



วิทยานิพนธ์

ผลของแซนแทนกัม อัลจีเนตและความเป็นกรดเบส
ต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งมันสำปะหลัง

EFFECT OF XANTHAN GUM, ALGINATE AND pH
ON PHYSICAL PROPERTIES OF TAPIOCA STARCH

นางสาวสุวภัทร ศรีจันทร์ทองศิริ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)
ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร
สาขา

พัฒนาผลิตภัณฑ์
ภาควิชา

เรื่อง ผลของแซนแทนกัม อัลจีเนตและความเป็นกรดเบสต่อสมบัติทางกายภาพของแป้ง
มันสำปะหลัง

Effect of Xanthan Gum, Alginate and pH on Physical Properties of Tapioca Starch

นามผู้วิจัย นางสาวสุภัทรา ศรีจันทร์ทองศิริ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Yorn Wachirawat
(รองศาสตราจารย์รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, D.Agr.)

หัวหน้าภาควิชา

ดร. ธีรภัทร
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

ดร. อรุณ
(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 5 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2560

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของแซนแทนกัม อัลจีเนตและความเป็นกรดเบสต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งมันสำปะหลัง

Effect of Xanthan Gum, Alginate and pH on Physical Properties of Tapioca Starch

โดย

นางสาวสุวภัทร ศรีจันทร์ทองศิริ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2550

สุวภัทร ศรีจันทร์ทองศิริ 2550: ผลของแชนแทนกัม อัลจิเนตและความเป็นกรดเบสต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งมันสำปะหลัง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, D.Agr. 75 หน้า

แป้งและไฮโดรคอลลอยด์ มักนำมาใช้เป็นทั้งวัตถุดิบหรือส่วนผสมอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส และความคงตัว ดังนั้น ความเข้าใจเรื่องสมบัติทางกายภาพจึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาผลของแชนแทนกัม และอัลจิเนต และ pH ต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งมันสำปะหลัง ณ ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ 1% พบว่า amylose leaching ของแป้งมันสำปะหลังมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของทั้งแชนแทนกัมและอัลจิเนตเพิ่มขึ้น และที่ความเข้มข้นเดียวกันแชนแทนกัมมีผลให้ amylose leaching ลดลงมากกว่าอัลจิเนต และ เมื่อเติมแชนแทนกัมหรืออัลจิเนตในแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5% พบว่า pasting temperature, ความหนืดสูงสุด และความหนืดสุดท้ายจากกราฟ RVA มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า breakdown ของแป้งมันสำปะหลังผสมอัลจิเนตมีค่าสูงกว่า ค่า breakdown ของแป้งมันสำปะหลังที่เติมแชนแทนกัมมาก เมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นเดียวกัน ค่า setback ของแป้งมันสำปะหลังมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของแชนแทนกัมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า setback ของแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอัลจิเนตเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความสัมพันธ์ของโครงสร้าง-หน้าที่ของแป้งมันสำปะหลังกับไฮโดรคอลลอยด์ เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกออกจากเพสต์หลังวงจรการแช่แข็งและละลาย 7 รอบ พบว่า แป้งมันสำปะหลังที่มีแชนแทนกัมหรืออัลจิเนตมีค่าเปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกออกมาต่ำกว่าเพสต์แป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว แชนแทนกัมช่วยลดการแยกตัวออกมาน้ำจากเพสต์แป้งมันสำปะหลังได้ดีกว่าอัลจิเนต ในเพสต์แป้งมันสำปะหลัง เมื่อศึกษาผลของความเป็นกรดเบส พบว่าที่ pH = 3, RVA pasting properties และความคงทนต่อการแช่แข็งและละลายของเพสต์แป้งมันสำปะหลัง (ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%) นั้น แชนแทนกัมสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติ pasting โดยความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้นและการแยกของน้ำจากเพสต์หลังการแช่แข็งและละลายลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเพสต์แป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว การศึกษาผลของอัลจิเนตในแป้งมันสำปะหลังจะศึกษาที่ pH 5, 6 และ 7 เพื่อป้องกันการเกิดเจลของกรดอัลจินิกที่ pH ต่ำ พบว่า RVA pasting parameters ของเพสต์แป้งมันสำปะหลังมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอัลจิเนตเพิ่มขึ้น และมีค่าต่ำลงเมื่อ pH ต่ำลงที่ความเข้มข้นอัลจิเนตเท่ากัน เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกจากเพสต์หลังการแช่แข็งและละลายหลายรอบมีค่าน้อยลงเมื่อความเข้มข้นอัลจิเนตเพิ่มขึ้น และในระบบที่ pH สูงขึ้น ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานำไปประยุกต์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบ

สุวภัทร ศรีจันทร์ทองศิริ

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

29 / พ.ค. / 50

Suwapat Srijunthongsiri 2007: Effect of Xanthan Gum, Alginate and pH on Physical Properties of Tapioca Starch. Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Associate Professor Rungnaphar Pongsawatmanit, D.Agr. 75 pages.

Starch and hydrocolloids have been widely used as raw materials or as additives in food systems for texture modification and system stability. Thus, the understanding of their physical properties is important for product development. The influence of hydrocolloids (xanthan gum and alginate) and pH on physical properties of tapioca starch (TS) was investigated in this study. Amylose leaching of TS containing decreased with increasing the contents of both xanthan and alginate in the 1 %wt total polysaccharide concentration. At the same hydrocolloid concentration, amylose leaching of TS containing xanthan was lower than that containing alginate. Addition of xanthan gum or alginate in TS at total polysaccharide concentration of 5 %wt enhanced pasting temperature, peak viscosity and final viscosity evaluated from RVA pasting profiles. Breakdown values of TS containing alginate were much higher than those containing xanthan gum compared at the same hydrocolloid concentration. Setback values of TS decreased with increasing xanthan content while increased with increasing alginate due to the structure–function relationship of starch and hydrocolloid. The percentages of water separation from repeated freeze-thaw cycles of TS pastes containing xanthan gum or alginate exhibited lower values compared with that of TS pastes alone especially after 7 cycles of freeze-thaw. The addition of xanthan gave the better freeze-thaw stability in TS pastes. At pH = 3, RVA pasting properties and freeze–thaw stability of TS pastes (5% total polysaccharide concentration) were improved with xanthan gum addition by increasing final viscosity and decreasing water separation compared with TS pastes alone. Mixtures of TS and alginate at higher pH (5, 6 and 7) were studied to prevent the gel forming of alginic acid at lower pH. The RVA pasting parameters of TS pastes increased with increasing alginate content. The lower values were obtained with lower pH at the same alginate concentration. Water separation were lower with increasing gum concentration and pH. The information from this study can be applied in product development of TS-base products.

Suwapat Srijunthongsiri

Student's signature

P. Rungnaphar

Thesis Advisor's signature

29 / May / 2007

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้น ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาในการดำเนินการวิจัยและตรวจแก้วิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วลัยรัตน์ จันทรปานนท์ ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนทรี สุวรรณสิขณัน ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้คำแนะนำเพิ่มเติม เพื่อให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอุปการะและมีพระคุณทุกท่านที่มีได้เอื้อนมา สำหรับความรัก ความห่วงใย ความเข้าใจ และกำลังใจที่มีให้มาตลอดจนสำเร็จการศึกษา ตลอดจนเพื่อน พี่ น้อง และภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร อำนวยความสะดวกด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณงามความดีของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ แด่ครูอาจารย์ที่ให้การประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน หากเกิดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากตัวข้าพเจ้า ข้าพเจ้าขอน้อมรับแต่เพียงผู้เดียว และขออภัยมา ณ ที่นี้

สุวภัทร ศรีจันทร์ทองศิริ

พฤษภาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	24
อุปกรณ์	24
วิธีการ	26
ผลและวิจารณ์	33
สรุปและข้อเสนอแนะ	58
สรุป	58
ข้อเสนอแนะ	59
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	60
ภาคผนวก	65
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี	66
ภาคผนวก ข ความหนืดของเจลแป้งมันสำปะหลังและไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จาก การวิเคราะห์ด้วย RVA และเปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาจากเจลแป้ง มันสำปะหลัง	70
ภาคผนวก ค apparent viscosity ที่ shear rate ต่างๆ ของแซนแทนกัมและอัลจีเนต	73
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	75

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณค่าทางโภชนาการของแป้งมันสำปะหลังในส่วนที่กินได้ 100 กรัม	5
2	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง	33
ตารางผนวกที่		
ข1	อุณหภูมิที่เมล็ดแป้งเริ่มพองตัว (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่า setback ของเจลแป้งมันสำปะหลังและเจลแป้งมันสำปะหลังและแซนแทนกัม	71
ข2	อุณหภูมิที่เมล็ดแป้งเริ่มพองตัว (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่า setback ของเจลแป้งมันสำปะหลังและเจลแป้งมันสำปะหลังและอัลจีเนต	71
ข3	เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาจากเจลผสมแป้งมันสำปะหลังอย่างเดี่ยว	72
ข4	เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาจากเจลผสมแป้งมันสำปะหลังอย่างเดี่ยวที่ pH 3, 5 และ 7	72

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 อะไมโลส (amylase)	6
2 อะมิโลเพกติน (amylopectin)	7
3 ตัวอย่าง pasting curve	8
4 ระยะในการเกิดเจลที่ในซ์ของเม็ดแป้ง	10
5 แบบแผนของโครงสร้างที่มีความเป็นไปได้ของสตาร์ชที่เกิดรีโทรเกรเดชัน	12
6 ลักษณะ โครงสร้างของอัลจินต	18
7 ลักษณะ โครงสร้างของแซนแทนกัม	19
8 แผนภาพแสดงการศึกษาผลของ pH ต่อ pasting properties และความคงทนต่อสภาวะแช่แข็งละลาย (freeze-thaw stability) ของแป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัมและอัลจินต	32
9 กำลังการพองตัว (a) และ amylose leaching (b) ของแป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัมที่อัตราส่วนต่างๆ (10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 1%(w/w)	34
10 pasting properties ของแป้งมันสำปะหลัง/แซนแทนกัมที่อัตราส่วนต่างๆ (10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w) จากเครื่อง RVA	36
11 pasting temperature (a), ความหนืดสุดท้าย (b), breakdown (c) และ setback (c) ของแป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัมที่อัตราส่วนต่างๆ (10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w)	38
12 เปรอร์เซนต์น้ำที่แยกตัวออกมาของเจลผสมของแป้งมันสำปะหลังและแซนแทนกัมที่อัตราส่วนต่างๆ โดยแช่แข็งและละลายจำนวน 1, 3, 5 และ 7 รอบ	40
13 กำลังการพองตัว (a) และ amylose leaching (b) ของแป้งมันสำปะหลังต่ออัลจินตที่อัตราส่วนต่างๆ (10/0, 9.5/0.5, 9/1, 8.5/1.5 และ 8/2) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 1%(w/w)	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
14	pasting properties ของแป้งมันสำปะหลังต่ออัลจินต ที่อัตราส่วนต่างๆ (10/0, 9.5/0.5, 9/1, 8.5/1.5 และ 8/2) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w) จากเครื่อง RVA	42
15	pasting temperature (a), ความหนืดสุดท้าย (b), breakdown (c) และ setback (c) ของแป้งมันสำปะหลังต่ออัลจินตที่อัตราส่วนต่างๆ (10/0, 9/1 และ 8/2) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w)	44
16	เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาของเจลผสมของแป้งมันสำปะหลังและอัลจินต อัตราส่วนต่างๆ (10/0, 9/1 และ 8/2) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ ทั้งหมด 5% (w/w) ที่รอบการแช่แข็งและละลาย 1, 3, 5 และ 7	47
17	pasting properties ของแป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัมที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w) ที่ pH เท่ากับ 3 (a), pH = 5 (b) และ pH = 7 (c)	48
18	pasting temperature (a), ความหนืดสูงสุด (b), ความหนืดสุดท้าย (c) และ setback (d) ของแป้งมันสำปะหลัง/แซนแทนกัมที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w) ที่ pH 3, 5 และ 7	50
19	เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาของเจลแป้งมันสำปะหลัง (10/0) ที่ pH 3, 5 และ 7 หลังจากผ่านการแช่แข็งและละลาย 1, 3, 5 และ 7 วงจร	51
20	เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลัง ต่อแซนแทนกัม ที่อัตราส่วน 10/0, 9.5/0.5 and 9/1 ที่ pH 3 (a), 5 (b) และ 7 (c) หลังจากผ่านการแช่แข็งและละลาย 1, 3, 5 และ 7 วงจร	52
21	pasting properties แป้งมันสำปะหลังต่ออัลจินต ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (10/0, 9/1 และ 8/2) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w) ที่ pH เท่ากับ 5 (a), pH เท่ากับ 6 (b) และ pH เท่ากับ 7 (c)	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
22 pasting temperature (a), ความหนืดสูงสุด (b), ความหนืดสุดท้าย (c) และ setback (d) ของแป้งมันสำปะหลังต่ออัลจินตที่อัตราส่วน 10/0, 9/1 และ 8/2	55
23 เปอร์เซนต์น้ำที่แยกตัวออกมาของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังต่ออัลจินตที่อัตราส่วน 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1 ที่ pH 5 (a), 6 (b) และ 7 (c) หลังจากผ่านการแช่แข็งและละลาย 1, 3, 5 และ 7 วงจร	57
ภาพผนวกที่	
ก1 apparent viscosity ที่ shear rate ต่างๆ ของแซนแทนกัมและอัลจินตความเข้มข้น 1% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	74

