ไอศกรีมลดไขมันที่เติม OKP 0.2% ไอศกรีมลดไขมันที่เติม OKP 0.4% ไอศกรีมลดไขมันที่เติม OKW 0.2% และไอศกรีมที่เติม OKW 0.4% แต่มีเพียงไอศกรีมลดไขมันที่เติม OKW ที่ความเข้มข้น 0.4% เท่านั้นที่สามารถยืดเวลาให้ไอศกรีมละลายจนเกิดหยดแรกได้นานกว่าไอศกรีมไขมันเต็ม และไอศกรีมลดไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการละลายในช่วงเวลา 20 - 60 นาทีของไอศกรีม จากตารางที่ 12 พบว่าไอศกรีมไขมันเต็มและไอศกรีมลดไขมันมีอัตราการละลายเท่ากับ $1.145 \% \text{ min}^{-1}$ และ $1.259 \% \text{ min}^{-1}$ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการลดไขมันทำให้ไอศกรีมละลายเร็วขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากโครงสร้างของไอศกรีมสามารถคงอยู่ได้ด้วยการเกิด Partial coalescence หรือ Destabilized fat ของเม็ดไขมันระหว่างกระบวนการปั่นเยือกแข็ง ไอศกรีมซึ่งเชื่อมโยงกันเป็นกลุ่มล้อมรอบเซลล์อากาศไว้และมีผลึกน้ำแข็งกระจายตัวอยู่ในส่วน

ของของเหลวที่ไม่แข็งตัว (Marshall *et al.*, 2003) โครงสร้างของไขมันที่ล้อมรอบเซลล์อากาศนี้ ช่วยชะลอและรักษารูปร่างของไอศกรีมขณะละลายไว้ ดังนั้นไอศกรีมลดไขมันจึงละลายเร็วกว่า ไอศกรีมไขมันเต็มเนื่องจากมีปริมาณไขมันน้อยทำให้กลุ่มของไขมันที่เกิด Partial coalescence ซึ่งทำหน้าที่ห่อหุ้มเซลล์อากาศมีน้อยตามไปด้วย นอกจากนี้ไขมันที่ลดลงในสูตรไอศกรีมลดไขมัน ถูกแทนที่ด้วยน้ำ ซึ่งเมื่อนำไอศกรีมไปปั่นเยือกแข็งจะเกิดผลึกน้ำแข็งได้มากกว่า และน้ำแข็งจะเริ่มละลายก่อนส่วนที่เป็นไขมัน เนื่องจากน้ำแข็งมีอุณหภูมิในการหลอมเหลวต่ำกว่าผลึกไขมัน

ผลของการเติม OKW และ OKP ในไอศกรีมลดไขมันต่ออัตราการละลายของ ไอศกรีมจากตารางที่ 12 พบว่าเมื่อเติม OKW ที่ความเข้มข้น 0.2% ทำให้ไอศกรีมลดไขมันมีอัตราการละลายเท่ากับ $1.116 \% \text{ min}^{-1}$ ซึ่งมีอัตราการละลายไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ ไอศกรีมไขมันเต็มที่มีอัตราการละลายเท่ากับ $1.145 \% \text{ min}^{-1}$ ($p > 0.05$) แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้น ของ OKW เป็น 0.4% พบว่าอัตราการละลายของไอศกรีมลดไขมันเพิ่มขึ้นเป็น $1.543 \% \text{ min}^{-1}$ และการเติม OKP ที่ความเข้มข้น 0.2% และ 0.4% ทำให้ไอศกรีมลดไขมันมีอัตราการละลายเท่ากับ $1.469 \% \text{ min}^{-1}$ และ $1.848 \% \text{ min}^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งไอศกรีมลดไขมันที่เติม OKW ที่ 0.4% ไอศกรีมลดไขมันที่เติม OKP ที่ 0.2% และ 0.4% มีอัตราการละลายสูงกว่าไอศกรีมไขมันเต็มและไอศกรีมลดไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายทุกๆ 10 นาที ในช่วงเวลา 20 - 40 นาที (ภาพที่ 20) พบว่าการเติม OKW และ OKP สามารถชะลอการละลายของไอศกรีมในช่วง 30 นาทีแรกของการละลายได้ โดยมีร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายและหยดลงมาในภาชนะรองรับในช่วง 30 นาทีแรกของการละลายน้อยกว่าไอศกรีมไขมันเต็มและไอศกรีมลดไขมัน

การทดสอบคุณสมบัติด้านการละลายของไอศกรีมเมื่อเวลาผ่านไปไอศกรีมละลาย และหยดผ่านตะแกรงลวดลงในภาชนะรองรับ ไอศกรีมที่ค้างอยู่บนตะแกรงจะมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ ลักษณะการละลายของไอศกรีมแสดงดังภาพที่ 21 สังเกตเห็นว่าการลดไขมันทำให้รูปร่างของ ไอศกรีมขณะละลายแตกต่างจากไอศกรีมไขมันเต็มเล็กน้อย โดยรูปร่างจะต่างจากไอศกรีมไขมันเต็มเมื่อไอศกรีมละลายเป็นเวลาผ่านไป 40 นาที เมื่อพิจารณารูปร่างของไอศกรีมที่ค้างอยู่บน ตะแกรงเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที จะสังเกตเห็นว่าบริเวณฐานของไอศกรีมจะมีลักษณะเป็นโคม ค้างอยู่บนตะแกรงลวด ยกเว้นตัวอย่างไอศกรีมลดไขมันที่เติม OKP 0.4% ซึ่งไม่มีฐานของไอศกรีม ค้างอยู่บนตะแกรงลวด และระหว่างการละลายจะสังเกตเห็นส่วนของไอศกรีมที่ละลายหยดผ่าน ตะแกรงลวดลงมามีลักษณะชั้นหนืดไหลลงมาเป็นกลุ่มก้อน ทำให้ไอศกรีมส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรง

ลดเหลืออยู่น้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าการใช้ OKP ที่ระดับความเข้มข้น 0.4% อาจมากเกินไปสำหรับการใช้ในไอศกรีมลดไขมันที่ทำการศึกษานในงานวิจัยนี้

ลักษณะการละลายของไอศกรีมในภาพที่ 21 สอดคล้องกับอัตราการละลายของไอศกรีมจากตารางที่ 12 เนื่องจากไอศกรีมลดไขมันที่เติม OKP 0.4% มีส่วนของไอศกรีมค้างอยู่บนตะแกรงน้อยกว่าตัวอย่างอื่น และมีอัตราการละลายของไอศกรีมสูงที่สุด ขณะที่ OKW ที่ความเข้มข้น 0.2% ซึ่งมีรูปร่างขณะละลายใกล้เคียงกับไอศกรีมไขมันเต็มตลอดระยะเวลาของการละลายที่ทำการศึกษา มีอัตราการละลายไม่แตกต่างไอศกรีมไขมันเต็ม

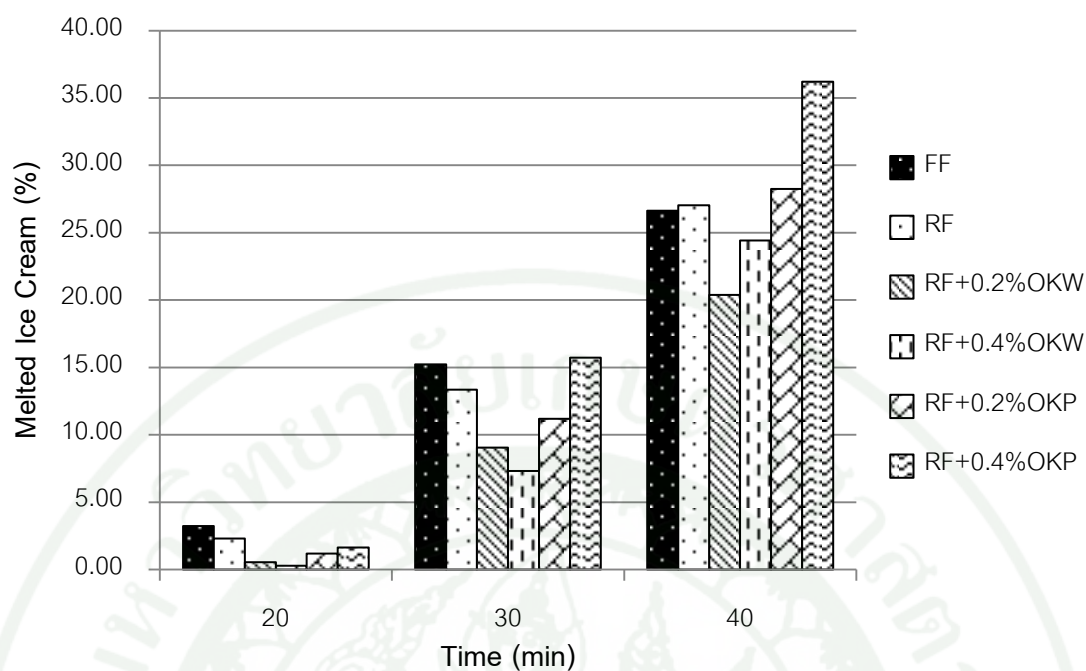
จากข้อมูลคุณสมบัติด้านการละลายของไอศกรีมแสดงให้เห็นว่าการเติม OKW หรือ OKP ในไอศกรีมลดไขมัน สามารถปรับปรุงคุณสมบัติการละลายของไอศกรีมได้ โดยจะช่วยให้ระยะเวลาการละลายจนเกิดหยดแรกของไอศกรีมให้นานขึ้น ชะลอการละลายของไอศกรีมในช่วง 30 นาทีแรกของการละลายให้ต่ำกว่าไอศกรีมไขมันเต็มและไอศกรีมลดไขมันได้ และการใช้ OKW ที่ความเข้มข้น 0.2% สามารถลดอัตราการละลายของไอศกรีมลดไขมันได้ต่ำที่สุด ทำให้ไอศกรีมละลายช้าที่สุดและมีอัตราการละลายไม่แตกต่างทางสถิติกับไอศกรีมไขมันเต็ม ($p > 0.05$)

ตารางที่ 12 ผลของปริมาณ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ต่อเวลาที่ไอศกรีมละลายจนเกิดหยดแรก (First dripping time) และอัตราการละลายในช่วง 20 - 60 นาที (Melting rate) ของไอศกรีม

Treatment	First dripping time (min)	Melting rate (% min ⁻¹ , from 20-60 min)
FF	13.33 ^a ± 3.51	1.145 ^a ± 0.013
RF	14.00 ^a ± 2.65	1.259 ^b ± 0.047
RF+0.2%OKW	17.67 ^{ab} ± 3.06	1.116 ^a ± 0.032
RF+0.4%OKW	19.00 ^b ± 0.00	1.543 ^c ± 0.037
RF+0.2%OKP	15.00 ^{ab} ± 1.73	1.469 ^c ± 0.060
RF+0.4%OKP	15.67 ^{ab} ± 0.58	1.848 ^d ± 0.056

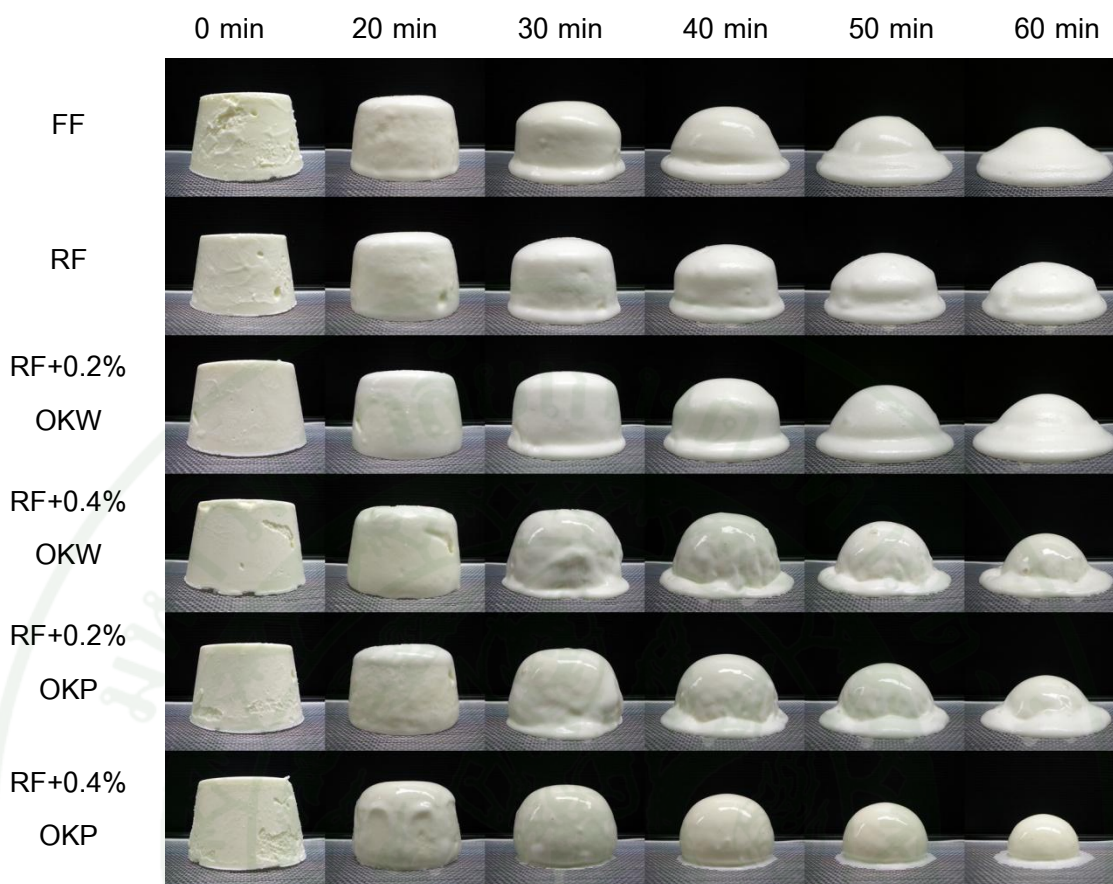
หมายเหตุ a - d ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