**ผลของแซนแทนกัม อัลจีเนต และความเป็นกรดเบส ต่อสมบัติทางกายภาพ
ของแป้งมันสำปะหลัง**

**Effect of Xanthan Gum, Alginate and pH on Physical Properties of
Tapioca Starch**

คำนำ

ประเทศไทยมีการผลิตแป้งจากธัญชาติและพืชหัวต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร แป้งมันสำปะหลังมีการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น เป็นตัวให้ความข้นหนืด ให้ลักษณะปรากฏที่ใส และมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าแป้งชนิดอื่น (Rapaille and Vanhemelrijck, 1997) สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมอาหารหลักและอาหารรองในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ข้าวเกรียบ ขนมไทย ซอสปรุงรส เป็นต้น แป้งมันสำปะหลังมีสมบัติบางประการที่ไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์โดยตรง เนื่องจากให้ลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ดีในผลิตภัณฑ์ มีความคงทนต่อแรงเฉือนในกระบวนการผลิตต่ำ (Pongsawatmanit *et al.*, 2006) ไม่มีความคงตัวในสภาวะที่มีความเป็นกรดเบสต่ำ และในสภาวะต่างๆ ระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา (Eliasson and Gudmundsson, 1996) เป็นต้น ไฮโดรคอลลอยด์มักใช้ในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ (Imeson, 1997) จึงมีการผสมไฮโดรคอลลอยด์ในสตาร์ชเพื่อปรับปรุงและควบคุมลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร มีการนำไฮโดรคอลลอยด์มาใช้ในการผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่ ได้แก่ อัลจีเนต แซนแทนกัม และกัวร์กัม เป็นต้น เพื่อลดผลการเกิดรีโทรกราเดชันและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะแช่แข็ง (Kruger *et al.*, 2003)

ด้วยเหตุนี้การศึกษาสมบัติต่างๆ ของแป้งมันสำปะหลัง เช่น การวิเคราะห์กำลังการพองตัว (swelling power: SP) pasting properties และ freeze-thaw stability เป็นต้น จึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอนาคต ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์บางชนิด รวมถึงผลของความเป็นกรดเบสต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งมันสำปะหลัง โดยความรู้ที่ได้นี้ จะเป็นพื้นฐานในการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบให้มีความคงตัวและอายุการเก็บนานขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งมันสำปะหลัง
2. เพื่อทราบผลของความเป็นกรดเบสต่อ pasting properties และความคงทนต่อสถานะแช่แข็งและละลายของแป้งมันสำปะหลังที่มีไฮโดรคอลลอยด์ต่างกัน

การตรวจเอกสาร

1. มันสำปะหลัง

1.1 ถิ่นกำเนิดและพันธุ์

ถิ่นกำเนิดของมันสำปะหลังอาจกล่าวได้ว่าอยู่ในแถบอเมริกาใต้ บราซิล และเม็กซิโก มีการเรียกชื่อต่างๆ กันตามรากศัพท์ภาษาอังกฤษ ฝรั่งเศส สเปน โปรตุเกส เช่น Cassava, Mandioca, Yucca, Tapioca และ Manioc ในทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลังเป็นพืชวงศ์ (class) ไบเลียงคู่ (dicotyledoneae) ตระกูล (family) Euphobiaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz. (เดิมใช้ชื่อว่า *Manihot utilissima* Pohl.) ในประเทศไทยมีมันสำปะหลัง 9 พันธุ์ ได้แก่ ระยอง 1, ระยอง 2, ระยอง 3, ระยอง 5, ระยอง 60, ระยอง 90, เกษตรศาสตร์ 50, ศรีราชา 1 และ พันธุ์ห่านาที่

1.2 ปริมาณแป้ง

ปริมาณแป้งในหัวมันคือปัจจัยที่สำคัญที่สุดขององค์ประกอบทั้งหมด ซึ่งมีอยู่ประมาณ 14 - 28% ในปัจจุบันมีการพยายามที่จะเปลี่ยนแปลงพันธุ์โดยปลูกพันธุ์ที่เหมาะสม มีปริมาณแป้ง และให้ที่ผลผลิตสูง โดยทั่วไปแล้วหัวมันที่มีอายุมากขึ้นจะมีปริมาณแป้งสูงขึ้น จากการศึกษาพบว่า พันธุ์ อายุ และสิ่งแวดล้อม เช่น ปริมาณน้ำฝน ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยว เป็นต้น จะมีผลต่อคุณภาพของแป้ง ดังนั้นในการนำหัวมันสำปะหลังมาแปรรูปเป็นแป้ง จึงต้องมีการตรวจสอบหรือควบคุมการเก็บเกี่ยวด้วย

2. สตาร์ช (starch)

สตาร์ช มีลักษณะเฉพาะทางด้านเคมีและกายภาพ ส่วนมากผลิตจากเมล็ดของธัญพืช พืชหัว และจากส่วนราก สตาร์ชที่ผลิตจากเมล็ดของธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวเหนียว ข้าวสาลี และข้าวชนิดต่างๆ เป็นต้น ส่วนสตาร์ชที่ผลิตจากพืชหัวและจากส่วนราก เช่น มันฝรั่ง มันเทศ และมันสำปะหลัง สตาร์ชมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย เพื่อใช้เป็นสารในการเกาะติด ช่วยให้เกิดเจล ให้ความข้นหนืด และช่วยในเรื่องของความคงตัวและเนื้อสัมผัสของอาหาร (BeMiller and Whistler, 1996)

2.1 แป้งมันสำปะหลัง (tapioca starch)

ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตแป้งมันสำปะหลังในปริมาณสูง และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น (สมาคมการค้าอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2531) แป้งมันสำปะหลังจัดเป็นสตาร์ชที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร (Smith, 1982) ซึ่งได้มาจากส่วนราก โดยนำหัวมันสำปะหลังมาล้างให้สะอาด บดให้ละเอียด ล้างน้ำในตะแกรงหมุนเพื่อแยกเอากากออก การแยกแป้งอาจทำได้โดยปล่อยน้ำแป้งไว้เพื่อให้แป้งตกตะกอน แล้วไขเอาน้ำออกหรืออาจใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงแทนได้ จากนั้นนำแป้งที่ได้ไปตากหรืออบให้มีความชื้นสุดท้ายก่อนเก็บประมาณ 10 - 14% แล้วบดให้ละเอียดอีกครั้งหนึ่ง (ณรงค์, 2538) แป้งมันสำปะหลังมีประโยชน์มากในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การให้ความข้นหนืด ทำให้อาหารมีความหนืดสูง ให้ลักษณะปรากฏที่ใส และมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่น (Rapaille and Vanhemelrijck, 1997) ส่วนแหล่งผลิตได้แก่ บราซิล ไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย และไนจีเรีย (Dziedzic and Kearsley, 1995) คุณค่าทางโภชนาการของแป้งมันสำปะหลังในส่วนที่กินได้ 100 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณค่าทางโภชนาการของแป้งมันสำปะหลังในส่วนที่กินได้ 100 กรัม

องค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลัง	ปริมาณ
น้ำ (กรัม)	11.3
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	354
โปรตีน (กรัม)	0.2
ไขมัน (กรัม)	0.1
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	88.2
ใยอาหาร (กรัม)	0.2
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	84
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	35
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.9
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	0.06
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.02
ไนอะซิน (มิลลิกรัม)	0.1

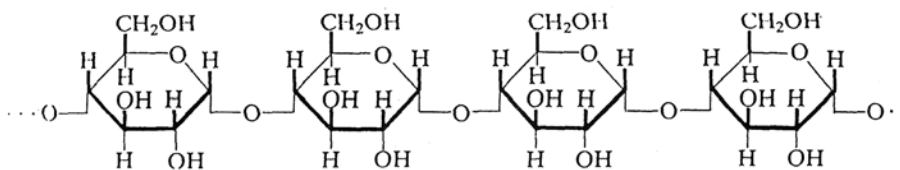
ที่มา: คัดแปลงจาก สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล (2542)

2.2 ลักษณะของแป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาว ลักษณะเด่นของแป้งมันสำปะหลังคือ มีความบริสุทธิ์สูง (มีแป้งมากกว่า 95%) มีปริมาณโปรตีนและไขมันค่อนข้างต่ำ (น้อยกว่า 1%) มีฟอสฟอรัสต่ำกว่า 0.04% (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2546)

2.3 องค์ประกอบสสารประกอบด้วยโมเลกุล 2 ชนิด คือ

2.3.1 อะไมโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น ประกอบด้วยหน่วยของ α -D-glucopyranosyl ที่เชื่อมด้วยพันธะไกลโคซิดิก ชนิด α -1, 4 (ภาพที่ 1) ซึ่งมีโมเลกุลของอะไมโลสจำนวนมากที่มีโครงสร้างแบบกึ่งเป็นองค์ประกอบ แต่พบในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับจำนวนของพันธะทั้งหมด ส่วนน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสมีประมาณ 10^6 ดาลตัน (BeMiller and Whistler, 1996)

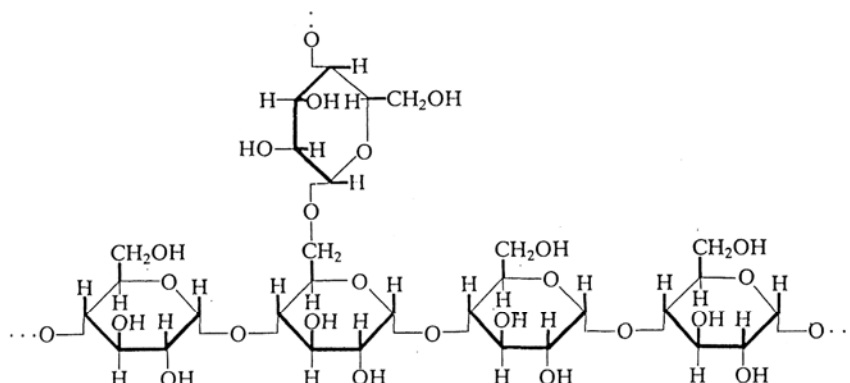


ภาพที่ 1 อะไมโลส (amylose)

ที่มา : Dziedzic and Kearsley (1995)

อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น บิวทานอล กรดไขมัน สารลดแรงตึงผิว ฟีนอล และไฮโดรคาร์บอน สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้จะไม่ละลายในน้ำ โดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ นอกจากนี้ อะไมโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่บอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะไมโลส ส่วนโครงสร้างของอะไมโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คลายตัว (interrupted helix) หรือม้วนอย่างไม่เจาะจง (random coil) (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) องค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดเจล (gelling) ของสตาร์ช จะเกิดจากโมเลกุลของสตาร์ชจับกับน้ำแล้วเกิดการพองตัว เมื่อไม่มีการกวนจะเกิดการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลเป็นสายโซ่ ทำให้โมเลกุลมีความหนาแน่นและหดตัวลง ลักษณะนี้เรียกว่า การเกิดเจล สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสต่างกันจะมีเนื้อสัมผัสที่ต่างกันเมื่อใช้ผลิตเป็นอาหาร สมบัติของแป้งมันสำปะหลังที่มีปริมาณอะไมโลส 22% ลักษณะของเจลจะเป็นเจลชนิดนิ่ม เนื้อสัมผัสเป็นเจลใส (สมาคมการค้าอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2531)

2.3.2 อะไมโลเพกติน (amylopectin) เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1, 4 และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาของพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นจะเชื่อมต่อดัวยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1, 6 (ภาพที่ 2) หน่วยกลูโคสที่มีพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1, 6 มีประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพกตินทั้งหมด (กล้าณรงค์ และเกื้อกูล, 2546) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นกิ่งประกอบด้วยสายโซ่ 3 ชนิด คือ สายที่ประกอบด้วยหมู่รีดิซิง 1 หมู่ เรียกว่า C-chain ถ้ามีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นจำนวนมาก เรียกว่า B-chain และถ้าเชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อ เรียกว่า A-chain อะไมโลเพกตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10^7 ถึง 5×10^8 ดาลตัน (BeMiller and Whistler, 1996)



ภาพที่ 2 อะมิโลเพกติน (amylopectin)

ที่มา : Dziedzic and Kearsley (1995)

3. สมบัติพื้นฐานของสตาร์ช

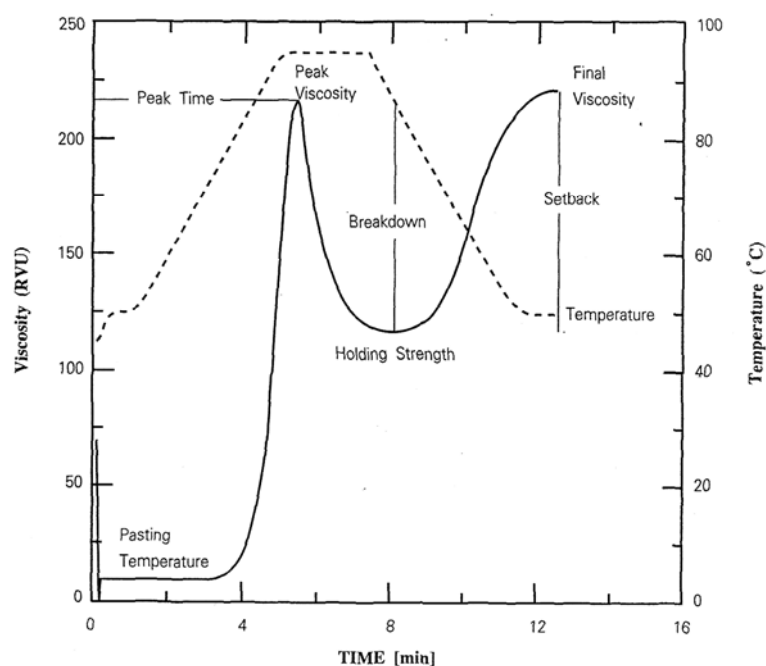
3.1 การพองตัวและการละลาย

เมื่อเติมน้ำลงในสตาร์ชและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง สตาร์ชจะดูดซึมน้ำ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมจะขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยแป้งดิบจะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่ใกล้ๆ กัน สามารถพองตัวในน้ำเย็นได้เล็กน้อย ซึ่งเป็นการพองตัวในลักษณะผันกลับได้ แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย และโมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว ทำให้ละลายและความหนืดเพิ่มขึ้น (กล้านรงค์ และเกื้อกุล, 2543; Whistler and BeMiller, 1999)

Lee and Osman (1991) กล่าวว่า การพองตัวของสตาร์ชเกิดขึ้นโดยโมเลกุลของน้ำจับกับโมเลกุลของสตาร์ชด้วยพันธะไฮโดรเจน ส่วนการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้ง พันธะไฮโดรเจนของโครงสร้างที่เป็นผลึกในสตาร์ชจะแตกออก โดยน้ำจะเข้าไปแทนที่ในผลึกทำให้สตาร์ชเกิดการพองตัว (Tester and Karkalas, 1996) Li and Yeh (2001) ได้ศึกษากำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ชชนิดต่างๆ ทั้งจากธัญพืช ราก และพืชหัว โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 55 – 95 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายสตาร์ชมีค่าสูงขึ้น โดยสตาร์ชมันฝรั่ง มันสำปะหลัง และข้าวเหนียว มีค่ากำลังการพองตัวสูงเมื่ออุณหภูมิใกล้ 80 องศาเซลเซียส แต่สตาร์ชข้าวและข้าวโพดมีกำลังการพองตัวต่ำ

3.2. สมบัติด้าน pasting (pasting properties)

เม็ดแป้งโดยปกติจะไม่ละลายในน้ำเย็น เนื่องจากอยู่ในรูปของร่างแห micells ดังนั้นเมื่อแป้งอยู่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อยและกลับคืนสู่สภาพปกติ เมื่อทำให้แห้ง การพองตัวแบบผันกลับได้นี้เพิ่มขึ้นตามขนาดเม็ดแป้ง (Whistler and BeMiller, 1999) และเมื่อให้ความร้อนกับสารละลายอย่างต่อเนื่อง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อถึงอุณหภูมิวิกฤต เม็ดแป้งจะดูดน้ำไว้เป็นปริมาณมาก และพองตัวหลายเท่าจากขนาดของเม็ดแป้งเดิมอย่างรวดเร็วจนเกิดการพองตัวแบบไม่ผันกลับ เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางรีโอโลยี โดยสารแขวนลอยแป้งจะเริ่มข้นและมีความหนืดมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิของสารแขวนลอยแป้งสูงกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน เม็ดแป้งจะพองอย่างมาก ทำให้สารแขวนลอยหนืดมากขึ้นขณะกวน (shearing) ซึ่งสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดที่เกิดขึ้นได้โดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ตัวอย่างกราฟ Pasting curve ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ตัวอย่าง pasting curve

ที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกุล (2546)

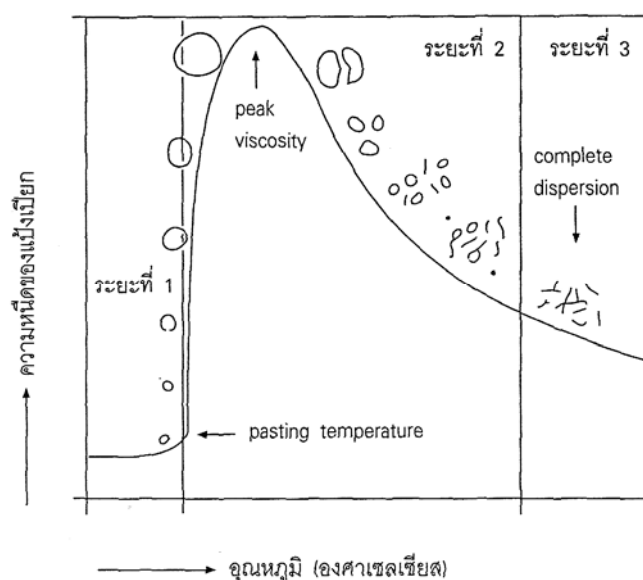
อุณหภูมิที่ทำให้ค่าความหนืดมีการเพิ่มขึ้นอย่างมาก เรียกว่า pasting temperature ส่วนค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการจับน้ำของสตาร์ชหรือส่วนผสม และบอกถึงแรงหนืดที่ต้องใช้ในการผสมหรือกวนให้ความร้อน โดยค่าความหนืดสูงสุดเกิดจากการที่เม็ดสตาร์ชได้รับความร้อนจนถึงจุดเจลาติไนซ์ และเมื่อให้ความร้อนต่อไปเม็ดแป้งจะพองตัวเต็มที่ ทำให้เกิดความหนืดที่เพิ่มขึ้นสูงสุดแล้วแตกออกเนื่องจากแรงเฉือน ซึ่งโมเลกุลของอะไมโลสที่มีขนาดเล็กจะกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง ค่าความหนืดของสารละลายแป้งจะลดต่ำลง เมื่อระบบลดอุณหภูมิจาก 95 องศาเซลเซียส เป็น 50 องศาเซลเซียส จะมีการจัดเรียงตัวใหม่โดยโมเลกุลอะไมโลสจะจัดเรียงตัวเป็นร่างแหสามมิติ โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเข้ามาเรียงตัวและเกาะกันเอง เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างโมเลกุลอะไมโลส ทำให้ได้ลักษณะโครงสร้างใหม่ที่เกิดเป็นเจล และความหนืดของแป้งจะเพิ่มขึ้นจนได้ระดับหนึ่งเรียกว่า ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ส่วนค่า setback เป็นค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำให้ระบบเย็นลง โดยคำนวณจากผลต่างของค่าความหนืดต่ำสุดและความหนืดสุดท้าย ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการรีโทรกราเดชัน ค่า setback จึงมีความเกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ต่างๆ (Newport Scientific, 1995)

3.3. การเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization)

โมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) จำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห Micells ดังนั้น การจัดเรียงตัวในลักษณะนี้ทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ในขณะที่สตาร์ชอยู่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดซึมและพองตัวได้เล็กน้อย และเมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลือยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากเกิดความหนืด เรียกว่า เจลาติไนเซชัน (gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด แป้งจากพืชหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง จะมีอุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ต่ำกว่าอุณหภูมิจากแป้งธัญพืช

การเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ (ภาพที่ 4) คือ ระยะแรกสตาร์ชจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่าง micelles

ยืดหยุ่นได้อย่างจำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบ birefringence ได้ เมื่อมีการใส่สารเคมี หรือเพิ่มอุณหภูมิกับสารละลายน้ำแป้งจนถึงประมาณ 65 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดสตาร์ช) เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร้างแหวะหว่างไมเซลล์ (micells) ภายในเม็ดสตาร์ชจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามาก และเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า เกิดเจลาติไนเซชัน เม็ดสตาร์ชมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้าง birefringence ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใสและหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนถึงระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดสตาร์ชจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นลงจะเกิดเจล การเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ชสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้น ความหนืดสูงสุดของสารละลายแป้งในระหว่างเจลาติไนซ์ จะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของสตาร์ช ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณอะไมโลสและไขมัน นอกจากนี้ระดับอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันจะแตกต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของสตาร์ช เช่น ปริมาณไขมัน สัดส่วนของอะไมโลสกับอะไมโลเพกติน การจัดเรียงตัวและขนาดของเม็ดแป้ง เป็นต้น