FF = Full fat ice cream (10% Milk fat), RF = Reduced-fat ice cream (5% Milk fat), OKW = Okra cell wall powder, OKP = Water soluble okra polysaccharide powder



ภาพที่ 20 ผลของปริมาณ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ต่อร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมลดไขมันที่ละลายทุกๆ 10 นาที เปรียบเทียบกับไอศกรีมไขมันเต็ม และไอศกรีมลดไขมัน

FF = Full fat ice cream (10% Milk fat), RF = Reduced-fat ice cream (5% Milk fat), OKW = Okra cell wall powder, OKP = Water soluble okra polysaccharide powder



ภาพที่ 21 ผลของปริมาณ Okra cell wall powder และ Water soluble okra polysaccharide powder ต่อลักษณะการละลายของไอศกรีมลดไขมัน เปรียบเทียบกับไอศกรีมไขมันเต็ม และไอศกรีมลดไขมัน

FF = Full fat ice cream (10% Milk fat), RF = Reduced-fat ice cream (5% Milk fat), OKW = Okra cell wall powder, OKP = Water soluble okra polysaccharide powder

เมื่อพิจารณาการนำ OKW มาใช้ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม พบว่ายังมี OKW บางส่วนที่ไม่ละลายน้ำหลงเหลือเป็นตะกอนขนาดเล็กที่สามารถสังเกตเห็นได้หลังการบ่มไอศกรีมเหลวที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนนำมาปั่นเยือกแข็ง แต่เนื่องจากปริมาณ OKW ที่ใช้ต่ำมาก ตะกอนขนาดเล็กเหล่านี้จึงมีปริมาณน้อยมาก และเมื่อปั่นเยือกแข็งเป็นไอศกรีมแล้ว ตะกอนเหล่านี้จะกระจายตัวอยู่ภายในไอศกรีมซึ่งไม่สามารถสังเกตเห็นได้ และจากผลการทดลองพบว่าการเติม OKW และ OKP ที่ความเข้มข้น 0.2% ในไอศกรีมลดไขมันสามารถปรับปรุงคุณลักษณะของไอศกรีมลดไขมัน ได้แก่ ความหนืดของไอศกรีมเหลว ค่าความแน่นแข็ง และอัตราการละลาย

ของไอศกรีมให้ใกล้เคียงกับไอศกรีมไขมันเต็ม โดยที่สามารถยืดระยะเวลาของการละลายจนเกิดหยดแรกได้นานกว่าไอศกรีมไขมันเต็ม และยังมีค่าการขึ้นฟูที่สูงกว่าไอศกรีมไขมันเต็มซึ่งส่งผลดีต่อการผลิตไอศกรีมอีกด้วย ดังนั้นจึงเลือกใช้ OKW และ OKP ที่ระดับ 0.2% เพื่อนำไปศึกษาการใช้ OKW และ OKP ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมลดไขมันเปรียบเทียบกับไอศกรีมลดไขมันที่ใช้พอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นโดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้กัวร์กัม (Guar gum) และโลคัสบีนกัม (Locust bean gum) ซึ่งเป็นสารให้ความคงตัว (Stabilizer) ที่นิยมใช้ทั่วไปในไอศกรีม

4. การเปรียบเทียบไอศกรีมลดไขมันที่ใช้พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวเป็นสารทดแทนไขมันกับพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่น

จากผลการทดลองในข้อ 3 พบว่าไอศกรีมลดไขมันที่ใช้ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ที่ความเข้มข้น 0.2% มีคุณสมบัติในด้านต่างๆ ทั้ง ความหนืดของไอศกรีมเหลว (Ice cream mix) ความแน่นแข็ง และอัตราการละลายของไอศกรีมลดไขมันใกล้เคียงกับไอศกรีมไขมันเต็ม ดังนั้นจึงเลือก OKW และ OKP ที่ระดับความเข้มข้น 0.2% มาผลิตไอศกรีมลดไขมัน และนำมาเปรียบเทียบกับไอศกรีมลดไขมันที่ใช้พอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นที่นิยมใช้ในการผลิตไอศกรีม โดยในการศึกษานี้ได้เลือกมา 2 ชนิด คือ กัวร์กัม (Guar gum; GG) และโลคัสบีนกัม (Locust bean gum; LBG) พอลิแซ็กคาไรด์ทั้ง 2 ชนิดมีโครงสร้างหลักเป็น Galactomannan เหมือนกัน โดย LBG มีอัตราส่วนของ Galactose:Mannose ประมาณ 1:4 ขณะที่ GG มีอัตราส่วนของ Galactose:Mannose ประมาณ 1:2 (Lapasin and Pricl, 1995)

การลดไขมันทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมลดไขมันแตกต่างจากไอศกรีมไขมันเต็ม โดยจากงานวิจัยนี้พบว่าไอศกรีมลดไขมันมีความหนืดปรากฏ และความแน่นแข็งต่ำกว่าไอศกรีมไขมันเต็ม ขณะที่ค่าการขึ้นฟูสูงขึ้น และไอศกรีมลดไขมันละลายเร็วกว่าไอศกรีมไขมันเต็ม ดังนั้นจึงมีการศึกษาการใช้พอลิแซ็กคาไรด์ชนิดต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของไอศกรีมลดไขมันให้ใกล้เคียงกับไอศกรีมไขมันเต็มมากขึ้น โดยทำการศึกษาการใช้ OKW, OKP, GG และ LBG ที่ความเข้มข้น 0.2% ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมลดไขมัน

4.1 คุณสมบัติด้านการไหล (Flow behavior)

จากผลการทดลองในตารางที่ 11 จากข้อ 3 แสดงให้เห็นว่าการเติมพอลิแซ็กคาไรด์มีผลทำให้ความหนืดปรากฏของไอศกรีมเหลวที่อัตราเฉือน 50 s^{-1} ของไอศกรีมลดไขมันเพิ่มขึ้น ขณะที่ผลการทดลองในตารางที่ 13 พบว่าการเติม OKP ที่ความเข้มข้น 0.2% ทำให้ความหนืดปรากฏของไอศกรีมลดไขมันเท่ากับ 39.96 mPa.s ซึ่งไม่แตกต่างกับไอศกรีมไขมันเต็มที่มีความหนืดปรากฏของไอศกรีมเหลวเท่ากับ 35.25 mPa.s ($p > 0.05$) ส่วนการเติมพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นนั้นทำให้ความหนืดปรากฏของไอศกรีมลดไขมันเพิ่มขึ้น โดยไอศกรีมลดไขมันที่เติม GG และ LBG มีความหนืดปรากฏเท่ากับ 83.50 และ 80.89 mPa.s ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกับไอศกรีมไขมันเต็มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้การใช้พอลิแซ็กคาไรด์ในส่วนผสมไอศกรีมมีผลต่อความหนืดของไอศกรีมเหลว เนื่องจากพอลิแซ็กคาไรด์เป็นสารโมเลกุลใหญ่ มีความสามารถในการจับน้ำ อุดมน้ำและพองตัว และเมื่อความเข้มข้นมากพอสามารถเกิดการทับซ้อนและเกิดอันตรกิริยาต่อกันได้ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านการไหลของไอศกรีมเหลวได้ (Marshall *et al.*, 2003)

ตารางที่ 13 คุณสมบัติด้านการไหล (Flow behavior) ของไอศกรีมเหลว (Ice cream mix)

Treatment	Yield stress, τ_0 (mPa)	Flow coefficient, K (mPa.s ^{<i>n</i>})	Flow behavior index, <i>n</i>	Apparent viscosity, η_{50} (mPa.s)
FF	47.08 ^b ± 7.49	90.14 ^b ± 16.57	0.7535 ^{ab} ± 0.0866	35.25 ^b ± 5.90
RF+0.2%OKW	27.37 ^a ± 7.97	56.58 ^a ± 13.55	0.7975 ^b ± 0.0607	25.69 ^a ± 0.42
RF+0.2%OKP	75.40 ^c ± 13.38	100.60 ^b ± 7.56	0.7546 ^{ab} ± 0.0146	39.96 ^b ± 1.31
RF+0.2%GG	53.21 ^b ± 8.95	264.48 ^c ± 4.65	0.7018 ^a ± 0.0023	83.50 ^c ± 1.20
RF+0.2%LBG	84.57 ^c ± 11.67	245.43 ^c ± 14.89	0.7112 ^{ab} ± 0.0134	80.89 ^c ± 1.25

หมายเหตุ a - c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

FF = Full fat ice cream (10% Milk fat), RF = Reduced-fat ice cream (5% Milk fat), OKW = Okra cell wall powder, OKP = Water soluble okra polysaccharide powder, GG = Guar gum, LBG = Locust bean gum

4.2 การขึ้นฟูของไอศกรีม (Overrun)

จากตารางที่ 14 แสดงให้เห็นว่าการเติมพอลิแซ็กคาไรด์มีผลทำให้การขึ้นฟูของไอศกรีมลดไขมันมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับไอศกรีมไขมันเต็มที่มีค่าการขึ้นฟูเท่ากับ 50.36% โดยเรียงลำดับค่าการขึ้นฟูของไอศกรีมลดไขมันจากน้อยไปมากดังนี้ ไอศกรีมลดไขมันที่เติม LBG, GG, OKW และ OKP ซึ่งมีค่าการขึ้นฟูเท่ากับ 52.97%, 54.18%, 57.30% และ 59.77% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเติมพอลิแซ็กคาไรด์ทำให้ค่าความขึ้นฟูของไอศกรีมลดไขมันเพิ่มสูงขึ้นซึ่งถือเป็นผลดีในทางการค้าของธุรกิจไอศกรีม

ตารางที่ 14 ผลของชนิดพอลิแซ็กคาไรด์ต่อค่าการขึ้นฟู (Overrun) ของไอศกรีม

Treatment	Overrun (%)
FF	50.36 ^a $\pm$ 0.60
RF+0.2%OKW	57.30 ^c $\pm$ 1.46
RF+0.2%OKP	59.77 ^d $\pm$ 1.13
RF+0.2%GG	54.18 ^b $\pm$ 2.84
RF+0.2%LBG	52.97 ^b $\pm$ 0.83

หมายเหตุ a - d ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

FF = Full fat ice cream (10% Milk fat), RF = Reduced-fat ice cream (5% Milk fat), OKW = Okra cell wall powder, OKP = Water soluble okra polysaccharide powder, GG = Guar gum, LBG = Locust bean gum

4.3 ค่าความแน่นแข็ง (Hardness)

จากตารางที่ 15 พบว่าไอศกรีมลดไขมันที่มีการเติม GG ทำให้ค่าความแน่นแข็งของไอศกรีมสูงที่สุด (76.631 นิวตัน) และมากกว่าไอศกรีมไขมันเต็มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยไอศกรีมไขมันเต็ม ไอศกรีมลดไขมันที่มีการเติม OKW, OKP และ LBG มีค่าความแน่นแข็งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งมีค่าความแน่นแข็งเท่ากับ 52.148,

69.521, 62.016 และ 69.251 นิวตัน ตามลำดับ แสดงว่าการเติมพอลิแซ็กคาไรด์ที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ (ยกเว้น GG) ที่ความเข้มข้น 0.2% ไม่ส่งผลต่อค่าความแน่นแข็งของไอศกรีมลดไขมัน

ตารางที่ 15 ผลของพอลิแซ็กคาไรด์ต่อค่าความแน่นแข็ง (Hardness) ของไอศกรีม

Treatment	Hardness (N)
FF	52.148 ^a ± 4.743
RF+0.2%OKW	69.521 ^{ab} ± 7.815
RF+0.2%OKP	62.016 ^{ab} ± 3.711
RF+0.2%GG	76.631 ^b ± 14.574
RF+0.2%LBG	69.251 ^{ab} ± 13.757

หมายเหตุ a, b ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

FF = Full fat ice cream (10% Milk fat), RF = Reduced-fat ice cream (5% Milk fat), OKW = Okra cell wall powder, OKP = Water soluble okra polysaccharide powder, GG = Guar gum, LBG = Locust bean gum

4.4 คุณสมบัติด้านการละลายของไอศกรีม (Melting properties)

การเติมพอลิแซ็กคาไรด์ในไอศกรีมลดไขมันสามารถยืดเวลาที่ไอศกรีมละลายจนเกิดหยดแรกได้นานกว่าไอศกรีมไขมันเต็ม (ตารางที่ 16) โดยไอศกรีมลดไขมันที่เติม GG สามารถยืดระยะเวลาการละลายจนเกิดหยดแรกได้นานที่สุดถึง 17 นาที เมื่อเปรียบเทียบอัตราการละลายของไอศกรีม พบว่าไอศกรีมลดไขมันที่เติม LBG มีอัตราการละลายต่ำที่สุด ($0.799 \% \text{ min}^{-1}$) และต่ำกว่าไอศกรีมไขมันเต็ม ขณะที่ไอศกรีมลดไขมันที่ใช้ OKP มีอัตราการละลายไม่แตกต่างกับไอศกรีมลดไขมันที่ใช้ GG ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณารูปภาพความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายในช่วง 20 - 40 นาที (ภาพที่ 22) พบว่าการใช้ OKW และ LBG สามารถชะลออัตราการละลายของ

ไอศกรีมลดไขมันในช่วง 30 นาทีแรกของการละลายให้ต่ำกว่าไอศกรีมไขมันเต็มได้ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับร้อยละของไอศกรีมที่ละลายทุกๆ 10 นาทีแสดงในภาคผนวก ค

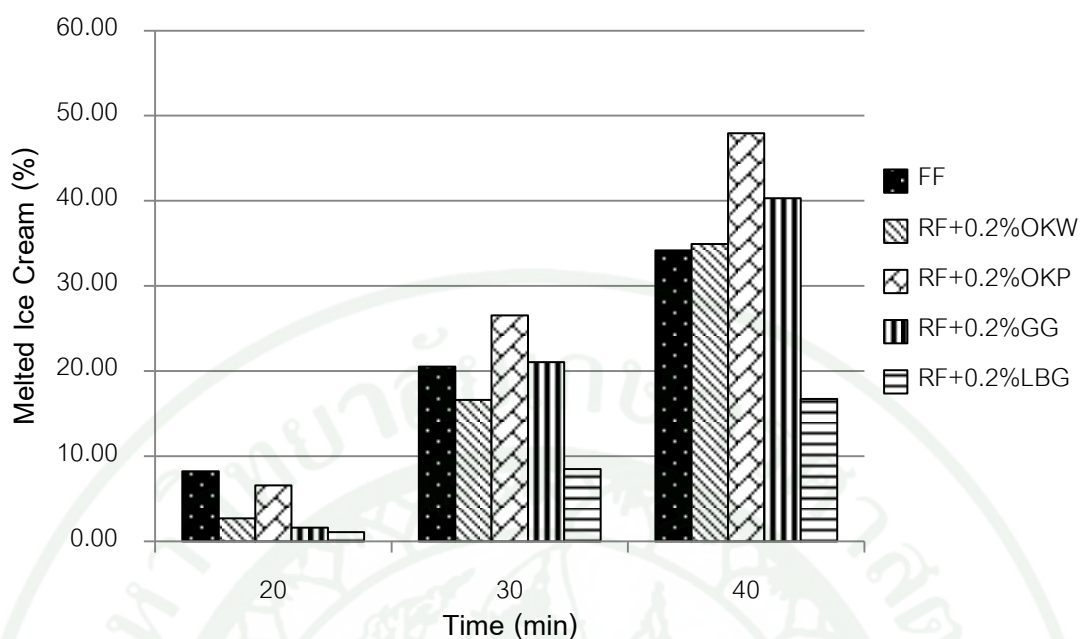
จากภาพที่ 23 ซึ่งแสดงลักษณะการละลายของไอศกรีม จะสังเกตเห็นว่ารูปร่างขณะละลายของไอศกรีมลดไขมันที่เติม OKW มีลักษณะใกล้เคียงกับรูปร่างขณะละลายของไอศกรีมไขมันเต็ม ขณะที่ไอศกรีมลดไขมันที่เติม OKP และ GG จะมีรูปร่างขณะละลายค่อนข้างกลม และไม่มีส่วนของไอศกรีมที่ละลายแล้วค้างอยู่บนตะแกรง ขณะที่ไอศกรีมลดไขมันที่ใช้ LBG มีส่วนของไอศกรีมที่ละลายแล้วค้างอยู่บนตะแกรงลวดที่ใช้ทดสอบหาค่าการละลายของไอศกรีม ทั้งนี้เนื่องจาก LBG สามารถเกิดโครงสร้างเจล (Weak gel structure) เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง (Patmore *et al.*, 2003) ทำให้ไอศกรีมที่ละลายแล้วมีลักษณะชั้นหนืดไหลผ่านตะแกรงลวดได้ยาก จึงมีส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรงมาก

ตารางที่ 16 ผลของพอลิแซ็กคาไรด์ต่อเวลาที่ไอศกรีมละลายจนเกิดหยดแรก (First dripping time) และอัตราการละลายในช่วง 20 - 60 นาที (Melting rate) ของไอศกรีม

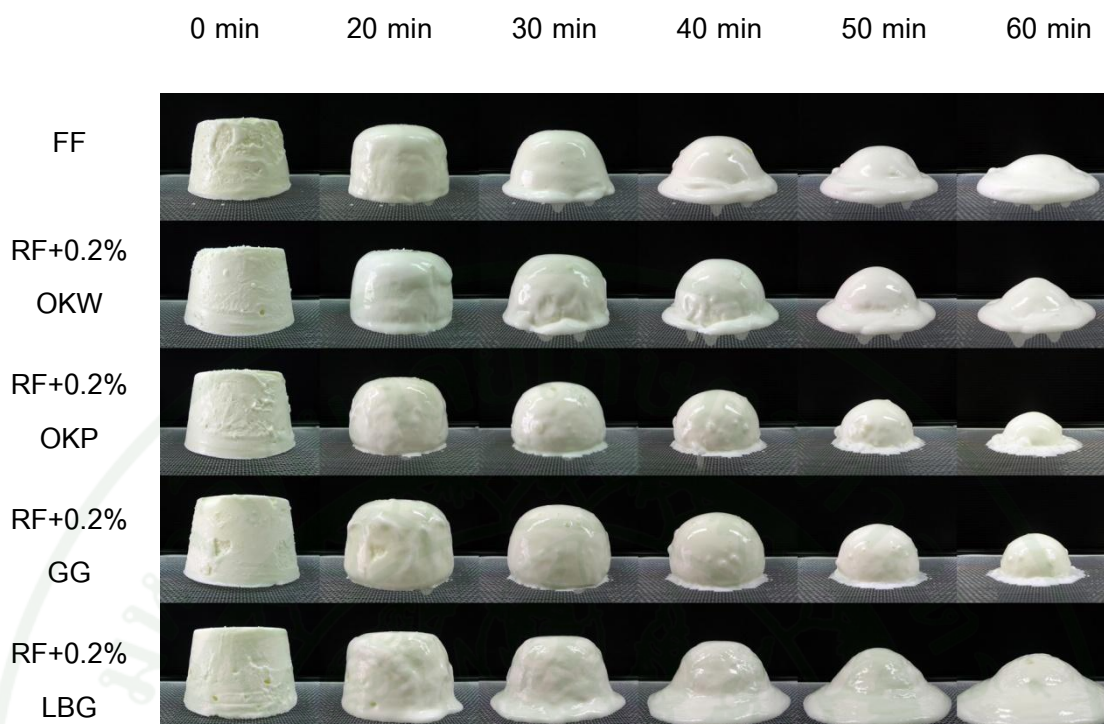
Treatment	First dripping time (min)	Melting rate (% min ⁻¹ , from 20-60 min)
FF	11.00 ^a ± 2.00	1.321 ^b ± 0.0447
RF+0.2%OKW	15.00 ^{bc} ± 2.00	1.597 ^c ± 0.0730
RF+0.2%OKP	13.00 ^{ab} ± 2.65	1.938 ^d ± 0.0402
RF+0.2%GG	17.00 ^c ± 1.00	1.991 ^d ± 0.0403
RF+0.2%LBG	16.33 ^{bc} ± 1.53	0.799 ^a ± 0.0515

หมายเหตุ a - d ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

FF = Full fat ice cream (10% Milk fat), RF = Reduced-fat ice cream (5% Milk fat), OKW = Okra cell wall powder, OKP = Water soluble okra polysaccharide powder, GG = Guar gum, LBG = Locust bean gum



ภาพที่ 22 ผลของพอลิแซ็กคาไรด์ต่อร้อยละของน้ำหนักรีมไอศกรีมที่ละลายทุกๆ 10 นาที
 FF = Full fat ice cream (10% Milk fat), RF = Reduced-fat ice cream (5% Milk fat), OKW = Okra cell wall powder, OKP = Water soluble okra polysaccharide powder, GG = Guar gum, LBG = Locust bean gum



ภาพที่ 23 ผลของพอลิแซ็กคาไรด์ต่อลักษณะการละลายของไอศกรีม

FF = Full fat ice cream (10% Milk fat), RF = Reduced-fat ice cream (5% Milk fat), OKW = Okra cell wall powder, OKP = Water soluble okra polysaccharide powder, GG = Guar gum, LBG = Locust bean gum

4.5 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยให้ผู้ทดสอบจำนวน 40 คนให้คะแนนความแตกต่างระหว่างตัวอย่างไอศกรีมลดไขมันที่ใช้พอลิแซ็กคาไรด์เป็นสารทดแทนไขมันเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมซึ่งเป็นไอศกรีมไขมันเต็ม ผู้ทดสอบให้คะแนนบอกขนาดความแตกต่างของลักษณะที่กำหนดเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมว่า มากกว่า (+) น้อยกว่า (-) หรือไม่แตกต่าง (0) โดยใช้สเกลตั้งแต่ -5 ถึง 5 ตามตัวอย่างแบบทดสอบการเปรียบเทียบความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมในภาคผนวก ง โดยพิจารณาลักษณะด้านความแน่นเนื้อ ความเรียบเนียน กลิ่นรส ความเคลือบมันในปาก และการละลายในปาก จากตารางที่ 17 พบว่าตัวอย่างไอศกรีมลดไขมันที่ใช้พอลิแซ็กคาไรด์ทดแทนไขมันมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อ ความเรียบเนียน

กลิ่นรส ความเคลือบมันในปาก และการละลายในปากไม่แตกต่างกันทางสถิติกับไอศกรีมไขมันเต็ม ($p > 0.05$)

จากผลการทดลองข้างต้นชี้ให้เห็นว่าการใช้พอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมลดไขมันสามารถปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ให้ใกล้เคียงหรือดีกว่าไอศกรีมไขมันเต็มได้ โดย OKW และ OKP ทำให้ไอศกรีมลดไขมันมีค่าความแน่นแข็งไม่แตกต่างกับไอศกรีมไขมันเต็ม และยังสามารถยืดระยะเวลาการละลายจนเริ่มเกิดหยดแรกของไอศกรีมได้นานกว่าไอศกรีมไขมันเต็ม ถึงแม้ว่าไอศกรีมลดไขมันที่เติม OKW และ OKP จะมีอัตราการละลายสูงกว่าไอศกรีมไขมันเต็ม แต่ OKW สามารถชะลอการละลายของไอศกรีมลดไขมันในช่วง 30 นาทีแรกของการละลายได้ดีกว่าไอศกรีมไขมันเต็ม ซึ่งช่วงเวลา 30 นาทีเพียงพอสำหรับเวลาที่ใช้ในการบริโภคไอศกรีม นอกจากนี้ OKW และ OKP สามารถเพิ่มการขึ้นฟูของไอศกรีมลดไขมันให้สูงกว่าไอศกรีมไขมันเต็มได้ ซึ่งถือเป็นข้อได้เปรียบต่อการผลิตไอศกรีม ทั้งนี้ผู้ทดสอบทั่วไปไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างไอศกรีมลดไขมันที่เติม OKW และ OKP กับไอศกรีมไขมันเต็มได้ อาจเป็นไปได้ว่าการใช้ OKW และ OKP สามารถปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมลดไขมันให้ใกล้เคียงกับไอศกรีมไขมันเต็มได้

ตารางที่ 17 คะแนนความแตกต่างด้านความแน่นเนื้อ ความเรียบเนียน กลิ่นรส ความเคลือบมัน ในปาก และการละลายในปากของไอศกรีมลดไขมันที่เติมพอลิแซ็กคาไรด์ เปรียบเทียบกับไอศกรีมไขมันเต็ม (ตัวอย่างควบคุม)

ตัวอย่าง	คะแนนความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม *				
	ความแน่นเนื้อ ^{ns}	ความเรียบเนียน ^{ns}	กลิ่นรส ^{ns}	ความเคลือบมันในปาก ^{ns}	การละลายในปาก ^{ns}
FF	-0.03 ± 1.90	0.48 ± 1.20	0.50 ± 1.78	0.43 ± 1.77	0.10 ± 1.46
RF+0.2%OKW	-0.28 ± 1.96	-0.28 ± 1.84	0.10 ± 1.81	-0.30 ± 1.64	0.03 ± 1.64
RF+0.2%OKP	-0.20 ± 2.10	0.03 ± 1.99	0.20 ± 2.32	-0.35 ± 1.99	0.15 ± 2.14
RF+0.2%GG	-0.13 ± 2.08	0.28 ± 1.75	-0.18 ± 2.15	-0.18 ± 1.74	0.23 ± 1.89
RF+0.2%LBG	-0.38 ± 2.01	0.45 ± 1.77	-0.33 ± 1.90	0.15 ± 1.81	0.18 ± 1.58

หมายเหตุ * ผู้ทดสอบให้คะแนนบอกขนาดความแตกต่างของลักษณะที่กำหนดเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมว่า มากกว่า (+) น้อยกว่า (-) หรือ ไม่แตกต่าง (0) โดยใช้สเกลตั้งแต่ -5 ถึง 5 ตามตัวอย่างแบบทดสอบการเปรียบเทียบความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมในภาคผนวก ง

ns หมายถึง ลักษณะดังกล่าวของตัวอย่างไม่แตกต่างกันทางสถิติจากตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$)