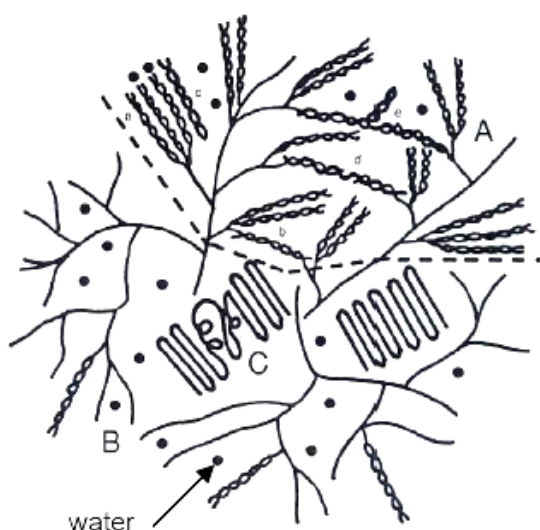
ภาพที่ 4 การเกิดเจลาติไนซ์ของเม็ดแป้ง

ที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกุล (2546)

3.4 รีโทรกราเดชัน (retrogradation)

เมื่อสตาร์ชได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวมากขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาด เล็กจะกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้ กันจะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะ เจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรกราเดชัน (retrogradation) หรือ การคืนตัว (กล้านรงค์, 2542; Stephen, 1995) โมเลกุลอะไมโลเพกทินสามารถเกิดรีโทรกราเดชัน ได้ โดยเกิดจากการรวมตัวกันของกิ่งที่สั้นและใช้เวลาในการเกิดนานกว่าอะไมโลส (Jane and Royby, 1984)

Bowers (1992) แสดงโครงสร้างการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ช โดยพิจารณาจาก บริเวณโครงสร้างของอะไมโลเพกทินที่แผ่ขยาย สามารถแบ่งได้ 3 ส่วน (ภาพที่ 5) ซึ่งจะแตกต่างกันตามโครงสร้างการจัดเรียงตัวที่มีความเป็นไปได้ในการเกิดรีโทรกราเดชัน ได้แก่ 1) Domain A (เหนือเส้นประ) เกิดจากกิ่งของอะไมโลเพกทินที่พันกันด้วยพันธะเกลียวคู่ โดยมีอะไมโลสบางสาย รวมอยู่ในเกลียว 2) Domain B เกิดจากกิ่งของอะไมโลเพกทินที่พันกัน และยังคงกระจายได้ในน้ำ บริเวณรอบๆ โดย Domain B นี้จะมีสถานะอยู่ระหว่างการเกิดเจลกับการเกิดรีโทรกราเดชันของ Domain A และ 3) Domain C เกิดจากการเกิดรีโทรกราเดชันของอะไมโลสที่เกิดจากโมเลกุลที่พับ ไปมา เนื่องจากอะไมโลเพกทินเป็นส่วนประกอบหลักในสตาร์ช ดังนั้น Domain A และ Domain B จึงเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของเจลระหว่างการเก็บ โดยการเกิดรีโทรกราเดชันอะไมโลสจะเกิดก่อน และเมื่อเวลาผ่านไปอะไมโลเพกทินจะเกิดรีโทรกราเดชัน



ภาพที่ 5 แบบแผนของโครงสร้างที่มีความเป็นไปได้ของสตาเร็กซ์ที่เกิดรีโทรกราเดชัน
ที่มา: Bowers (1992)

การกินตัวของสตาเร็กซ์ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของสตาเร็กซ์ ความเข้มข้นของสตาเร็กซ์ กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรดเบสของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ของเม็ดแป้ง (Whistle and BeMiller, 1999) Stephen (1995) กล่าวว่า อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินของสตาเร็กซ์ และการกระจายของขนาดโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินมีอิทธิพลต่อการเกิดรีโทรกราเดชัน

4. ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของสตาเร็กซ์

4.1 การแช่แข็งและละลาย

การแช่แข็งและละลายมีผลต่อความคงตัวของสตาเร็กซ์ โดยเจลของสตาเร็กซ์ที่ผ่านการแช่แข็ง จะมีสมบัติทางรีโอโลยีและเนื้อสัมผัสที่ต่างจากเจลของสตาเร็กซ์ที่ไม่ได้ผ่านการแช่แข็ง และผลกระทบที่เห็นได้ชัดเจนคือ การเกิด syneresis (การแยกตัวของของเหลวหลังจากการละลาย) ซึ่งการวัดความคงตัวของสตาเร็กซ์แช่แข็งและละลาย ถือเป็นปัจจัยสำคัญในการวัดสมบัติของเจลสตาเร็กซ์ (Eliasson and Gudmundsson, 1996)

Varavinit *et al.* (2000) ศึกษาความคงตัวต่อการแช่แข็งและละลายของสตาร์ชสาคุและสตาร์ชมันสำปะหลัง โดยแช่แข็งเจลของสตาร์ชที่ -18 องศาเซลเซียส นาน 22 ชั่วโมง และนำมาละลายที่อุณหภูมิ 30, 60 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่า หลังจากผ่านวงจรการแช่แข็งและละลายไป 5 วงจร เพสค์ของสตาร์ชที่ละลายที่อุณหภูมิสูงมีค่า syneresis ต่ำกว่าเพสค์ของสตาร์ชที่ละลายที่อุณหภูมิต่ำ

4.2 ความเป็นกรดเบส (pH)

ความเป็นกรดเบสมีผลต่อพฤติกรรม และคุณสมบัติของสตาร์ชในด้านของความคงตัวและความแข็งแรงของเจลสตาร์ช เช่น ในสตาร์ชมันฝรั่งจะมีความแข็งแรงของเจล (gel strength) มากที่ระดับความเป็นกรดเบสที่เป็นกลาง และจะมีความคงตัวต่ำที่ระดับความเป็นกรดเบสต่ำ (Eliasson and Gudmundsson, 1996)

Hong Wang *et al.* (2000) ได้ศึกษาผลของความเป็นกรดเบสของสตาร์ชข้าวโพดและฟอสเฟตต่อ Pasting properties ของแป้งข้าว พบว่า เพสค์ของแป้งข้าว (ความเข้มข้น 6% ฐานแห้ง) มีความหนืดต่ำที่ระดับความเป็นกรดเบสต่ำ และค่าความแข็งของเส้นก๊วยเตี๋ยที่เตรียมจากแป้งข้าวมีค่าต่ำลงที่ความเป็นกรดเบสต่ำลง

5. ไฮโดรคอลลอยด์

ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) เป็นคำศัพท์ที่มาจากคำว่า Hydro ซึ่งเป็นภาษากรีกที่แปลว่า น้ำ รวมกับภาษาฝรั่งเศส col แปลว่า กาว และ oid แปลว่า เหมือน ดังนั้นไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดจึงมีหน้าที่แตกต่างกันในอาหาร เช่น เป็นสารให้ความข้นหนืด (thickening agent) ช่วยในการเกิดเจล (gelling agent) หรือเป็นสารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) (Stephen, 1995) ไฮโดรคอลลอยด์ต่างๆ มีลักษณะใกล้เคียงกับของเหลวหรือใกล้เคียงกับของแข็ง โดยสมบัติที่เรียกว่า Liquid-like properties เกิดจากส่วนประกอบที่เป็นน้ำมากกว่า 80% ส่วนสมบัติที่เรียกว่า Solid-like properties เนื่องจากเกิดการสร้างโครงสร้างตาข่าย (network) ขึ้น ซึ่งระบุลักษณะดังกล่าวด้วยค่า Elastic modulus สำหรับ hydrogels ของพอลิแซ็กคาไรด์ มักใช้ทอมของ junction zone ในการอธิบาย crosslink เนื่องจากแต่ละ crosslink เกี่ยวข้องกับการรวมกลุ่มกัน (aggregates) ของสายโซ่โมเลกุลที่เป็นระเบียบ เช่น Helices โดยพันธะที่เกี่ยวข้องใน junction zone มักเป็นพันธะ non-

covalent เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิก และ hydrophobic interactions เป็นต้น พอลิแซ็กคาไรด์บางชนิด เช่น แชนแทนกัม มีสายโซ่ระหว่างโมเลกุลเชื่อมต่อกันอย่างบางเบาในสารละลาย ทำให้เกิดโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ โดย junction zone ที่เชื่อมต่อกันนี้สามารถทำให้แตกได้ง่าย และโครงสร้างตาข่ายจะถูกทำลายแม้ว่าจะใช้ shear rate ที่ต่ำมากๆ (รุ่งนภา, 2547; Phillips and Williams, 2000)

ในอุตสาหกรรมอาหาร มีการนำเอาพอลิแซ็กคาไรด์ไปใช้ประโยชน์เป็นสารเพิ่มความคงตัว (stabilizer) สารเพิ่มความหนืด (thickener) อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) suspending agent gelling agent film-forming agent encapsulating agent และหน้าที่อื่นๆ ในผลิตภัณฑ์อาหาร สมบัติและหน้าที่ดังกล่าวจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพดีขึ้น เช่น มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีและมีอายุการเก็บได้นานขึ้น (นิธิยา, 2545) หน้าที่เบื้องต้นของไฮโดรคอลลอยด์ในอาหารต่างๆ ไป คือสามารถนำไปปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของน้ำในอาหาร ทำให้โมเลกุลของน้ำบางส่วนไม่เคลื่อนที่ส่วนที่ถูกจับไว้ในไฮโดรคอลลอยด์จะไม่หลุดออกมา ส่วนหน้าที่อื่นๆ คือ ช่วยลดอัตราการระเหยของน้ำ เปลี่ยนแปลงจุดเยือกแข็ง ปรับเปลี่ยนการเกิดผลึกน้ำแข็งในระหว่างการเก็บในสภาพแช่เยือกแข็ง ควบคุมและปรับสมบัติในการไหล การพองอนุภาคที่ไม่ละลายน้ำให้แขวนลอย ทำให้โฟมและอิมัลชันอยู่ตัว และทำให้น้ำมันกระจายอยู่ในระบบที่มีไฮโดรคอลลอยด์อยู่ด้วย (สุวรรณ, 2543)

5.1 สมบัติทั่วไปของไฮโดรคอลลอยด์

ในการใช้ไฮโดรคอลลอยด์จำเป็นต้องทราบสมบัติของไฮโดรคอลลอยด์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของไฮโดรคอลลอยด์อย่างสมบูรณ์ ได้แก่ การกระจายตัวในน้ำ ความหนืดของไฮโดรคอลลอยด์ และการเกิดเจล ซึ่งเป็นสมบัติที่ต้องการของไฮโดรคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

5.1.1 การกระจายตัวในน้ำ ไฮโดรคอลลอยด์ส่วนใหญ่ละลายได้ดีในน้ำร้อน บางชนิดที่ละลายได้ดีในน้ำเย็น และบางชนิดละลายได้ในสารละลายอินทรีย์ การกระจายตัวในน้ำจะผันแปรแตกต่างกัน เรียกว่า degree of solubility ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อุณหภูมิและความเข้มข้น (นิธิยา, 2545) การทำให้ไฮโดรคอลลอยด์จับกับน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องให้อนุภาคของไฮโดรคอลลอยด์แต่ละอนุภาคที่ประกอบกันเป็นผงแห้ง แยกจากกันได้อย่างอิสระเมื่อเติมเข้าไปในเฟสส่วนที่เป็นน้ำ (aqueous phase) เพื่อป้องกันการเกิดลักษณะการจับเป็นกลุ่ม (agglomeration) ซึ่งเกิด

จากอนุภาคของไฮโดรคอลลอยด์บางส่วนหุ้มไปด้วยน้ำ แล้วพองตัวแต่ที่ด้านนอกหุ้มส่วนของไฮโดรคอลลอยด์ที่ไม่ถูกน้ำและเป็นผงแห้งอยู่ภายใน เมื่ออนุภาคของผงไฮโดรคอลลอยด์มีการกระจายตัวที่ดี จะเริ่มดูดซึมน้ำไว้ในโมเลกุล โดยอนุภาคนขนาดเล็กจะดูดซึมน้ำได้เร็วกว่าอนุภาคนขนาดใหญ่กว่า (รุ่งนภา, 2547)