FF = Full fat ice cream (10% Milk fat), RF = Reduced-fat ice cream (5% Milk fat), OKW = Okra cell wall powder, OKP = Water soluble okra

polysaccharide powder, GG = Guar gum, LBG = Locust bean gum

คำอธิบายของแต่ละลักษณะที่ทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ความแน่นเนื้อ (Firmness) หมายถึง แรงที่ต้องใช้ลิ้นกดไอศกรีมกับเพดานปาก ความเรียบเนียน (Smoothness) หมายถึง การสัมผัสของลิ้นกับอนุภาคต่างๆ หรือ ผลึกน้ำแข็ง

กลิ่นรส (Flavor) หมายถึง ความแรงของการรับรู้กลิ่นรสของไอศกรีมอยู่ในปาก

ความเคลือบมันในปาก (Mouth coating) หมายถึง ความรู้สึกมีไขมันเคลือบในปาก ขณะรับประทานไอศกรีมจนละลายหมด

การละลายในปาก (Meltdown) หมายถึง การละลายของไอศกรีมภายในปากจนเป็นของเหลวทั้งหมด

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การสกัดพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวโดยเริ่มจากการเตรียมของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ (Alcohol Insoluble solids; AIS) ด้วยการสกัดผักกระเจี๊ยบเขียวสดหลังแยกเมล็ดออกด้วยเอทานอล มีปริมาณผลได้ (Yield) ของ AIS เท่ากับ 3.8% ของน้ำหนักผักกระเจี๊ยบเขียวสด AIS ส่วนหนึ่งถูกบดเป็นผงละเอียด (ขนาดเล็กกว่า 200 mesh) ได้เป็น Okra cell wall powder (OKW) OKW มีปริมาณผลได้เท่ากับ 2.7% ของน้ำหนักผักกระเจี๊ยบเขียวสด หรือ 71.46% เมื่อเทียบกับน้ำหนักของ AIS

AIS อีกส่วนนำไปสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยน้ำและนำสารละลายส่วนใสไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ได้ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) มีปริมาณผลได้ของ OKP เท่ากับ 0.74% ของน้ำหนักผักกระเจี๊ยบเขียวสด หรือ 19.47% เทียบกับน้ำหนักของ AIS

2. สารละลาย OKW และ OKP ที่ความเข้มข้น 0.1 - 0.5% (w/w) มีพฤติกรรมการไหลแบบ Herschel-Bulkley และที่ความเข้มข้นเดียวกันสารละลายของ OKP มีความหนืดมากกว่าสารละลายของ OKW เนื่องจาก OKP มีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ที่ให้ความหนืดมากกว่า OKW

3. การใช้ OKW ที่ความเข้มข้น 0.2% สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมลดไขมันให้ใกล้เคียงกับไอศกรีมไขมันเต็ม โดยมีค่าความหนืดปรากฏของไอศกรีมเหลว (Ice cream mix) ความแน่นแข็ง และอัตราการละลายใกล้เคียงกับไอศกรีมไขมันเต็ม ขณะที่ค่าร้อยละการขึ้นฟูสูงกว่าไอศกรีมไขมันเต็ม และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ OKW และ OKP เป็น 0.4% ทำให้ค่าความหนืดปรากฏของไอศกรีมเหลว ความแน่นแข็ง และอัตราการละลายของไอศกรีมลดไขมันเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาปริมาณไอศกรีมที่ละลายของในช่วง 30 นาทีแรก พบว่าการใช้ OKW ที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4% และ OKP ที่ 0.2% สามารถชะลอการละลายของไอศกรีมลดไขมันให้ช้ากว่าไอศกรีมไขมันเต็ม และไอศกรีมลดไขมันที่ไม่มีการเติม OKW หรือ OKP

4. เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ OKW และ OKP กับพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกเปรียบเทียบกับกัวร์กัม และโลคัสبینกัม ที่ความเข้มข้นเดียวกันคือ 0.2% (w/w) พบว่าไฮดรอกซีลิดไขมันที่ใช้ OKW และ OKP มีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับไฮดรอกซีลิดไขมันเต็ม โดยที่มีค่าการขึ้นฟูสูงกว่า ยกเว้นคุณสมบัติด้านการละลายที่ LBG สามารถชะลอการละลายของไฮดรอกซีลิดไขมันได้ดีกว่าพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่น และเมื่อประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยการให้คะแนนความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม พบว่าตัวอย่างไฮดรอกซีลิดไขมันที่ใช้พอลิแซ็กคาไรด์ทั้งสองชนิดทดแทนไขมันมีคะแนนด้านความแน่นเนื้อ ความเรียบเนียน กลิ่นรส ความเคลือบมันในปาก และการละลายในปากไม่แตกต่างกันทางสถิติกับไฮดรอกซีลิดไขมันเต็ม ($p > 0.05$)

ข้อเสนอแนะ

1. จากการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในตัวอย่าง OKW และ OKP พบว่ามีปริมาณค่อนข้างสูงทางผู้วิจัยจึงตั้งข้อสังเกตเพื่อทำการศึกษาในโอกาสต่อไปว่าปริมาณแร่ธาตุของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวจากงานวิจัยนี้ประกอบด้วยแร่ธาตุชนิดใด ซึ่งอาจวิเคราะห์ด้วยวิธี Atomic absorption spectrophotometer หรือ inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS)

2. การดัดแปรโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวด้วยวิธีทางเคมี เช่น การใช้กรด เอนไซม์ หรือ แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ได้พอลิแซ็กคาไรด์ที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนไปอาจนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ไฮดรอกซีลิดไขมันเพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติให้ใกล้เคียงไฮดรอกซีลิดไขมันเต็มได้ เช่น ช่วยเพิ่มความหนืดของไฮดรอกซีลิดไขมัน ช่วยเพิ่มความเรียบเนียน หรือช่วยให้ไฮดรอกซีลิดไขมันละลายช้าลง

3. การทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ไฮดรอกซีลิดไขมันสามารถใช้สารทดแทนไขมันชนิดอื่น เช่น สารทดแทนไขมันประเภทโปรตีน ไขมัน หรือคาร์โบไฮเดรต หรืออาจใช้สารทดแทนไขมันหลายๆ ชนิดร่วมกัน เพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทั้งทางเคมี กายภาพ และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไฮดรอกซีลิดไขมันให้ดียิ่งขึ้นได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง. 2555. Import-Export Statistics. แหล่งที่มา:

<http://internet1.customs.go.th/ext/Statistic/StatisticIndex2550.jsp>, 13 เมษายน 2555.

กระทรวงสาธารณสุข. 2544. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 222) พ.ศ. 2544 เรื่อง ใศศกรีม. 24 กรกฎาคม 2544.

จุฑารัตน์ โกวิทยา. 2549. ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของใศศกรีมวานิลลาสดไขมันที่ใช้ ใญลลนเป็นสารทดแทนไขมัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เฉลิมเกียรติ โภคาวัฒนา, ภัศรา ชวประดิษฐ์, ปิยรัตน์ เขียนมีสุข และ นิยมรัฐ ไตรศรี. 2536.

กระเจียบเขียว. ห้องสมุดความรู้การเกษตร. แหล่งที่มา:

http://www.doae.go.th/library/html/veget_all.html, 31 มีนาคม 2553.

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. 2550. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วชิราภรณ์ หมั่นเพียร. 2549. การดัดแปรพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวด้วย แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์และเอทิลเอมีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุขสันต์ สุทธิผลไพบุลย์. 2550. กระเจียบเขียวส่งออก. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. แหล่งที่มา: http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/plant/herb_gar/krajeab.pdf, 7 ธันวาคม 2550.

อรัญญา พรหมกุล. 2554. **คุณลักษณะและคุณสมบัติการเกิดฟิล์มของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียว และผลของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวต่อคุณสมบัติของฟิล์มผสมจากโปรตีนเวย์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Acquistucci, R. and R. Francisci. 2002. Effect of okra (*Hibiscus esculentus* L.) addition on the technological properties of a wheat flour. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 53: 375-379.

Aime, D.B., S.D. Arntfield, L.J. Malcolmson and D. Ryland. 2001. Textural analysis of fat reduced vanilla ice cream products. *Food Res. Int.* 34: 237-246.

Akhtar, M., B.S. Murray and E. Dickinson. 2006. Perception of creaminess of model oil-in-water dairy emulsion: Influence of the shear-thinning nature of a viscosity-controlling hydrocolloid. *Food Hydrocolloid.* 20: 839-847.

Akoh, C.C. 1998. Fat replacers. *Food Technol.* 52: 47-53.

Andersson, R., E. Westerlund and P. Åman. 2006. Cell-Wall Polysaccharides: Structural, Chemical, and Analytical Aspects, pp. 129-272. *In* A.-C. Eliasson, ed. **Carbohydrates in Food.** CRC Press, Florida.

Anonymous. 2014. **Okra-Food Facts & History.** Available Source: <http://www.foodreference.com/html/artokra.html>, March 31, 2014.

AOAC. 2005. **Official Methods of Analysis of the AOAC International.** 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland.

- BeMiller, J.N., R.L. Whistler and D.G. Barkalow. 1993. Aloe, Chia, Flex seed, Okra, Psyllium seed, Quince seed, and Tamarind Gums, pp. 227-256. *In* R.L. Whistler and J.N. BeMiller, eds. **Industrial Gums Polysaccharide and their Derivatives**. Academic Press, Inc., San Diego.
- Bhat, U. and R.N. Tharanathan. 1986. Fractionation of okra mucilage and structural investigation of an acidic polysaccharide. **Carbohydr. Res.** 148: 143-147.
- _____ and _____. 1987. Functional properties of okra (*Hibiscus esculentus* L.) mucilage. **Starch** 39: 165-167.
- Bourne, M.C. 2002. **Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement**. 2nd ed. Academic Press, New York.
- Brejholt, S.M. 2010. Pectin, pp. 237-256 *In* A. Imeson, ed. **Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents**. Blackwell Publishing Ltd., Singapore.
- Chen, W., L. Duizer, M. Corredig and H.D. Goff. 2010. Addition of soluble soybean polysaccharides to dairy products as a source of dietary fiber. **J. Food Sci.** 75: C478-C484.
- Clarke, C. 2004. **The Science of Ice Cream**. The Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- Frøst, M.B., H. Heymann, W.L.P. Bredie, G.B. Dijksterhuis and M. Martens. 2005. Sensory measurement of dynamic flavour intensity in ice cream with different fat levels and flavourings. **Food Qual. Pref.** 16: 305-314.

Garcia, R.S., R.T. Marshall and H. Heymann. 1995. Lowfat ice cream from freeze-concentrated versus heat-concentrated nonfat milk solids. *J. Dairy Sci.* 78: 2345-2351.

Georgiadis, N., C. Ritzoulis, G. Sioura, P. Kornezou, C. Vasiliadou and C. Tsiptsias. 2011. Contribution of okra extracts to the stability and rheology of oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloid.* 25: 991-999.

Glicksman, M. 1982. Functional properties of hydrocolloids, pp. 47 - 99. *In* M. Glicksman ed. **Food Hydrocolloids Volume I**. CRC Press, Florida.

Goff, H.D., B. Freslon, M.E., Sahagian, T.D. Hauber, A.P. Stone and D.W. Stanley. 1995. Structural development in ice cream - dynamic rheological measurements. *J. Texture Stud.* 26: 517-536.

_____ and R.W. Hartel. 2004. Ice cream and frozen desserts, pp. 499-570. *In* Hui, Y.H., P. Cornillon, I.G. Legaretta, M.H. Lim, K.D. Murrell and Wai-Kit Nip, eds. **Handbook of Frozen Foods**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Guinard, J.X., C. Zoumas-Morse, L. Mori, B. Uatoni, D. Panyam and A. Kilara. 1997. Sugar and fat effects on sensory properties of ice cream. *J. Food Sci.* 62: 1087-1094.

Hunter, R.S. 1975. **The measurement of appearance**. John Wiley and Sons, New York.

Hyvönen, L., M. Linna, H. Tuorila and G. Dijksterhuis. 2003. Perception of melting and flavor release of ice cream containing different types and contents of fat. *J. Dairy Sci.* 86: 1130-1138.