5.1.2 ความหนืดของไฮโดรคอลลอยด์ เมื่อไฮโดรคอลลอยด์ละลายในน้ำจะได้อาหารละลายที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยแต่ละชนิดจะมีความหนืดแตกต่างกัน ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืด ได้แก่ ธรรมชาติของพอลิแซ็กคาไรด์กัม อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ละลาย ความเข้มข้นของสารละลาย และระยะเวลาที่ใช้ในการละลาย (นิธิยา, 2545)

5.1.3 การเกิดเจลของไฮโดรคอลลอยด์ การเกิดเจลเป็นการเปลี่ยนสถานะของเฟส น้ำจากของไหลไปเป็นสถานะของแข็งหรือเป็นเจล (นิธิยา, 2545) ซึ่งเป็นผลจากความสามารถของไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นเจล มีลักษณะเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติที่เกิดจากสายโซ่ของโมเลกุลแต่ละสายมาเกี่ยวพันกันในลักษณะเฉพาะ ขั้นตอนการเกิดเจลขึ้นอยู่กับเวลา อุณหภูมิ และขั้นตอนการเตรียมที่ถูกต้อง เนื่องจากสารทำให้เกิดเจลแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะตัว (รุ่งนภา, 2547)

5.2 การแบ่งประเภทไฮโดรคอลลอยด์ แบ่งตามแหล่งกำเนิด 3 ประเภท ดังนี้

5.2.1 ไฮโดรคอลลอยด์ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากสาหร่าย ได้แก่

5.2.1.1 อัลจิเนต (alginate) เป็นเกลือของกรดอัลจินิก (alginic acid) ได้จากการสกัดสาหร่ายสีน้ำตาล (phaeophyceae) ด้วยด่าง

5.2.1.2 วุ้น (agar) สกัดจากสาหร่ายสีแดง (rhodphyceae) สายพันธุ์ *Gracilaria* spp. และ *Gelidium* spp. (Morris, 1998) และ *Gelidiella* spp.

5.2.1.3 คาร์ราจีแนน (carrageenan) สกัดจากสาหร่ายสีแดง (rhodphyceae) (Morris, 1998) สายพันธุ์ *Chondrus*, *Eucheuma* และ *Gigartina* spp.

5.2.2 ไฮโดรคอลลอยด์ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากพืช ได้แก่

5.2.2.1 เพกทิน (pectin) เป็นส่วนประกอบอยู่ในผนังเซลล์พืช (Whistler and Bemiller, 1999)

5.2.2.2 อนุพันธ์เซลลูโลส (cellulose derivative) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้มาจากการดัดแปรคุณสมบัติของเซลลูโลส (Morris, 1998) มีหลายชนิด ได้แก่ คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส (CMC), เมทิลเซลลูโลส (MC), ไฮดรอกซิลเมทิลโพรพิลเซลลูโลส (HPMC) เป็นต้น (Whistler and Bemiller, 1999)

5.2.2.3 กัมอารบิก (gum arabic) เป็นยางของต้นอคาเซีย (acacia) (Whistler and Bemiller, 1999)

5.2.2.4 กัมการายา (gum karaya) เป็นยางของต้น Sterculiaurens (Whistler and Bemiller, 1999)

5.2.2.5 กาแล็กโทโมแนน (galactomannans) สกัดจากเนื้อเมล็ด (endosperms) ของเมล็ดถั่ว ได้แก่ โลคัสบีนัม (locust bean gum ; LBG) ได้จากเมล็ดโลคัสบีน (Locust bean seed) และกัวร์กัม (guar gum) ได้จากเมล็ดกัวร์ (guar seeds)

5.2.2.6 กลูโคโมแนน (glucomannans) ที่สำคัญได้แก่ คอนยัคแมนแนน (konjac mannan) สกัดจากหัว (tubers) ของ amorphopallus Konjac

5.2.3 ไฮโดรคอลลอยด์ที่จากจุลินทรีย์

5.2.3.1 แซนแทนกัม (xanthan gum) เป็นกัมที่สังเคราะห์ขึ้นโดยแบคทีเรีย *Xanthomonas campestris*

5.2.3.2 เจลแลนกัม (gellan gum) เป็นกัมที่สังเคราะห์ขึ้นโดยแบคทีเรีย *Sphingomonas elodea* หรือ *Pseudomonas elodea*

6. อัลจีเนต (alginate)

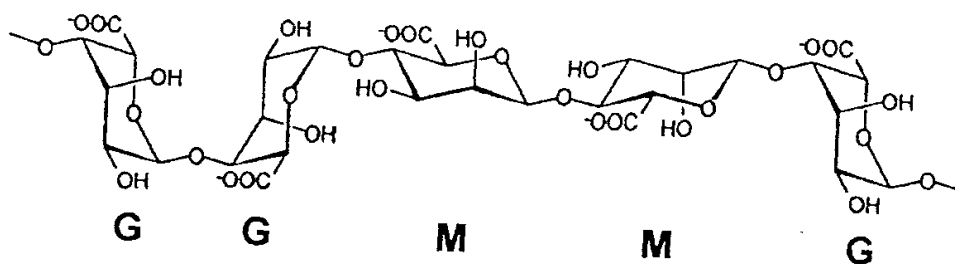
อัลจีเนตเป็นพวก hydrophillic colloidal carbohydrate ที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล ประกอบด้วยโมโนเมอร์จำนวนมาก (จำนวนตั้งแต่ 100 - 300 โมโนเมอร์) เชื่อมต่อกันมีโครงสร้างเป็น glycuroglycan สายยาว ซึ่งเป็นพอลิเมอร์สายตรงประกอบด้วย monomeric 2 ชนิด คือ D-mannuronic acid และ L-guluronic acid ซึ่งเป็น C-5 epimer มีโครงสร้างคล้ายกัน แต่แตกต่างกันที่ตำแหน่งของหมู่คาร์บอกซิล ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างแบบ block มีความแตกต่างกันมาก พอลิเมอร์ของอัลจีเนตเกิดการเชื่อมต่อของ monomer ด้วยพันธะไกลโคซิดิก (1, 4) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของโมเลกุลหนึ่งกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของอีกโมเลกุลหนึ่ง (Imeson, 1997) ซึ่งจะทำให้เกิดสายพอลิเมอร์ได้ทั้งหมด 3 ชนิด คือ

6.1 M-block ประกอบด้วย D-mannuronic acid เพียงอย่างเดียว ซึ่งเกิดจาก equatorial group ทั้ง C_1 และ C_4 ทำให้สายพอลิเมอร์มีลักษณะเป็นเส้นตรงคล้ายริบบิ้น เจลที่ได้มีความอ่อนนุ่ม มีความยืดหยุ่น ไม่ทนความร้อน จึงเหมาะที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์แช่แข็ง เพราะสามารถทนต่อ freeze-thaw ได้ดี

6.2 G-block ประกอบด้วย L-guluronic acid เพียงอย่างเดียว เกิดจาก axial group ทั้ง C_1 และ C_4 ทำให้สายพอลิเมอร์มีลักษณะคดไปมา ซึ่งมีความสำคัญต่อการเกิดเจล ทำให้มี Gel strength สูง เจลที่ได้มีความแข็งแรง ไม่มีความยืดหยุ่น มีความคงทนต่อความร้อนได้ดี แต่เกิดการสูญเสีย น้ำง่าย จึงไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์แช่แข็ง

6.3 MG-block ประกอบด้วย D-mannuronic acid และ L-guluronic acid การจัดเรียงตัวของ D-mannuronic acid และ L-guluronic acid ในสายพอลิเมอร์มีผลต่อลักษณะและสมบัติของอัลจิเนต

สมบัติของอัลจิเนตขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์ การเกิดพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิดนั้น จะมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของสาหร่าย และสมบัติทางกายภาพของอัลจิเนตขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด คือ ในการเกิดเจลถ้ามี G-block มากจะทำให้มี Gel strength สูง เจลที่ได้มีความแข็งแรง ไม่มีความยืดหยุ่น มีความคงทนต่อความร้อนได้ดี แต่เกิดการสูญเสีย น้ำง่าย จึงไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์แช่แข็ง ในขณะที่อัลจิเนตที่มี M-blocks มาก จะให้เจลที่มีความอ่อนนุ่ม มีความยืดหยุ่น แต่ไม่ทนความร้อน จึงเหมาะที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์แช่แข็ง เพราะสามารถทนต่อ freeze-thaw ได้ดี ส่วนอัลจิเนตที่มีปริมาณ MG-blocks มาก จะมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี (ดังภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 ลักษณะโครงสร้างของอัลจีเนต

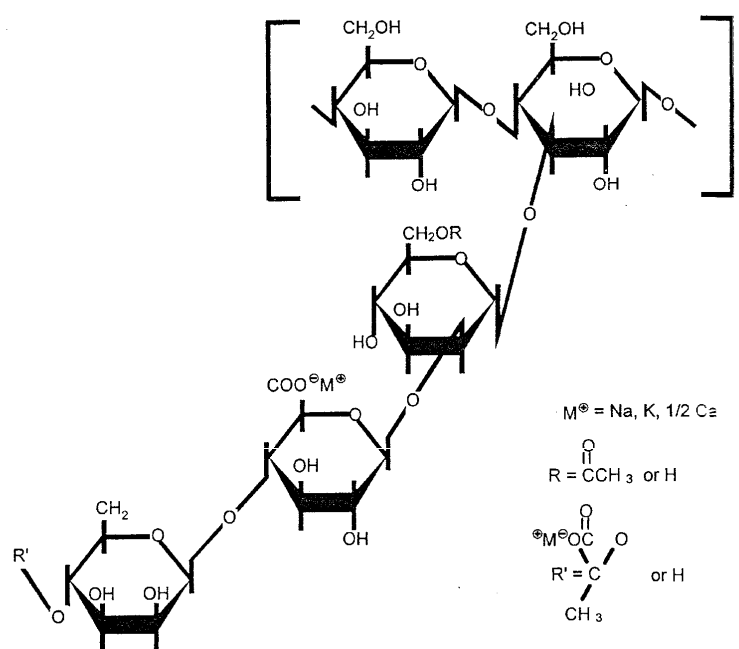
ที่มา: Phillips and Williams (2002)

ความหนืดของสารละลายอัลจีเนตขึ้นกับอุณหภูมิ ความเข้มข้น และน้ำหนักโมเลกุลของอัลจีเนตพอลิเมอร์ โดยสารละลายอัลจีเนตที่ shear rate ต่ำ มีค่าความหนืดสูง โมเลกุลของอัลจีเนตจะเรียงตัวกันอย่างสับสน แต่ที่ shear rate สูง ความหนืดจะลดลง เนื่องจากโครงสร้างมีแนวโน้มการจัดเรียงตัวขนานกันมากขึ้น สมบัติที่ดีของอัลจีเนต คือ เกิดเจลได้ในน้ำเย็นเมื่อมีแคลเซียมไอออนรวมอยู่ด้วย โดยการเกิดเจลในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า egg box และเจลที่ได้จะคงตัวไม่คืนกลับด้วยความร้อน (thermally irreversible gelling agent) อัลจีเนตมักใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ใช้เติมในอาหารกระป๋องบางชนิด ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวให้กับไอศกรีม ขนมหวานแช่เยือกแข็ง และน้ำสลัด เป็นสารยับยั้งการเกิด Syneresis โดยใช้โซเดียมอัลจีเนตเป็นส่วนผสมในไส้พายมะนาวที่แช่เย็น เพื่อให้เกิดความคงตัวในระหว่างการแช่แข็งและละลาย นอกจากนี้อัลจีเนตยังใช้เคลือบผิวเนื้อปลาก่อนการแช่เยือกแข็ง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิด freezer burn กับเนื้อปลา (Imeson, 1997)

7. แขนแทนกัม (xanthan gum)