- Kailasapathy, K. and W. Songvanich. 1998. Effect of replacing fat in ice cream with fat mimetics. **Food Aust.** 50: 169-173.
- Klavons, J.A. and R.D. Bennett. 1986. Determination of methanol using alcohol oxidase and its application to methyl ester content of pectins. **J. Agric. Food Chem.** 34: 597-599.
- Lapasin, R. and S. Prici. 1995. **Rheology of Industrial Polysaccharides: Theory and Applications.** Blackie Academic and Professional, London.
- Lengsfeld, C., F. Titgemeyer., G. Faller and A. Hensel. 2004. Glycosylated compounds from okra inhibit adhesion of *Helicobacter pylori* to human gastric mucosa. **J. Agric. Food Chem.** 52: 1495-1503.
- Li, Z., R. Marshall, H. Heymann and L. Fernando. 1997. Effect of milk fat content on flavor perception of vanilla ice cream. **J. Dairy Sci.** 80: 3133-3141.
- Marshall, R.T., H.D. Goff and R.W. Hartel. 2003. **Ice cream.** 6th ed. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Meilgaard, M.C., G.V. Civille and B.T. Carr. 2006. **Sensory Evaluation Techniques.** 4th ed. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida.
- Melton, L.D. and B.G. Smith. 2001. Determination of the uronic acid content of plant cell walls using a colorimetric assay, pp. E3.3.1-E3.3.4. *In* R.E. Wrolstad, T.E. Acree, H. An, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D.M. Smith and P. Sporns, eds. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry.** John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

- Mezger, T.G. 2002. **The rheology handbook: for users of rotational and oscillatory rheometers.** Vincentz Network GmbH & Co. KG, Germany.
- Morris, E.R. 1990. Industrial hydrocolloids, pp. 449-470. *In* D.M. Bloor and E. Wyn-Jones, eds. **The Structure, Dynamics and Equilibrium Properties of Colloidal Systems.** Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Muse, M.R. and R.W. Hartel. 2004. Ice cream structure elements that affect melting rate and hardness. **J. Dairy Sci.** 87: 1-10.
- Ndjouenkeu, R., F.M. Goycoolea, E.R. Morris and J.O. Akingbala. 1996. Rheology of okra (*Hibiscus esculentus* L.) and dika nut (*Irvingia gabonensis*) polysaccharides. **Carbohydr. Polym.** 29: 263-269.
- Patmore, J.V., H.D. Goff and S. Fernandes. 2003. Cryo-gelation of galactomannans in ice cream model systems. **Food Hydrocolloid.** 17: 161-169.
- Prommakool, A., T. Sajjaanantakul, T. Janjarasskul and J.M. Krochta. 2011. Whey protein-okra polysaccharide fraction blend edible films: tensile properties, water vapor permeability and oxygen permeability. **J. Sci. Food Agric.** 91: 362-369.
- Ralet, M.C., V. Dronnet, H.C. Buchholt and J.F. Thibault. 2001. Enzymatically and chemically de-esterified lime pectins: characterisation, polyelectrolyte behaviour and calcium binding properties. **Carbohydr. Res.** 336: 117-125.
- Romanchik-Cerpovicz, J.E., A.C. Costantino and L.H. Gunn. 2006. Sensory evaluation ratings and melting characteristics show that okra gum is an acceptable milk-fat ingredient substitute in chocolate frozen dairy dessert. **J. Am. Diet Assoc.** 106: 594-597.

- Romanchik-Cerpovicz, J.E., R.W. Tilmon and K.A. Baldree. 2002. Moisture retention and consumer acceptability of chocolate bar cookies prepared with okra gum as a fat ingredient substitute. **J. Am. Diet Assoc.** 102: 1301-1303.
- Schmidt, K., A. Lundy, J. Reynolds and L.N. Yee. 1993. Carbohydrate or protein based fat mimicker effects on ice milk properties. **J. Food Sci.** 58: 761-763.
- Schols, H.A. and A.G.J. Voragen. 2002. The chemical structure of pectins, pp. 1-29. *In* G.B. Seymour and J.P. Knox, eds. **Pectins and their Manipulation**. Blackwell Publishing Ltd., Oxford.
- Sengkhampan, N. 2009. **Chemical, physical and biological features of Okra pectin**. Ph.D Thesis, Wageningen University.
- Sengkhampan, N., L.M.C. Sagis, R. de Vries, H.A. Schols, T. Sajjaanantakul and A.G.J. Voragen. 2010. Physicochemical properties of pectins from okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). **Food Hydrocolloid.** 24: 35-41.
- Sengkhampan, N., R. Verhoef, H.A. Schols, T. Sajjaanantakul and A.G.J. Voragen. 2009. Characterization of cell wall polysaccharide from okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). **Carbohydr. Res.** 344: 1824-1832.
- Sharma, H.K., S. Lahkar and L.K. Nath. 2013. Extraction, characterisation and compatibility study of polysaccharides from *Dillenia indica* and *Abelmoschus esculentus* with metformin hydrochloride for development of drug delivery system. **Int. J. Pharm. Tech. Res.** 5: 275-283.
- Sofjan, R.P. and R.W. Hartel. 2004. Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. **Int. Dairy J.** 14: 255-262.

Tomoda, M., K. Shimada, Y. Saito and M. Sugi. 1980. Plant mucilages. XXVI. Isolation and structure features of a mucilage, "Okra-mucilage F", from the immature fruits of *Abelmoschus esculentus*. **Chem. Pharm. Bull.** 28(10): 2933-2940.

_____, N. Shimizu, R. Gonda, M. Kanari, H. Yamada and H. Hikino. 1989. Anticomplementary and hypoglycemic activity of Okra and Hibiscus mucilage. **Carbohydr. Res.** 190: 323-328.

Whistler, R.L. 1993. Introduction to industrial gums, pp. 1-19. *In* R.L. Whistler and J.N. BeMiller, eds. **Industrial Gums Polysaccharide and their Derivatives**. Academic Press, Inc., San Diego.

Whistler, R.L. and J.N. BeMiller. 1999. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. Egan Press, Minnesota.

White, C.H. 1993. Low-fat dairy products, pp. 253-271. *In* A.M. Altschul, ed. **Low-Calorie Foods Handbook**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Woolfe, M.L., M.F. Chaplin and G. Otchere. 1977. Studies on the mucilages extracted from okra fruits (*Hibicus esculentus* L.) and baobab leaves (*Adansonia digitata* L.). **J. Sci. Food Agric.** 28: 519-529.

Yamazaki, E., O. Kurita and Y. Matsumura. 2009. High viscosity of hydrocolloid from leaves of *Corchorus olitorius* L. **Food Hydrocolloid.** 23: 655-660.

Ziegler, H.F. and H.J. Buehler. 1965. **Method of Improving the Whipping Characteristics of Egg Whites**. U.S. Patent 3,219,457.



ภาคผนวก



1. การวิเคราะห์ความชื้น (AOAC, 2005)

1.1 อบภาชนะสำหรับหาความชื้น (Moisture can) ในตู้อบลมร้อน (Heating oven, FD115, Binder, Germany) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำออกจากตู้อบใส่ในโถแก้วดูความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องแล้วจึงชั่งน้ำหนัก

1.2 ทำซ้ำข้อ 1.1 จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันมีค่าไม่เกิน 3 มิลลิกรัม

1.3 ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1 - 2 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ใส่ลงในภาชนะที่ทราบน้ำหนักแล้ว นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบใส่ในโถแก้วดูความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่างที่อบแล้ว จากนั้นนำเข้าตู้อบอีกครั้งนานประมาณ 1 ชั่วโมง และทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันมีค่าไม่เกิน 3 มิลลิกรัม

$$\text{ความชื้น (\%w/w)} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)}} \times 100$$

(Wet basis)

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2005)

2.1 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ห่อตัวอย่างด้วยกระดาษกรองที่ปราศจากไนโตรเจนใส่ลงในหลอดย่อย และใช้กระดาษกรองเปล่าเป็น Blank

2.2 ใส่สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟตและโพแทสเซียมซัลเฟต (อัตราส่วน 0.5:10) 10 กรัม และกรดซัลฟิวริกเข้มข้นปริมาตร 20 มิลลิลิตร

2.3 วางหลอดย่อยในเตาย่อย (Digestion unit, K-435, BÜCHI Labortechnik AG, Switzerland) แล้วประกอบสายยางระหว่างฝาครอบ ขวดใส่ต่าง และเครื่องจับไอกรด (Scrubber, B-414, BÜCHI Labortechnik AG, Switzerland)

2.4 เปิดสวิตช์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อย ทำการย่อยนานประมาณ 1 ชั่วโมง หรือจนได้สารละลายใส

2.5 หลังจากสารละลายเย็นแล้ว ต่อดูดด้วยหยดเข้ากับเครื่องกลั่น (Distillation unit, B-324, BÜCHI Labortechnik AG, Switzerland) เติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 40% ปริมาตร 95 มิลลิลิตร รองรับของเหลวที่กลั่นด้วยขวดรูปชมพู่ที่บรรจุกรดบอริกความเข้มข้น 4% ปริมาตร 60 มิลลิลิตร และหยดอินดิเคเตอร์ผสมระหว่างโบรโมครีซอลกรีนและเมทิลเรด 3 หยด (ได้สารละลายสีชมพูอ่อน) ระยะเวลาการกลั่นประมาณ 5 นาที

2.6 เมื่อสิ้นสุดการกลั่น (ได้สารละลายสีฟ้าหรือเขียว) ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้กับสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.2 N (ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนจากการ Standardize ด้วยโซเดียมคาร์บอเนตที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว) ไตเตรทจนได้สารละลายสีชมพูอ่อนอีกครั้ง

2.7 คำนวณหาปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{ไนโตรเจน (\%w/w) (Wet basis)} = \frac{(A - B) \times N \times 1.4007}{W}$$

$$\text{โปรตีน (\%w/w) (Wet basis)} = \frac{(A - B) \times N \times 1.4007 \times F}{W}$$

เมื่อ A คือ ปริมาณสารละลายกรดที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาณสารละลายกรดที่ใช้ไตเตรทกับ Blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรด (นอร์มัล)

W คือ น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

F คือ แฟกเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณโปรตีน (6.25)

3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2005)

3.1 อบ Extraction cup ในตู้อบลมร้อน (Heating oven, FD115, Binder, Germany) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถแก้วดูดความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิของถ้วยใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องแล้วจึงชั่งน้ำหนัก อบซ้ำจนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันมีค่าไม่เกิน 3 มิลลิกรัม

3.2 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1 - 2 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ห่อด้วยกระดาษกรองใส่ลงใน Cellulose thimble

3.3 เปิดเครื่อง Soxtec™ System HT 1043 Extraction Unit (Tecator, Sweden) เพื่อ warm heater และ เครื่องทำความเย็น (Cooling bath) จนได้อุณหภูมิที่ตั้งไว้

3.4 นำ Thimble ที่มีตัวอย่างสวมเข้ากับ Thimble adapter จากนั้นนำเข้าเครื่อง Soxtec System HT พร้อมทั้งเปิดปั๊มน้ำเครื่องทำความเย็น

3.5 เติมนิโตรเจนเหลวลงใน Extraction cup ประมาณ 50 มิลลิลิตร วางลงใน Cup holder แล้วต่อเข้ากับเครื่อง Soxtec™ System HT Extraction Unit

3.6 โยกคั่นโยกลงเพื่อล๊อคคานของเครื่องสกดกับ Extraction cup ให้แน่น เปิด Condenser valve ให้ปิโตรเลียมอีเทอร์ไหลเวียน

3.7 ต้มตัวอย่างกับปิโตรเลียมอีเทอร์ โดยเลื่อนคั่นโยกของตัวอย่างไปที่ตำแหน่ง Boiling เป็นเวลา 15 นาที

3.8 จากนั้นเลื่อนคั่นโยกของตัวอย่างไปที่ตำแหน่ง Rinsing เป็นเวลา 45 นาที

3.9 เมื่อครบเวลาให้ปิด Condenser valve เพื่อเก็บสารสกัด เป็นเวลา 15 นาที พร้อมทั้ง เปิด Evaporator valve เพื่อลดความดันที่เครื่องสกด และเปิด Aspirator ที่ Soxtec™ System HT 1046 Service unit (Tecator, Sweden) จะช่วยให้สารสกัดระเหยเร็วขึ้น

3.10 เมื่อระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจาก Extraction cup แล้ว ปิด Aspirator และ Evaporator valve ตามลำดับ และดันคั่นโยกขึ้นเพื่อปลดล๊อคคานที่เครื่องสกด นำ Cup holder ออกจากเครื่อง

3.11 ถ้าสกัดไขมันรอบต่อไป ควรเติมนิโตรเจนเหลวใน Extraction cup เพิ่มประมาณ 20 มิลลิลิตร

3.11 อบ Extraction cup ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำออกจากตู้อบใส่ในโถแก้วดูความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิของถ้วยใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องแล้วจึงชั่งน้ำหนัก อบซ้ำจนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันมีค่าไม่เกิน 3 มิลลิกรัม

$$\text{ไขมัน (\%w/w)} = \frac{\text{น้ำหนักถ้วยพร้อมไขมัน (กรัม)} - \text{น้ำหนักถ้วยเปล่า (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

(Wet basis)

4. การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย (Crude Fiber) (AOAC, 2005)

4.1 เตา Fritted glass crucible ในเตาเผา (Muffle furnace, Tactical 308, Gallenkamp, UK) ที่อุณหภูมิ 550 - 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปิดสวิทช์เตาเผา

ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาเผาลดลง จึงนำ Fritted glass crucible ออกจากเตาเผาใส่ในโถแก้วดูความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องแล้วจึงชั่งน้ำหนัก

4.2 ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 1 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ใส่ลงใน Fritted glass crucible ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน

4.3 นำ Fritted glass crucible ที่บรรจุตัวอย่างแล้วใส่ Crucible holder แล้วประกอบเข้ากับเครื่อง Fibertec™ System M 1020 Hot Extractor (Tecator, Sweden) ให้แน่นและล็อกคั่นโยกจึงถอด Crucible holder ออก

4.4 ปรับวาล์วควบคุมการร่งไปที่ตำแหน่ง Closed จากนั้นเปิดฝาเครื่องและเติมน้ำสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.25% (ที่ต้มให้ร้อนแล้ว) ใส่ในแต่ละ Column จนถึงขีดกลาง (ปริมาตรประมาณ 150 มิลลิลิตร) เปิด Heater ปิดฝากันความร้อน รอจนสารละลายกรดเดือด จับเวลา 30 นาที

4.5 เมื่อครบเวลาปิด Heater กรองสารละลายกรดออกโดยเปิดก๊อกน้ำและเลื่อนวาล์วควบคุมการร่งไปที่ตำแหน่ง Vacuum ระหว่างการร่งให้ทำการเป่ากากตัวอย่างเป็นครั้งคราวเพื่อให้ร่งได้เร็วขึ้น โดยเลื่อนวาล์วควบคุมการร่งไปที่ตำแหน่ง Pressure และเปิดปั๊มใบพัด

4.6 เมื่อสารละลายกรดไหลออกจนหมดแล้ว ล้างกากที่เหลือด้วยน้ำกลั่นร้อนจนหมดกรด โดยเติมน้ำกลั่นร้อนใน Column จนถึงขีดกลาง รอจนน้ำกลั่นเดือดแล้วจึงกร่งน้ำกลั่นออกด้วยวิธีเดียวกับการกรองสารละลายกรด

4.7 เมื่อน้ำกลั่นไหลออกจนหมดแล้ว ปรับวาล์วควบคุมการร่งไปที่ตำแหน่ง Closed จากนั้นเปิดฝาเครื่องและเติมน้ำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.25% (ที่ต้มให้ร้อนแล้ว) ใส่ในแต่ละ Column จนถึงขีดกลาง (ปริมาตรประมาณ 150 มิลลิลิตร) เปิด Heater ปิดฝากันความร้อน รอจนสารละลายต่างเดือด จับเวลา 30 นาที

4.8 เมื่อครบเวลาปิด Heater กรองสารละลายต่างออก และล้างด้วยน้ำกลั่นร้อนเช่นเดียวกับข้อ 4.5 - 4.6

4.9 ปิดสวิตช์เครื่อง เสียบ Crucible holder เข้ากับ Fritted glass crucible ปลดล็อกคั่นโยกและถอด Fritted glass crucible ออก

4.10 อบ Fritted glass crucible ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ในโถแก้วดูความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิของ Fritted glass crucible ใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องแล้วจึงชั่งน้ำหนัก อบซ้ำจนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันมีค่าไม่เกิน 3 มิลลิกรัม

4.11 นำ Fritted glass crucible ไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 - 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปิดสวิตช์เตาเผา รอประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาเผา ลดลง จึงนำ Fritted glass crucible ออกจากเตาเผาใส่ในโถแก้วดูความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิของ Fritted glass crucible ใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องแล้วจึงชั่งน้ำหนัก เติมน้ำจนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันมีค่าไม่เกิน 3 มิลลิกรัม

4.12 ส่วนของเส้นใยคือส่วนที่หายไปหลังการเผา โดยคำนวณจากสูตร

$$\text{เส้นใย (\%w/w)} = \frac{\text{น้ำหนักหลังอบ (กรัม)} - \text{น้ำหนักหลังเผา (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

(Wet basis)

5. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AOAC, 2005)

5.1 เตาด้วยกระเบื้องเคลือบ (Crucible) ในเตาเผา (Muffle furnace, Tactical 308, Gallenkamp, UK) ที่อุณหภูมิ 550 - 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ปิดสวิตช์เตาเผา รอประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิภายในเตาเผา ลดลง จึงนำถ้วยกระเบื้องเคลือบออกจากเตาเผา ใส่ในโถแก้วดูความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิของถ้วยกระเบื้องเคลือบ ใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องแล้วจึงชั่งน้ำหนัก

5.2 ทำซ้ำข้อ 5.1 จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันมีค่าไม่เกิน 3 มิลลิกรัม

5.3 ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1 - 2 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปเผาด้วยตะเกียงเบนเสนในตู้ดูดควันจนหมดควัน

5.4 นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 - 600 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีเทาอ่อนหรือสีขาวสม่ำเสมอ นำออกจากเตาเผาใส่ในโถแก้วดูความชื้นจนกระทั่งอุณหภูมิของถ้วยกระเบื้องเคลือบ ใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องแล้วจึงชั่งน้ำหนัก

5.5 ทำซ้ำข้อ 5.4 จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันมีค่าไม่เกิน 3 มิลลิกรัม

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%w/w)} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักหลังเผาและถ้วยเปล่า (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

(Wet basis)

6. การคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ทั้งหมด = $100 - (\% \text{ความชื้น} + \% \text{โปรตีน} + \% \text{ไขมัน} + \% \text{เส้นใย} + \% \text{เถ้า})$
(Total soluble carbohydrate, Wet basis)

7. การวิเคราะห์กรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) (Melton and Smith, 2001)

7.1 ชั่งพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียว 0.005 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ลงในหลอดทดลองขนาดใหญ่ ใส่ Magnetic bar ขนาดเล็กลงในหลอดทดลอง และจุ่มหลอดทดลองในอ่างน้ำแข็งที่วางอยู่บนเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)

7.2 เติมน้ำกลั่นฟิวริกเข้มข้นปริมาตร 1 มิลลิลิตร และเปิดเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก จับเวลา 5 นาที

7.3 เติมน้ำกลั่นฟิวริกเข้มข้นอีก 1 มิลลิลิตร จับเวลา 5 นาที

7.4 เติมน้ำกลั่นปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร จับเวลา 5 นาที

7.5 เติมน้ำกลั่นอีก 0.5 มิลลิลิตร จับเวลา 5 นาที

7.6 เทสารละลายลงในขวดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร สะล้างสารในหลอดทดลอง และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 25 มิลลิลิตร จะได้สารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวความเข้มข้น 0.025%

7.7 ถ่ายสารละลายลงในหลอดสำหรับหมุนเหวี่ยง และนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 2,650 x g ด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge, Z 206 A, Hermle Labortechnik, Germany) เป็นเวลา 20 นาที เพื่อตกตะกอนส่วนที่ไม่ละลาย

7.8 ปิเปตสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวเฉพาะส่วนใสลงในหลอดทดลอง 6 หลอด หลอดละ 400 ไมโครลิตร และใช้น้ำกลั่น 400 ไมโครลิตรเป็น Blank

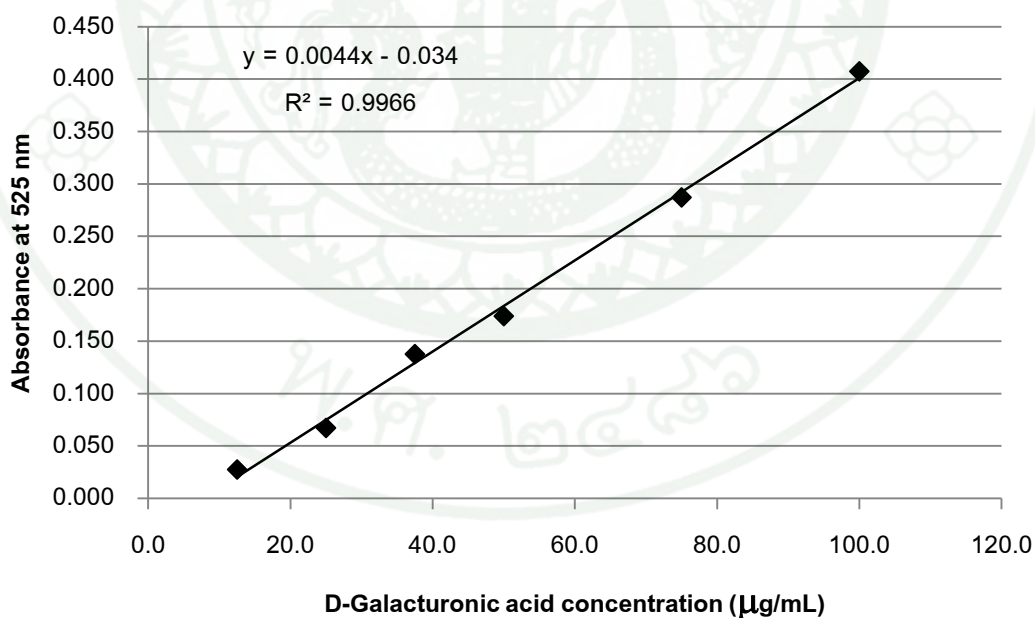
7.9 เติมน้ำกลั่นกรดซัลฟามิกความเข้มข้น 4 โมลาร์ ในโพแทสเซียมซัลฟามัทที่พีเอช 1.6 (4 M Sulfamic acid / potassium sulfamate solution, pH 1.6) ปริมาตร 40 ไมโครลิตร ในทุกหลอดทดลอง เขย่าด้วย Vortex ให้เข้ากัน

7.10 เติมน้ำกลั่นโซเดียมเตตราโบเรตความเข้มข้น 75 มิลลิโมลาร์ ในกรดซัลฟริกเข้มข้น (75 mM Sodium tetraborate in sulfuric acid solution) ปริมาตร 2.4 มิลลิลิตร ในทุกหลอดทดลอง เขย่าให้เข้ากันด้วย Vortex

7.11 ปิดฝาหลอดทดลองก่อนใส่หลอดทดลองในอ่างน้ำเดือด (100 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิในอ่างน้ำแข็ง เป็นเวลา 10 นาที

7.12 เติมสารละลายเมตาไฮดรอกซีไดฟีนิลความเข้มข้น 0.15% ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5% (0.15% m-hydroxydiphenyl in 0.5% NaOH) ปริมาตร 80 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองที่ 1 - 5 และหลอดทดลองที่เป็น Blank ส่วนหลอดทดลองที่ 6 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5% ปริมาตร 80 ไมโครลิตร เพื่อใช้เป็น Sample control เขย่าหลอดทดลองทุกหลอด หลอดละ 2 ครั้ง ด้วย Vortex

7.13 ตั้งหลอดทดลองไว้ 10 นาที แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer, Genesys 10S UV-Vis Spectrophotometer, Thermo Scientific, USA) โดยตั้งค่าเครื่องให้เป็น 0 ด้วย Blank และวัดค่าการดูดกลืนแสงของหลอดทดลองที่ 1 - 5 จากนั้นหาค่าการดูดกลืนแสงของหลอดที่ 1 - 5 ด้วยค่าการดูดกลืนแสงของหลอดที่ 6 คำนวณปริมาณกรดกาแล็กทูโรนิกเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง (%w/w) จากกราฟมาตรฐานของกรดกาแล็กทูโรนิก (ภาพผนวกที่ ก1) การวัดค่าการดูดกลืนแสงต้องวัดให้เสร็จภายใน 1 ชั่วโมง เพราะหลังจากนั้นสีจะจางลงทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อน



ภาพผนวกที่ ก1 กราฟมาตรฐานของกรดกาแล็กทูโรนิกสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณกรดกาแล็กทูโรนิก

8. การวิเคราะห์ปริมาณเมทานอลและ Degree of methyl esterification (Klavons and Bennett, 1986; Yamazaki *et al.*, 2009)

8.1 ชั่งพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียว 0.02 กรัม ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ใส่ในขวดรูปชมพู่ เติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ (0.5 M Potassium hydroxide) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เพื่อย่อยหมู่เมทิลเอสเทอร์ บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

8.2 ปรับพีเอชเป็น 7.5 ด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ (0.5 M Phosphoric acid) จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ พีเอช 7.5 (0.05 M Phosphate buffer, pH 7.5)

8.3 ถ่ายสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวลงในหลอดสำหรับหมุนเหวี่ยง และนำไปหมุนเหวี่ยงที่ 2,650 x g ด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge, Z 206 A, Hermle Labortechnik, Germany) เป็นเวลา 20 นาที เพื่อตกตะกอนส่วนที่ไม่ละลาย

8.4 ปิเปตสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียวเฉพาะส่วนใสลงในหลอดทดลอง 3 หลอด หลอดละ 0.5 มิลลิลิตร และใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เป็น Blank

8.5 เตรียมเอนไซม์แอลกอฮอล์ออกซิเดสจาก *Pichia pastoris* (Alcohol oxidase, EC 1.1.3.13) โดยนำมาเจือจางด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์พีเอช 7.5 ให้ได้ความเข้มข้นของเอนไซม์ 1 Unit ต่อ มิลลิลิตร เติมเอนไซม์ที่เจือจางแล้วปริมาตร 0.5 มิลลิลิตรลงในหลอดทดลองที่มีสารละลายพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจียบเขียว เขย่าให้เข้ากันด้วย Vortex บ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที

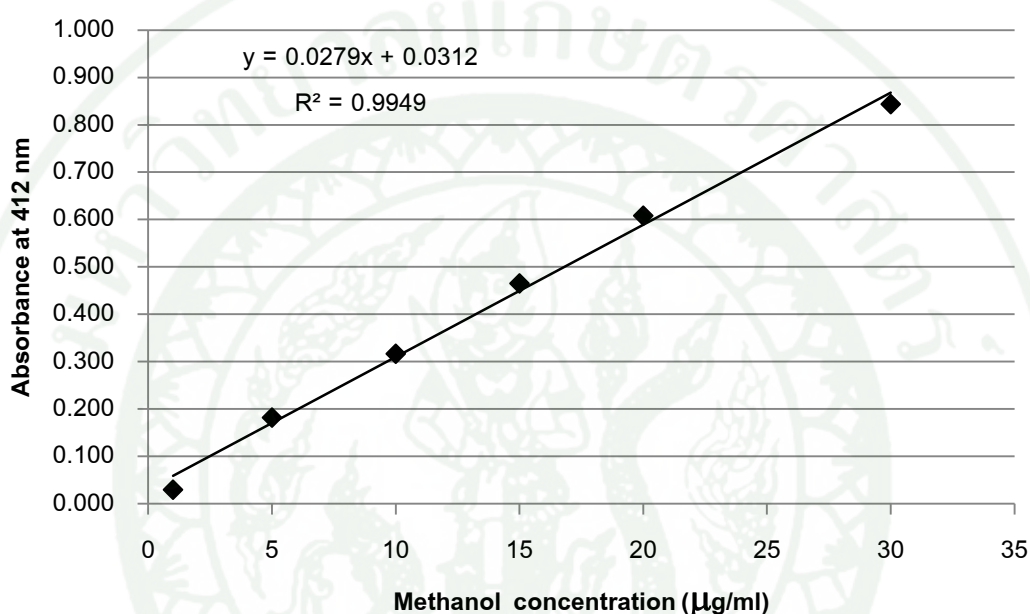
8.6 เติมสารละลายอะซีติลอะซีโตนความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ ในแอมโมเนียมอะซิเตต ความเข้มข้น 2.0 โมลาร์ ในกรดแอสติกความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ (0.02 M Acetylacetone/ 2.0 M ammonium acetate/ 0.05 M acetic acid) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เขย่าให้เข้ากันด้วย Vortex

8.7 ปิดฝาหลอดทดลองแล้วใส่หลอดทดลองลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วตั้งให้เย็นจนเท่ากับอุณหภูมิห้อง

8.8 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตรด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer, Genesys 10S UV-Vis Spectrophotometer, Thermo Scientific, USA) คำนวณปริมาณเมทานอลเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง (%w/w, Dry basis)

จากกราฟมาตรฐานของเมทานอล (ภาพผนวกที่ ก2) และคำนวณค่า Degree of methyl esterification (DM) จากสูตร

$$\text{Degree of methyl esterification (DM)} = \frac{\text{Moles of methanol} \times 100}{\text{Moles of galacturonic acid}}$$



ภาพผนวกที่ ก2 กราฟมาตรฐานของเมทานอลสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเมทานอล

9. การวัดค่าสี

การวัดค่าสีของพอลิแซ็กคาไรด์จากกระเจี๊ยบเขียวด้วยเครื่อง Spectrophotometer (CM-3500d, Konika Minolta Sensing, Inc., Japan) โดยใช้ระบบ CIELAB (Hunter, 1975) แผนภาพของสีแสดงดังภาพผนวกที่ ก3 ค่าที่ทำการวัด ได้แก่

ค่า L^* (Lightness) เป็นค่าความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0 - 100 (0 = สีดำ, 100 = สีขาว)

ค่า a^* (Redness/greenness coordinate) ถ้ามีค่า (+) หมายถึง สีแดง ค่า (-) หมายถึง สีเขียว

ค่า b^* (Yellowness/blueness coordinate) ถ้ามีค่า (+) หมายถึง สีเหลือง ค่า (-) หมายถึง สีน้ำเงิน

ค่า C^* (Chroma) เป็นค่าความเข้มหรือความสดของสีหรือความอิ่มตัวของสี (Color saturation) ที่ค่าความสว่างหนึ่งๆ ถ้ามีค่ามากหมายถึง สีมีความเข้มมากหรือสีสดมาก คำนวณจากสมการ

$$C^* (\text{Chroma}) = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

ค่า h^* (Hue angle) เป็นตัวเลขแสดงค่ามุมที่ระบุว่าสีนั้นอยู่ในตำแหน่งใดในแผนภาพสี คำนวณจากสมการ

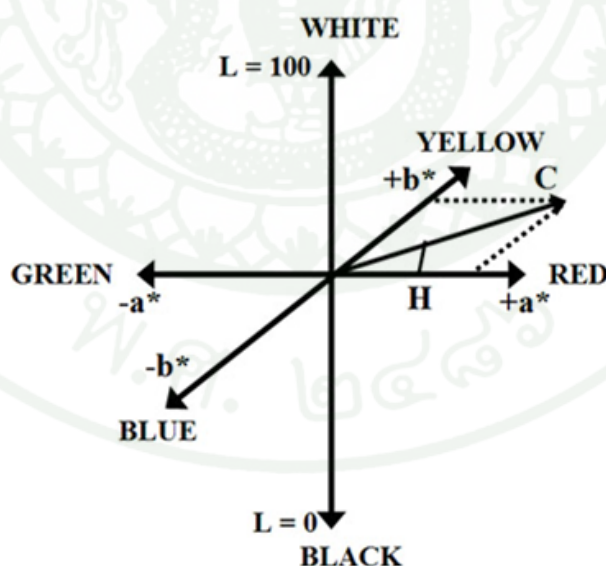
$$h^* (\text{Hue angle}) = \arctan (b^*/a^*)$$

$h^* = 0^\circ$ แสดงว่าวัตถุมีสีแดง

$h^* = 90^\circ$ แสดงว่าวัตถุมีสีเหลือง

$h^* = 180^\circ$ แสดงว่าวัตถุมีสีเขียว

$h^* = 270^\circ$ แสดงว่าวัตถุมีสีน้ำเงิน



ภาพผนวกที่ ก3 แผนภาพของสีในระบบ CIELAB และความสัมพันธ์ของค่า L , a^* , b^* , C^* และ h^*

ที่มา: Hunter (1975)



ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจากการส่งวิเคราะห์

ผู้วิจัยได้ส่งตัวอย่าง Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide (OKP) เพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี โดยส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Food Research and Testing Laboratory		Report No. : C0294/14
Faculty of Science		Issued Date: 2 July 2014
Chulalongkorn University		Sample ID : 141859
Bangkok 10330, Thailand		Page ...1.. of a total of ...1..page
----- begin report -----		

Test Report

Client Name : Asst. Prof. Tanaboon Sajjaanantakul

Client Address : 50 Phaholyothin Road, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900 Thailand.

Sample Description : Okra AIS : white power packed in plastic box, Net weight 100 g

Sampling by : Client

Date Sample Received : 24 June 2014

Date Analyzed : 30 June 2014

Test Results

Test item	Test Results	Test Method
Moisture	11.35 g/100g	105 °C/3hrs.
Ash	8.04 g/100g	AOAC(2012),923.03
Protein	18.08 g/100g	Inhouse method T058 based on AOAC(2012) 991.20
Total Fat	0.90 g/100g	AOAC(2012),922.06
fiber	2.09 g/100g	AOAC(2010),978.10,962.09
Total Carbohydrate	61.63 g/100g	Compendium of methods for food analysis(2003),p2-9

Remark :-

----- end report -----

ภาพผนวกที่ ข1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง Okra cell wall powder (OKW) จากห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Food Research and Testing Laboratory
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Bangkok 10330, Thailand



Report No. : C0295/14
Issued Date: 2 July 2014
Sample ID : 141860
Page ...1.. of a total of ...1..page

----- begin report -----

Test Report

Client Name : Asst. Prof. Tanaboon Sajjaanantakul

Client Address : 50 Phaholyothin Road, Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900 Thailand.

Sample Description : OKP : white sheet packed in Aluminum bag, Net weight 100 g

Sampling by : Client

Date Sample Received : 24 June 2014

Date Analyzed : 30 June 2014

Test Results

Test item	Test Results	Test Method
Moisture	5.58 g/100g	105 °C/3hrs.
Ash	15.74 g/100g	AOAC(2012),923.03
Protein	10.97 g/100g	Inhouse method T058 based on AOAC(2012) 991.20
Total Fat	0.78 g/100g	AOAC(2012),922.06
fiber	0.35 g/100g	AOAC(2010),978.10,962.09
Total Carbohydrate	66.93 g/100g	Compendium of methods for food analysis(2003),p2-9

Remark :-

----- end report -----

ภาพผนวกที่ ข2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง Water soluble okra polysaccharide (OKP) จากห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค
ตัวอย่างการคำนวณ

1. การคำนวณค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity)

คำนวณค่าความหนืดปรากฏโดยแทนค่า Shear rate ($\dot{\gamma}$) เท่ากับ 50 s^{-1} ในสมการ Herschel-Bulkley (สมการที่ 1) ที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป Rheoplus/32 เพื่อหาค่า Shear stress (τ) แล้วนำค่า τ ที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดปรากฏที่ Shear rate เท่ากับ 50 s^{-1} ด้วยสมการที่ 2

$$\tau = K(\dot{\gamma})^n + \tau_0 \quad (1)$$

$$\text{Apparent viscosity } (\eta_{50}) = \frac{\tau_{50}}{\dot{\gamma}_{50}} \quad (2)$$

โดย τ = Shear stress (mPa) τ_0 = Yield stress (mPa)
 $\dot{\gamma}$ = Shear rate (s^{-1}) n = Flow behavior index
 K = Flow coefficient (mPa.s^n)
 η_{50} = Apparent viscosity at shear rate of 50 s^{-1} (mPa.s)
 τ_{50} = Shear stress at shear rate of 50 s^{-1} (mPa)
 $\dot{\gamma}_{50}$ = Shear rate of 50 s^{-1}

ตัวอย่าง: ไอศกรีมไขมันเต็ม (FF)

สมการ Herschel-Bulkley ที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป Rheoplus/32 ของตัวอย่าง ไอศกรีมไขมันเต็ม (FF) คือ

$$\tau = 51.033 (\dot{\gamma})^{0.8306} + 77.034$$

เมื่อแทนค่า $\dot{\gamma}$ เท่ากับ 50 s^{-1} ในสมการข้างต้น

จะได้ค่า $\tau = 1392.3 \text{ mPa}$

แล้วนำค่า τ ที่ได้มาคำนวณค่าความหนืดปรากฏที่ Shear rate เท่ากับ 50 s^{-1} โดยแทนค่าในสมการที่ 2

$$\begin{aligned} \text{Apparent viscosity } (\eta_{50}) &= 1392.3 / 50 \\ &= 27.84 \text{ mPa.s} \end{aligned}$$

2. การคำนวณอัตราการละลายของไอศกรีม (Melting rate)

ตัวอย่าง: ไอศกรีมไขมันเต็ม (FF)

น้ำหนักไอศกรีมเริ่มต้น เท่ากับ 79.01 กรัม

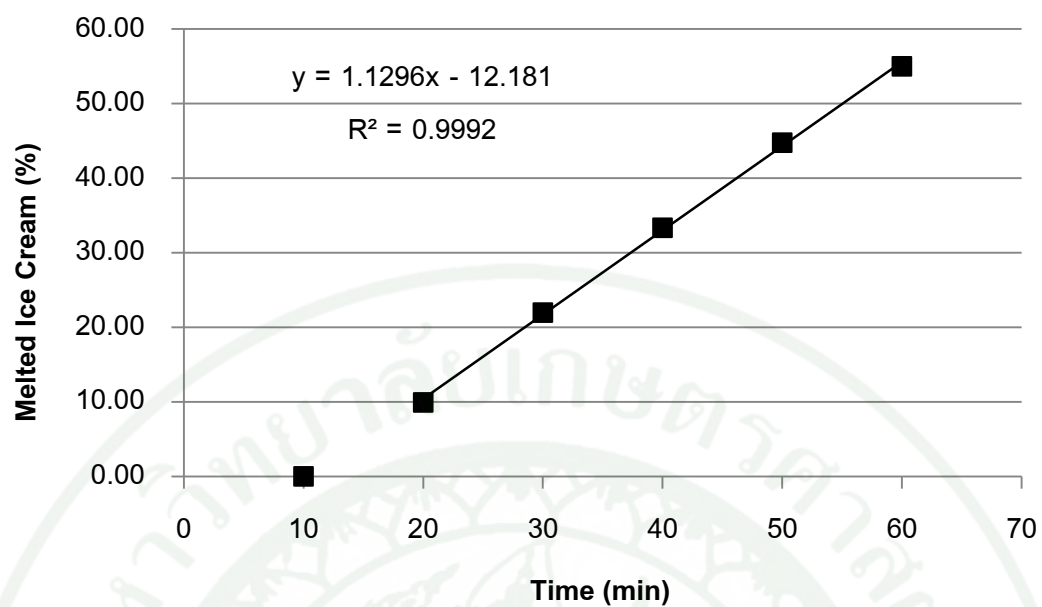
น้ำหนักไอศกรีมที่ละลายเมื่อนาทีที่ 20 เท่ากับ 7.84 กรัม

$$\begin{aligned}\text{ร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมที่ละลาย} &= \frac{\text{น้ำหนักไอศกรีมที่ละลาย}}{\text{น้ำหนักไอศกรีมเริ่มต้น}} \times 100 \\ &= \frac{7.84}{79.01} \times 100 \\ &= 9.92\end{aligned}$$