แขนแทนกัมได้จากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ ชนิดที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม คือ *Xanthomonas compestris* เป็นเห็ดเตาโรพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำตาลกลูโคส แมนโนส และกรดกลูโคนิกในอัตราส่วน 2.8: 3: 2 มีหมู่อะซิดิก 4.7% และกรดไพรูวิกประมาณ 3% โดยน้ำตาลกลูโคสต่อกับแมนโนสด้วยพันธะ β -1, 4 และน้ำตาลแมนโนสที่เป็นสายแขนงต่อกับสายหลักด้วยพันธะ 1, 2 หรือ 1, 3 ส่วนกรดกลูโคนิกต่อกันด้วยพันธะ β -1, 2 สารละลายแขนแทนกัมให้ความหนืดสูงแม้ความเข้มข้นต่ำ แขนแทนกัมมีความคงตัวสูงต่อความเป็นกรดเบส อุณหภูมิ การแช่แข็ง และละลาย แขนแทนกัมสามารถใช้ในสูตรอาหารที่มีการใช้กรดอะซิดิก กรดซิตริก และกรด

ฟอสฟอริกได้ โดยสามารถทนความเป็นกรดตั้งแต่ pH 2 ถึง 11 แชนแทนกัมที่ความเข้มข้นสูงมีความสามารถในการทนต่อความเป็นกรดต่างได้มากกว่าที่ระดับความเข้มข้นต่ำ สามารถแสดงลักษณะการเป็นซูโดพลาสติกสูง โดยไม่เปลี่ยนแปลงความหนืดตามระยะเวลา (thixotropic) สมบัติการเป็นซูโดพลาสติกนี้ เกิดจากโครงสร้างเฉพาะตัวของแชนแทนกัมเมื่อมีแรงมากระทำ แชนแทนกัมไม่มีสมบัติเป็น gelling agent แต่สามารถเกิดเป็นเจลที่ผันกลับด้วยความร้อนได้ (thermo reversible gel) แชนแทนกัมถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวในน้ำสลัด เพื่อให้เครื่องเทศและส่วนประกอบอื่นๆ แขนงลอยอยู่ได้ และเก็บได้นานโดยไม่เกิดการแยกชั้น ในผลิตภัณฑ์ซอสจะใช้แชนแทนกัมเป็นสารเพิ่มความข้นหนืด ส่วนในผลิตภัณฑ์ขนมอบใช้แชนแทนกัม เพื่อให้ส่วนผสมต่างๆ ผสมเข้ากันได้ง่ายในระหว่างการนวด ทำให้โพรงอากาศกระจายตัวและมีความคงตัวอยู่ในผลิตภัณฑ์ได้ดี (Imeson, 1997)



ภาพที่ 7 ลักษณะโครงสร้างของแชนแทนกัม

ที่มา: Phillips and Williams (2002)

8. เจลผสมระหว่างไฮโดรคอลลอยด์กับสตาร์ช

กัม หรือที่เรียกกันว่า ไฮโดรคอลลอยด์ เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เรียกว่า มาโครโมเลกุล (macromolecules) โมเลกุลของมาโครโมเลกุลที่อยู่ในสารละลาย จะจับตัวกับโมเลกุลอื่นที่อยู่ใกล้กัน และปล่อยโมเลกุลของน้ำที่เคยจับอยู่ให้หลุดออกมา การจับตัวเช่นนี้มักเกิดกับสตาร์ช ส่วนการจับตัวแบบอื่นที่พบ คือ โมเลกุลแต่ละโมเลกุลของมาโครโมเลกุลมีการจับตัวกับโมเลกุลอื่นมากกว่า 1 ตำแหน่ง ทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหสามมิติ 3 ทิศทาง เรียกว่า การเกิดเจล โดยมีโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ทั่วไป และโมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนที่ไม่ได้เมื่อแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลในร่างแห ทำให้เกิดเจลที่แข็งตัวและมีรูปร่างแน่นอน ขณะที่เจลเริ่มแข็งตัวครั้งแรกจะมีลักษณะเหนียว นุ่ม และค่อยๆ แข็งตัวเพิ่มขึ้นจนมีรูปร่าง เนื่องจากโมเลกุลของมาโครโมเลกุลภายในเจลเกาะตัวกันแน่นเป็นตาข่ายเพิ่มมากขึ้น และมีการปล่อยน้ำออกมาจากโมเลกุลด้วย (นิธิยา, 2545; Whistler and Daniel, 1990) เมื่อพอลิแซ็กคาไรด์ 2 ชนิดมารวมกัน สามารถเกิดปรากฏการณ์ได้ 2 รูปแบบ คือ

8.1 การเกี่ยวพันกัน (association) เป็นกลไกการเชื่อมติดกันในช่วงต้นแรก ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาสัมพันธระหว่างไอออนของไฮโดรคอลลอยด์ที่มีประจุต่างกัน ส่วนในช่วงตอนที่สองจะเป็นปฏิกิริยาสัมพันธของปัจจัยเสริมในโมเลกุลของไฮโดรคอลลอยด์ โดยจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและมีการเกิดเจล ไฮโดรคอลลอยด์ที่มีประจุตรงข้ามกัน มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการเกี่ยวพันกันเมื่อมีการรวมตัวกันและอาจมีการตกตะกอนเกิดขึ้น ในขณะที่โมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์บางชนิด จะมีการรวมกลุ่มกันแล้วทำให้เกิดเจลขึ้น

8.2 การไม่เกี่ยวพันกัน (no association) ถ้าพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดเข้ากันได้ จะเกิดเป็นเฟสเดียว แต่ถ้าเข้ากันไม่ได้จะแยกเป็นสองเฟส ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิดที่รวมตัวกันจะยังคงอยู่เป็นเฟสเดียวกัน (single homogeneous phase) แต่เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสองจะแยกจากกันเกิดเป็นเฟสของของเหลว 2 เฟส (Phillips and Williams, 2000)

การผสมสตาร์ชกับไฮโดรคอลลอยด์ ทำให้สมบัติของสตาร์ชเปลี่ยนแปลงไปและช่วยปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังนั้นจึงมีการศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของสตาร์ช

Lee *et al.* (2002) ศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อการแยกตัวของน้ำจากแป้งมันเทศ พบว่า อัลจิเนต กัวร์กัม และแซนแทนกัม (0.3 - 0.6% w/w) สามารถลดการเกิด syneresis และลดการเกิดรีโทรกราเดชันของแป้งมันเทศได้ โดยอัลจิเนตมีประสิทธิภาพดีกว่าแซนแทนกัม และกัวร์กัม ตามลำดับ

Mali *et al.* (2003) ศึกษาผลของความเป็นกรดต่ำ และไฮโดรคอลลอยด์ต่อความคงตัวของเพสต์ของสตาร์ชมันแกว (yam starch) โดยศึกษาที่ความเป็นกรดต่ำที่ 3, 5 และ 7 และเติมกัม (กัวร์กัมและแซนแทนกัม) พบว่า เพสต์ของสตาร์ชมันแกวจะมีความหนืดสูงที่ระดับความเป็นกรดเบสที่เป็นกลางหรือที่มีความเป็นกรดน้อย เพสต์ของสตาร์ชมันแกวที่เติมกัมจะทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดีกว่าเพสต์ของสตาร์ชมันแกวอย่างเดียว และในสภาวะแช่เย็นเพสต์ของสตาร์ชมันแกวที่เติมแซนแทนกัมจะช่วยรักษาความแน่นเนื้อของเจล (gel firmness) ได้

Mandala and Bayas (2004) ศึกษาการพองตัวและการละลายของสตาร์ชข้าวสาลีที่ผสมกับแซนแทนกัม พบว่า แซนแทนกัมที่ผสมกับสตาร์ชจะทำให้โมเลกุลของสตาร์ชมีการพองตัวเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส อะไมโลสถูกปลดปล่อยออกมามากขึ้น แต่ที่อุณหภูมิสูง (มากกว่า 85 องศาเซลเซียส) การปลดปล่อยของอะไมโลสจากโมเลกุลของสตาร์ชจะถูกจำกัด ทำให้การละลายลดลง สารละลายแซนแทนกัมที่เข้มข้นจะอยู่รอบๆ เม็ดแป้งที่พองตัว ทำให้เม็ดแป้งได้รับแรงเฉือนมากขึ้น แซนแทนกัมมีโครงสร้างเกี่ยวพันกับอะไมโลสที่หลุดออกมาเกิดเป็นฟิล์มรอบๆ เม็ดแป้ง มีผลทำให้การเกาะติดและการเกี่ยวพันกันของโครงสร้างร่างแหพอลิเมอร์ ในส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินไม่แข็งแรง อะไมโลสไม่ทำปฏิกิริยาสัมพันธ์กับแซนแทนกัมในส่วนเฟสต่อเนื่อง

Brennan *et al.* (2004) ศึกษาผลของ Pasting properties, เจลาติไนเซชัน และความคงตัวทางด้านการแช่แข็งและละลายของสตาร์ชข้าวโพด พบว่า แซนแทนกัมมีผลให้ค่า Peak และ Final viscosity ของเพสต์สตาร์ชเพิ่มขึ้น และการเติมแซนแทนกัมสามารถช่วยในการปรับปรุงความคงตัวทางด้านการแช่แข็ง และละลายเนื่องจากแซนแทนกัมจะช่วยจับน้ำเอาไว้ และช่วยลดการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชข้าวโพดได้

Pongsawatmanit *et al.* (2005) ศึกษาผลของการเติมไซโคลลูแคนต่อสมบัติด้านความหนืดและความคงตัวของแป้งมันสำปะหลังที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ในอัตราส่วนต่างๆ โดยมีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์คงที่ 5% (w/w) พบว่า ไซโคลลูแคนมีผลให้ค่า peak และ final viscosity เพิ่มขึ้น และจากการทดสอบความคงตัวทางด้านการแช่แข็งและละลาย พบว่า เพสค์ของแป้งมันสำปะหลังที่ผสมไซโคลลูแคน มีความคงตัวทางด้านการแช่แข็งและละลายดีกว่าเพสค์แป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว เนื่องจากการแยกตัวของน้ำน้อยกว่าเพสค์สตาร์ชมันสำปะหลังอย่างเดียว

Sae-kang and Suphantharika (2006) ศึกษาผลของ pH (3, 5 และ 7) และแซนแทนกัมต่อความคงตัวในการแช่แข็งและละลายของสตาร์ชมันสำปะหลัง (6% หรือ 24% w/w) โดยศึกษาแป้งมันสำปะหลัง/แซนแทนกัม ในอัตราส่วนต่างๆ (6.0/0.0, 5.7/0.3 และ 5.4/0.6) และวงจรการแช่แข็งและละลาย พบว่า แซนแทนกัมมีผลในการลดการ Syneresis และความคงตัวที่ pH 7 แต่ที่ pH 9 แซนแทนกัมมีผลเล็กน้อย และมีผลเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแซนแทนกัมมากขึ้น ที่ pH 3 พบว่า แซนแทนกัมมีผลเพียงเล็กน้อยและมีการเกิด syneresis สูงที่สุด

9. ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากสตาร์ชและไฮโดรคอลลอยด์

Sikora *et al.* (2007) ศึกษาการเติมสารให้ความข้นหนืดในสตอเบอร์รี่ซอส โดยสารให้ความข้นหนืดที่ใช้ คือ สตาร์ชข้าวโอ๊ต มันฝรั่ง และข้าวโพดผสมกับแซนแทนกัม พบว่า ซอสที่ใช้สตาร์ชมันฝรั่งผสมแซนแทนกัม 0.12% ให้ความข้นหนืดดีกว่าสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชข้าวโอ๊ต