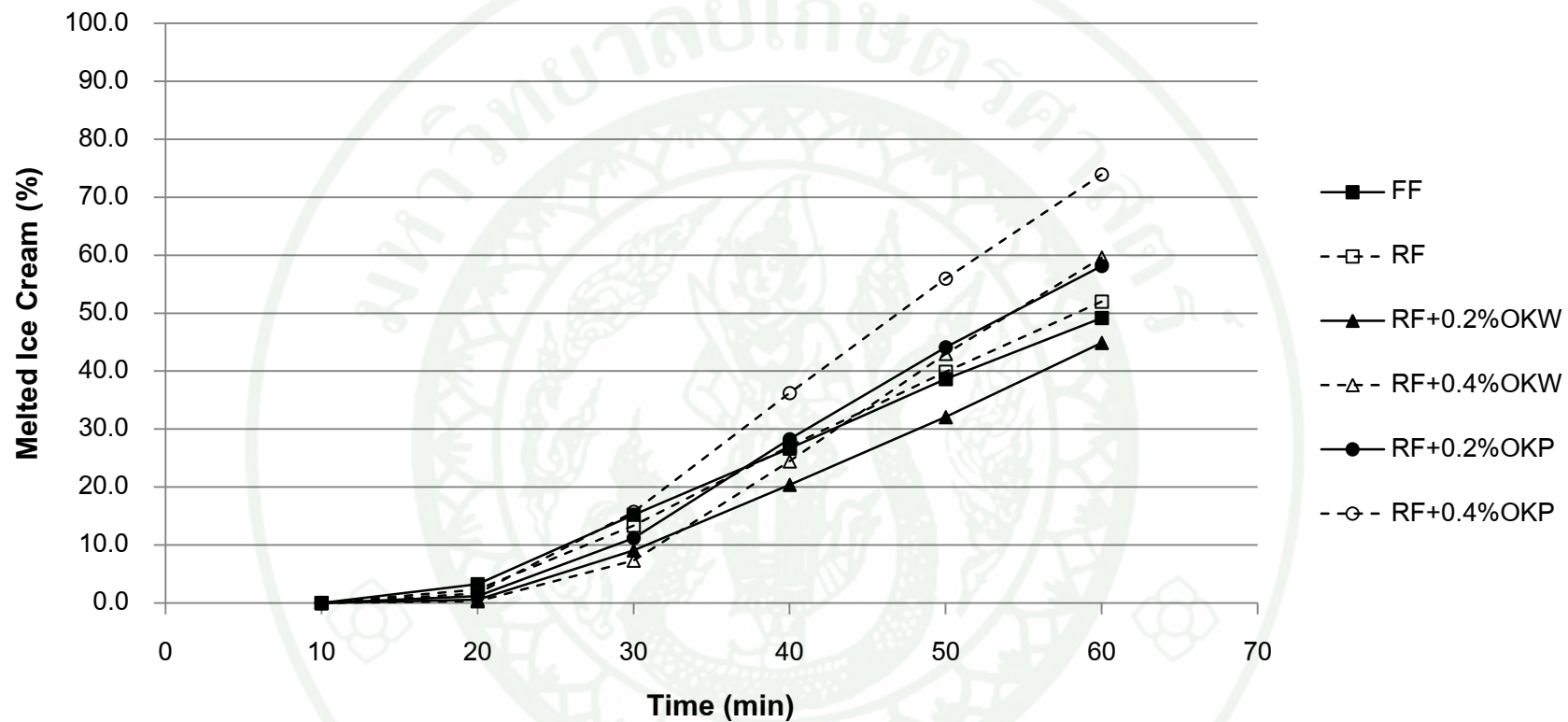
เมื่อคำนวณร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมที่ละลายทุกๆ 10 นาที ได้ข้อมูลดังตารางผนวกที่ ค1 จากนั้นสร้างกราฟระหว่างร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมที่ละลาย กับ เวลา (นาที) ความชันของกราฟที่ได้ คืออัตราการละลาย (Melting rate) โดยหาความชันในช่วงเวลาระหว่าง 20 - 60 นาที ความชันของกราฟเท่ากับ 1.1296 ดังแสดงในภาพผนวกที่ ค1 ดังนั้นอัตราการละลาย (Melting rate) ของตัวอย่างไอศกรีมไขมันเต็ม เท่ากับ 1.13 % ต่อ นาที (% min⁻¹)

ตารางผนวกที่ ค1 ร้อยละของน้ำหนักไอศกรีมที่ละลาย ณ เวลาต่างๆ ของตัวอย่างไอศกรีมไขมันเต็ม (FF)

เวลา (นาที)	ร้อยละของไอศกรีมที่ละลาย
10	0
20	9.92
30	21.97
40	33.35
50	44.77
60	55.01



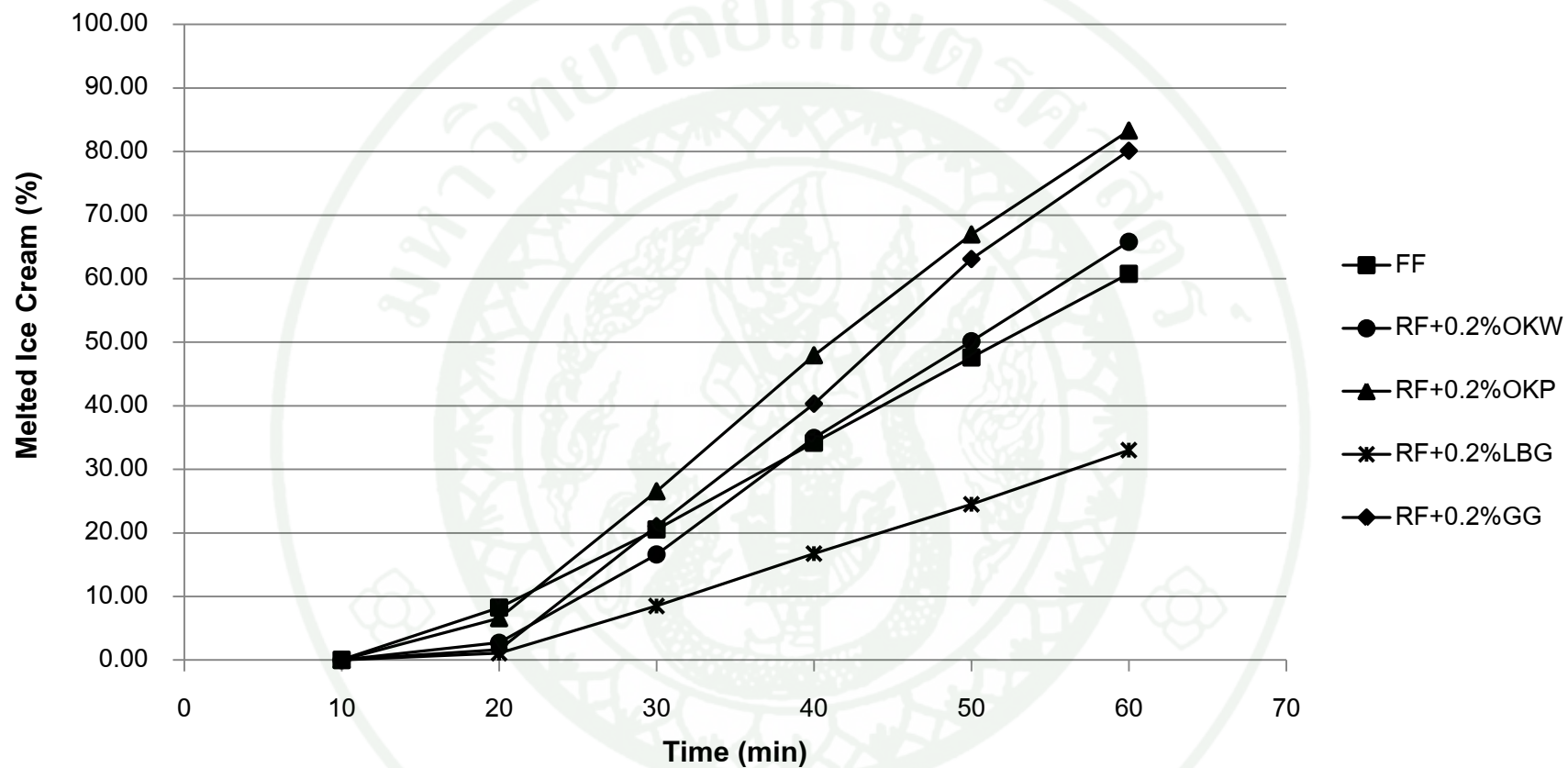
ภาพผนวกที่ ค1 ร้อยละของน้ำหนักรีมไอศกรีมที่ละลายทุกๆ 10 นาที ของไอศกรีมไขมันเต็ม (FF)



ภาพผนวกที่ ค2 ผลของปริมาณ Okra cell wall powder (OKW) และ Water soluble okra polysaccharide powder (OKP) ต่อร้อยละของน้ำหนักระเหยaporation ของไอศกรีมไขมันที่ละลายทุกๆ 10 นาที เปรียบเทียบกับไอศกรีมไขมันเต็ม และไอศกรีมลดไขมัน

FF = Full fat ice cream (10% Milk fat), RF = Reduced-fat ice cream (5% Milk fat),

OKW = Okra cell wall powder, OKP = Water soluble okra polysaccharide powder



ภาพผนวกที่ ค3 ผลของพอลิแซ็กคาไรด์ต่อร้อยละของน้ำหนักรีมไอศกรีมที่ละลายทุกๆ 10 นาที

FF = Full fat ice cream (10% Milk fat), RF = Reduced-fat ice cream (5% Milk fat), OKW = Okra cell wall powder,
OKP = Water soluble okra polysaccharide powder, GG = Guar gum, LBG = Locust bean gum



ตัวอย่างแบบทดสอบการเปรียบเทียบความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

ชื่อผู้ทดสอบ.....ชื่อเล่น.....อายุ.....วันที่.....

ผลิตภัณฑ์ ไอศกรีมลดไขมัน

คำแนะนำ: กรุณาทดสอบตัวอย่าง “C” ก่อน แล้วจึงทดสอบตัวอย่างที่กำกับด้วยตัวเลข 3 หลัก โดยพิจารณา
ลักษณะต่างๆ ที่กำหนด จากนั้นบอกขนาดความแตกต่างของลักษณะว่า มากกว่า (+) น้อยกว่า (-) หรือ
ไม่แตกต่าง (0) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง “C” โดยทำเครื่องหมาย X ในช่องสเกล

กรุณากลั้วปากด้วยน้ำดื่มทุกครั้งก่อนชิมตัวอย่างใหม่

รหัสตัวอย่าง	ลักษณะ	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
	ความแน่นเนื้อ แรงที่ต้องใช้ลิ้นกด ไอศกรีมกับเพดานปาก											
	ความเรียบเนียน การสัมผัสของลิ้นกับ อนุภาคต่างๆ หรือผลึกน้ำแข็ง											
	กลิ่นรส ความแรงของการรับรู้ กลิ่นรสนะไอศกรีม อยู่ในปาก											
	ความเคลือบมันในปาก ความรู้สึกมีไขมันเคลือบ ในปากขณะรับประทาน ไอศกรีมจนละลายหมด											
	การละลายในปาก การละลายของไอศกรีม ภายในปากจนเป็น ของเหลวทั้งหมด											



รายละเอียดบริษัทที่ส่งตัวอย่างไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying)

บริษัท ซันไชน์ อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด (ปทุมธานี)

ที่อยู่ 43/20-21 หมู่ 7 ถนนลำลูกกา ตำบลคูคต อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี 12130
ประเทศไทย

โทรศัพท์: +662-994-9970, +662-533-7199

โทรสาร: +662-994-9974, +662-533-7455

Website: <http://www.sunshine.co.th/>

บริษัท ซันไชน์ อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล จำกัด (โรงงาน จันทบุรี)

ที่อยู่ 43/4 หมู่ 3 ถนนสุขุมวิท ตำบลสองพี่น้อง อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี ประเทศไทย

โทรศัพท์: +663-936-7472, +663-943-3022

โทรสาร: +663-936-7474, +663-943-3039

รายละเอียดห้องปฏิบัติการที่ส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Food Research and Testing Laboratory, Faculty of Science, Chulalongkorn University

ที่อยู่ ชั้น 16 อาคารมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท

แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

โทรศัพท์/โทรสาร: 02-2187653-54



ภาพผนวกที่ จ1 เครื่องมือวัดคุณสมบัติทางวิทยากระแ

(Stress controlled rheometer, Physica MCR 300, Anton Paar, Germany)
 พร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบ Peltier และอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบ
 น้ำวน (Constant temperature circulator, Viscotherm VT2, Anton Paar,
 Germany)



ภาพผนวกที่ จ2 เครื่องปั่นเยือกแข็งไอศกรีม

Batch freezer, Model TS2 Professionale, Frigomat, Italy

Minimum ice cream mix = 1 Liter

Maximum ice cream mix = 2 Liter

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวพิชญา เตชะภัทรกุล
เกิดวันที่	31 มีนาคม 2528
สถานที่เกิด	อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
ประวัติการศึกษา	วท.บ.(อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมระดับปริญญาโท (สกว.-สสว.) ประจำปี 2550 จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.) ร่วมกับ บริษัท ทิมฟู้ด จำกัด
เข้าร่วมการอบรมสัมมนา	หัวข้อ “New Aspects of Dairy Science and Ice Cream Technology” บรรยายโดย Professor H. Douglas Goff, University of Guelph, Canada จัดขึ้นโดย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ เมื่อวันที่ 25 - 29 พฤษภาคม 2552 ณ โรงแรมกรุงศรีวิเวอร์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ผลงานวิชาการ	- นำเสนอผลงานวิจัย แบบบรรยาย ในงานประชุมวิชาการ 6th Thailand-Taiwan Academic Cooperation Conference on “Food and Agricultural Innovation: Going Global” November 15, 2010 at Kasetsart University, Bangkok, Thailand - นำเสนอผลงานวิจัย แบบโปสเตอร์ ในการประชุมนำเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 21 เมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2554 ณ มหาวิทยาลัยรังสิต