Gibinski *et al.* (2005) ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสตาร์ชข้าวโอ๊ต และสตาร์ชมันฝรั่งผสมพอลิแซ็กคาไรด์ (แซนแทนกัม) เพื่อใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในซอส พบว่า ความข้นหนืดของซอสที่มีสตาร์ชมันฝรั่งผสมแซนแทนกัม สตาร์ชข้าวโอ๊ตผสมแซนแทนกัม มีการเกาะรวมตัวกัน (adhesiveness) penetration force และ stringiness เพิ่มขึ้น

Akdeniz *et al.* (2006) ศึกษาผลของการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของแป้งชุบทอดสำหรับแครอท โดยไฮโดรคอลลอยด์ที่ศึกษา ได้แก่ ไฮดรอกซิลเมทิลโพรพิลเซลลูโลส (HPMC) กัวร์กัม แซนแทนกัม และกัวร์กัมผสมแซนแทนกัม พบว่า ไฮโดรคอลลอยด์มีผลในการลดควบคุมการสูญเสียความชื้นและการลดการร่อนน้ำมัน ช่วยเพิ่มการเกาะติดของแป้งชุบทอดได้ถึง 66.5% โดยกัวร์กัมผสมกับแซนแทนกัม ให้ผลดีที่สุด

Ward and Andon (2002) ศึกษาเกี่ยวกับกัมที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบและผลิตภัณฑ์จาก กล้วยพืช เพื่อปรับปรุงเรื่องของ film former, adhesive และ gelling agent พบว่า แชนแทนกัมมีความ คงตัวที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นข้อดีในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ทำให้เกิดเจลที่มีความ ยืดหยุ่นดีขึ้น และเพิ่มความคงตัวในกระบวนการ freeze-thaw โดยผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีส่วนผสม ของแชนแทนกัมร้อยละ 0.1 - 0.15 จะมีการยึดติดกับน้ำที่ดี

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

1.1 แป้งมันสำปะหลัง (ตราสามช้าง, Chorchaiwat, ประเทศไทย)

2. สารเคมี

2.1 โซเดียมอัลจีเนต (TIC Pretested® Colloid 488T)

2.2 แชนแทนกัม (CP Kelco Co., Ltd, ประเทศไทย)

2.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

2.4 ไฮโดรคลอริก (HCl)

2.5 โซเดียมเอไซด์ (sodium azide)

3. อุปกรณ์

3.1 อุปกรณ์ในการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

3.1.1 เครื่องวัดค่าความเป็นกรดเบส (pH meter) (Mettler Toledo, Seven easy)

3.1.2 เครื่องวิเคราะห์โปรตีนแบบ Kjeldahl (Buchi distillation Unit B-324, Buchi, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)

3.1.3 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, โซแอนติฟิโกโปรโมชั่น, ประเทศไทย)

3.1.4 เตาเผา (Muffle, Stuart Scientific, ประเทศอังกฤษ)

3.1.5 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Helios, UV-Visible, Thermo Spectronic, ประเทศอังกฤษ)

3.1.6 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Precisa XT 220A, เอ็นซี ซายน์เทค จำกัด, ประเทศไทย)

3.1.7 อ่างควบคุมความร้อนแบบเขย่า (Memmert model 600, ประเทศเยอรมันนี)

3.1.8 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Sigma model 2 - 16, ประเทศเยอรมันนี)

3.2 อุปกรณ์ในการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

3.2.1 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid visco analyser model RVA 4D, Newport Scientific, ประเทศออสเตรเลีย)

4. อุปกรณ์ในการประมวลผล และวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

4.2 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

วิธีการ

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุดิบ

ในการทดลองนี้ใช้แป้งมันสำปะหลังตราสามช้าง เก็บโดยบรรจุในถุงพลาสติกชนิด high density polyethylene ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ตลอดการทดลอง

ไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ แซนแทนกัม และอัลจิเนต เก็บในเคสิเคเตอร์ที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ความชื้นโดยอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง

1.1 การศึกษาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง โดยนำแป้งมันสำปะหลังมาทำการวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ ดังนี้

1.1.1 ความชื้น (AACC, 2000)

1.1.2 เถ้า (AACC, 2000)

1.1.3 โปรตีน (AOAC, 2000)

1.1.4 ไขมัน (AOAC, 2000)

1.1.5 เส้นใยหยาบ (AOAC, 2000)

1.1.6 ปริมาณอะไมโลส ซึ่งตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 20 มิลลิกรัม ใส่ลงในหลอด centrifuge เติม 85% เมทิลแอลกอฮอล์ 5 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำร้อนที่มีการควบคุมอุณหภูมิ และเขย่านาน 30 นาที ผสมกันเป็นครั้งคราวโดยใช้ vortex mixer จากนั้นเหวี่ยงที่ 3000xg เป็นเวลา 15 นาที เทสารละลายส่วนใสด้านบนออก จะได้ตัวอย่างแป้งที่ไม่มีไขมัน จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ จำนวน 2 มิลลิลิตร และน้ำ 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้ vortex mixer นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำร้อนที่มีการควบคุมอุณหภูมิและเขย่านาน 30 นาที เพื่อสกัดไขมันออก แล้วทำให้เย็น จากนั้นปิเปตสารละลายที่ได้ 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก (trichloroacetic acid) เข้มข้น 0.5% ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และผสมกับสารละลายไอโอดีน - โพแทสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล (ซึ่งไอโอดีน 1.27 กรัม/ลิตร ผสมกับโพแทสเซียมไอโอไดด์ 3 กรัม/ลิตร) จำนวน 0.05 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30

นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร (Chrastil, 1987) โดยใช้ Spectrophotometer เทียบกับกราฟมาตรฐานของอะไมโลสของสตาร์ชมันฝรั่งเป็นอะไมโลสมาตรฐาน การรายงานปริมาณอะไมโลสในรายงานนี้ จะรายงานเป็น amylose equivalent (db) หมายถึง ร้อยละโดยน้ำหนักของอะไมโลสที่มีอยู่ในตัวอย่าง

2. การศึกษาผลของชนิดและปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งมันสำปะหลัง

ในที่นี้จะศึกษาไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด คือ แซนแทนกัม และอัลจีเนต ซึ่งการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพจะเตรียมความเข้มข้น คือ การวิเคราะห์กำลังการพองตัว (swelling power: SP) การศึกษาปริมาณ amylose leaching ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 1% (w/w) การศึกษา RVA pasting properties และความคงทนต่อสถานะแช่แข็งละลาย (freeze thaw stability) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5% (w/w)

2.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

เตรียมของผสม (dispersion) ของแป้งมันสำปะหลังและไฮโดรคอลลอยด์ให้มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ตามที่ต้องการ โดยมีอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อไฮโดรคอลลอยด์ 3 - 5 ระดับ ซึ่งตัวอย่างไฮโดรคอลลอยด์ที่ทราบความชื้น แล้วค่อยๆ เติมหิโดรคอลลอยด์ลงในน้ำที่ปราศจากไอออน และตั้งทิ้งไว้โดยสารละลายแซนแทนกัมทิ้งไว้ 1 คืนที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ส่วนสารละลายอัลจีเนตจะตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นซึ่งตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังที่ทราบความชื้น แล้วเติมลงในสารละลายไฮโดรคอลลอยด์ที่เตรียมไว้ผสมต่อไปอีก 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าทางกายภาพต่อไป

2.2 การวิเคราะห์กำลังการพองตัว (swelling power: SP)

การวิเคราะห์กำลังการพองตัว โดยดัดแปลงวิธีจาก McCowen และ Schoch (1959) และ Mandala และ Bayas (2004) เตรียมของผสมแป้งมันสำปะหลังและไฮโดรคอลลอยด์ตามวิธีข้อ 2.1 โดยใช้อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อไฮโดรคอลลอยด์ 5 ระดับ (แป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัมเท่ากับ 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1 แป้งมันสำปะหลังต่ออัลจีเนต

เท่ากับ 10/0, 9.5/0.5, 9/1, 8.5/1.5 และ 8/2) จากนั้นเตรียมในหลอด centrifuge ที่มีฝาปิดที่ทราบน้ำหนักแน่นอนโดยให้น้ำหนักสุดท้ายทั้งหมดเท่ากับ 10 กรัม น้ำของผสมแป้งมันสำปะหลังต่อไฮโดรคอลลอยด์ที่เตรียมได้ไปให้ความร้อนในอ่างควบคุมความร้อนแบบเขย่าที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที หลังจากนั้นแช่หลอดทดลองในน้ำแข็งนาน 15 นาที แล้วนำไปเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็ว 12000xg เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ปิเปิดส่วนใส่ออกจากหลอด (supernatant) ให้เหลือแต่ตะกอน แล้วชั่งน้ำหนักส่วนของตะกอน (W_p) แล้วนำตะกอนที่ได้ไปอบที่ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง ทำการอบจนน้ำหนักคงที่ แล้วคำนวณหาค่ากำลังการพองตัว (SP) ดังสมการ (1)

$$SP = \frac{\text{น้ำหนักส่วนของตะกอน } (W_p) \times 100}{\text{น้ำหนักส่วนของตะกอนที่อบแห้งแล้ว } (W_{sp})} \quad (1)$$

2.3 การศึกษาปริมาณ amylose leaching

เตรียมของผสมแป้งมันสำปะหลังและแซนแทนกัม หรือของผสมแป้งมันสำปะหลังและอัลจิเนต ตามวิธีข้อ 2.1 โดยมีอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อไฮโดรคอลลอยด์ 5 ระดับ (แป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัมเท่ากับ 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1 แป้งมันสำปะหลังต่ออัลจิเนตเท่ากับ 10/0, 9.5/0.5, 9/1, 8.5/1.5 และ 8/2) โดยนำส่วนใส (supernatant) ที่ปิเปิดออกจากหลอดในข้อ 2.2 มาชั่งน้ำหนักส่วนใส จากนั้นนำส่วนใสมา 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และน้ำปริมาตร 4 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนในอ่างควบคุมความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ปิเปิดสารละลายตัวอย่างที่ได้ 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก (trichloroacetic acid) ความเข้มข้น 0.5% ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และผสมกับสารละลายไอโอดีน - โพแทสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล จำนวน 0.05 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร โดยใช้ Spectrophotometer เทียบกับกราฟมาตรฐานของอะไมโลสโดยใช้อะไมโลสของสตาร์ชมันฝรั่งเป็นอะไมโลสมาตรฐาน (Chrastil, 1987) การรายงานปริมาณอะไมโลสในรายงานนี้ รายงานเป็น amylose equivalent (db) หมายถึง ร้อยละโดยน้ำหนักของอะไมโลสที่มีอยู่ในตัวอย่าง

2.4 การศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่างๆ ต่อ RVA pasting properties ของแป้งมันสำปะหลังด้วย RVA

เตรียมของผสมแป้งมันสำปะหลังและแซนแทนกัม หรือของผสมแป้งมันสำปะหลังและอัลจินต ตามวิธีข้อ 2.1 โดยมีอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อไฮโดรคอลลอยด์ 3 - 5 ระดับ (แป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัมเท่ากับ 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1 แป้งมันสำปะหลังต่ออัลจินตเท่ากับ 10/0, 9.5/0.5, 9/1, 8.5/1.5 และ 8/2) โดยเตรียมตัวอย่างใน RVA can ปิดด้วย parafilm โดยให้น้ำหนักสุดท้ายทั้งหมดเท่ากับ 28 กรัม ปิดฝาที่มีใบพาย (paddle) นำของผสมแป้งมันสำปะหลังและไฮโดรคอลลอยด์ที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ pasting properties ใช้โปรแกรมของเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA 4D, Scientific Newport, Australia) วิเคราะห์ความหนืดของตัวอย่างทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยใช้ profiles standard II ประมาณ 23 นาที ความแปรปรวนของอุณหภูมิไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส เริ่มให้ความร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 95 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ต่อนาที ควบคุมให้ระบบมีอุณหภูมิคงที่ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วลดอุณหภูมิลงเป็น 50 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการลดลงของอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ต่อนาที แล้วให้ระบบมีอุณหภูมิคงที่ที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที หยุดการทำงานที่ 23 นาที และบันทึกค่า pasting properties ต่าง ๆ (Newport Scientific, 1995)

2.5 การศึกษาผลไฮโดรคอลลอยด์ต่อความคงทนของสถานะแช่แข็งละลาย (freeze-thaw stability) ของแป้งมันสำปะหลัง

เตรียมของผสมแป้งมันสำปะหลังและแซนแทนกัม หรือของผสมแป้งมันสำปะหลังและอัลจินต ตามวิธีข้อ 2.1 โดยมีอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อไฮโดรคอลลอยด์ 3 ระดับ แป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัมเท่ากับ 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1 แป้งมันสำปะหลังต่ออัลจินตเท่ากับ 10/0, 9/1 และ 8/2 เติมโซเดียมเอไซด์ความเข้มข้น 0.04% เพื่อป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ นำขบวนการของผสมของแป้งมันสำปะหลังและไฮโดรคอลลอยด์ที่เตรียมไปให้ความร้อนในอ่างควบคุมความร้อนแบบแช่ที่อุณหภูมิ 98 – 100 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างมีอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำตัวอย่างที่เตรียมได้ใส่ในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปเหวี่ยงไล่ฟองอากาศที่ 190xg นาน 2 นาที แล้วทำให้เย็นแล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส นาน 20 ชั่วโมง จากนั้นนำมาละลายที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ออกจากเจลแป้งผสมไฮโดรคอลลอยด์ แล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ -

20 องศาเซลเซียส นาน 20 ชั่วโมง โดยมีวงจรแช่แข็งและละลายที่ 1, 3, 5 และ 7 รอบ ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

วัดปริมาณน้ำที่ออกจากเจลแป้งผสมไฮโดรคอลลอยด์ โดยใส่ในหลอดขนาด 5 มิลลิเมตร ที่มีช่องเปิดด้านล่าง แล้วปิดด้วยกระดาษกรอง (เบอร์ 5 เส้นผ่านศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร) 1 ชิ้น และสำลีหนัก 0.02 - 0.03 กรัม 1 ชิ้น โดยสำลียู้ง้านบนของกระดาษกรอง เติมน้ำกลั่นลงในหลอดนึ่งเพื่อให้กระดาษกรองและสำลีเปียก แล้วนำหลอดไปเหวี่ยงที่ 2100xg เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้ส่วนเกินออกจากสำลีและกระดาษกรอง หลังเหวี่ยงนำหลอดมาชั่งน้ำหนัก (W_0) ตักตัวอย่างเจลหลังการละลายแล้ว 2.5 กรัม ใส่ในหลอด จากนั้นชั่งน้ำหนักหลอดที่มีตัวอย่างก่อนเหวี่ยง (W_1) และหลังเหวี่ยง (W_2) ที่ 2100xg เป็นเวลา 10 นาที แล้ว คำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกออกจากเจلدังสมการ (2) (Pongsawatmanit และคณะ, 2006)

$$\text{น้ำที่แยกออกจากเจล (\%)} = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{(W_1 - W_0)} \quad (2)$$

พستแป้งมันสำปะหลังกับอัลจิเนต สามารถเตรียมได้ที่มีความเข้มข้นสูงกว่าของผสมแป้งมันสำปะหลังกับแซนแทนกัม เนื่องจากที่ความเข้มข้นเดียวกัน อัลจิเนตจะมีความหนืดน้อยกว่าแซนแทนกัม ทำให้สามารถเตรียมตัวอย่างที่มีความเข้มข้นสูงได้มากกว่าแซนแทนกัม (ภาพผนวกที่ ค1)

3. การศึกษาผลของ pH ต่อ RVA pasting properties และความคงทนต่อสภาวะการแช่แข็งและละลายของแป้งมันสำปะหลังผสมไฮโดรคอลลอยด์

3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ RVA pasting properties และความคงทนต่อสภาวะแช่แข็งละลาย

เตรียมของผสมของแป้งมันสำปะหลังและไฮโดรคอลลอยด์ ให้มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5% (w/w) โดยมีอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อไฮโดรคอลลอยด์ 3 ระดับ (แป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัมเท่ากับ 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1 แป้งมันสำปะหลังต่ออัลจิเนตเท่ากับ 10/0, 9/1 และ 8/2 ซึ่งตัวอย่างไฮโดรคอลลอยด์ที่ทราบความชื้นแล้ว จากนั้นค่อยๆ เติม

ไฮโดรคอลลอยด์ลงในน้ำที่ปราศจากไอออนและตั้งทิ้งไว้ โดยสารละลายแซนแทนกัมทิ้งไว้ 1 คืนที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ส่วนสารละลายอัลจินเตที่ตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังที่ทราบความชื้น เติมนลงในสารละลายไฮโดรคอลลอยด์ที่เตรียมไว้ผสมต่อไปอีก 30 นาที จากนั้นปรับค่า pH ของตัวอย่างของผสมแป้งมันสำปะหลังและไฮโดรคอลลอยด์ ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยแป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัมเตรียมที่ pH เท่ากับ 3, 5 และ 7 ส่วนแป้งมันสำปะหลังต่ออัลจินเตปรับให้มี pH เท่ากับ 5, 6 และ 7 หลังจากนั้นนำไปวัดค่า RVA pasting properties และความคงทนต่อสถานะแช่แข็งละลาย ดังแสดงในภาพที่ 8

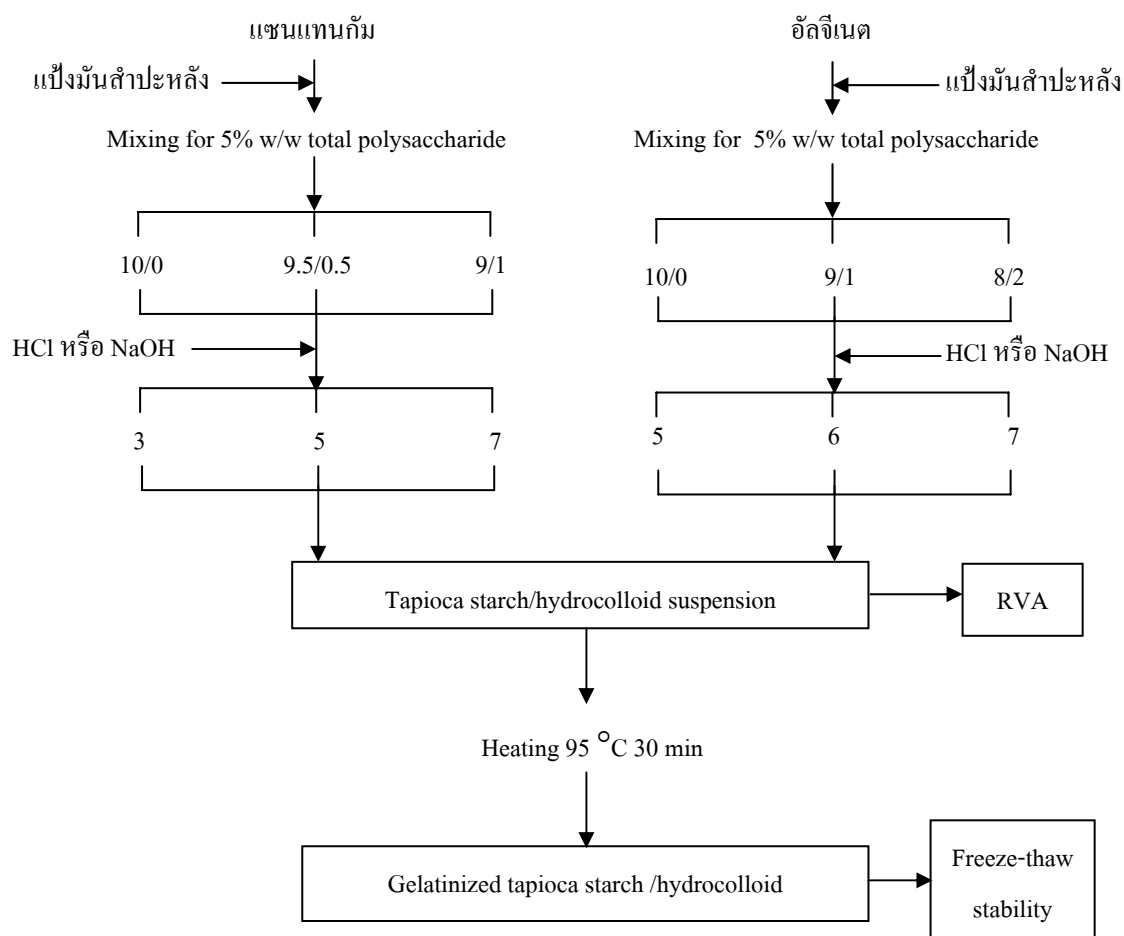
การเตรียมแป้งมันสำปะหลังผสมอัลจินเต โดยเตรียมที่ pH เท่ากับ 5, 6 และ 7 เนื่องจากที่ pH ต่ำกว่า 3.5 สารละลายอัลจินเตจะเกิดเจล ทำให้ไม่สามารถเตรียมตัวอย่างที่ pH 3 ได้ ส่วนการปรับที่ pH 4 นั้นต้องใช้ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกมาก ทำให้ความเข้มข้นของตัวอย่างเปลี่ยนไป

3.2 การศึกษาผลของ pH ต่อ RVA pasting properties ของแป้งมันสำปะหลังผสมไฮโดรคอลลอยด์

เตรียมของผสมแป้งมันสำปะหลังและไฮโดรคอลลอยด์ตามวิธีข้อ 3.1 และนำตัวอย่างที่เตรียมได้มาวิเคราะห์ pasting properties ซึ่งใช้โปรแกรมของเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA 4D, Scientific Newport, Australia) วิเคราะห์ความหนืดของตัวอย่างทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยใช้ Profiles standard II ใช้เวลาทดสอบรวม 23 นาที ตามวิธีข้อ 2.4

3.3 การศึกษาผลของ pH ต่อความคงทนต่อสถานะแช่แข็งละลายของแป้งมันสำปะหลังผสมไฮโดรคอลลอยด์

เตรียมของผสมแป้งมันสำปะหลังและไฮโดรคอลลอยด์ตามวิธีข้อ 3.1 และนำตัวอย่างที่เตรียมไว้มาวิเคราะห์ความคงทนต่อสถานะแช่แข็งละลาย เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักรั่วที่แยกออกมา (water separation) ตามวิธีข้อ 2.5



ภาพที่ 8 แผนภาพแสดงการศึกษาค่าผลของ pH ต่อ pasting properties และความคงทนต่อสภาวะแช่แข็งละลาย (freeze-thaw stability) ของแป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัมและอัลจีเนต

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design) สำหรับศึกษาผลของชนิด และปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งมันสำปะหลัง และจัดการทดลองแบบแฟคทอเรียลสำหรับศึกษาผลของ pH ต่อ RVA pasting properties และความคงทนต่อสภาวะการแช่แข็งและละลายของแป้งมันสำปะหลังผสมไฮโดรคอลลอยด์ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) หากพบนัยสำคัญทางสถิติจะคำนวณค่า Duncan's new multiple range test (DMRT) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

ผลและวิจารณ์

1. คุณภาพแป้งมันสำปะหลัง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง ในด้านปริมาณความชื้น โปรตีน เถ้า ไฟเบอร์ ไขมัน และอะไมโลส ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ % (db)
ความชื้น	11.19 ± 0.07
โปรตีน	0.14 ± 0.02
ไขมัน	0.09 ± 0.04
เยื่อใยหยาบ	0.14 ± 0.07
เถ้า	0.12 ± 0.04
อะไมโลส	21.0 ± 0.12

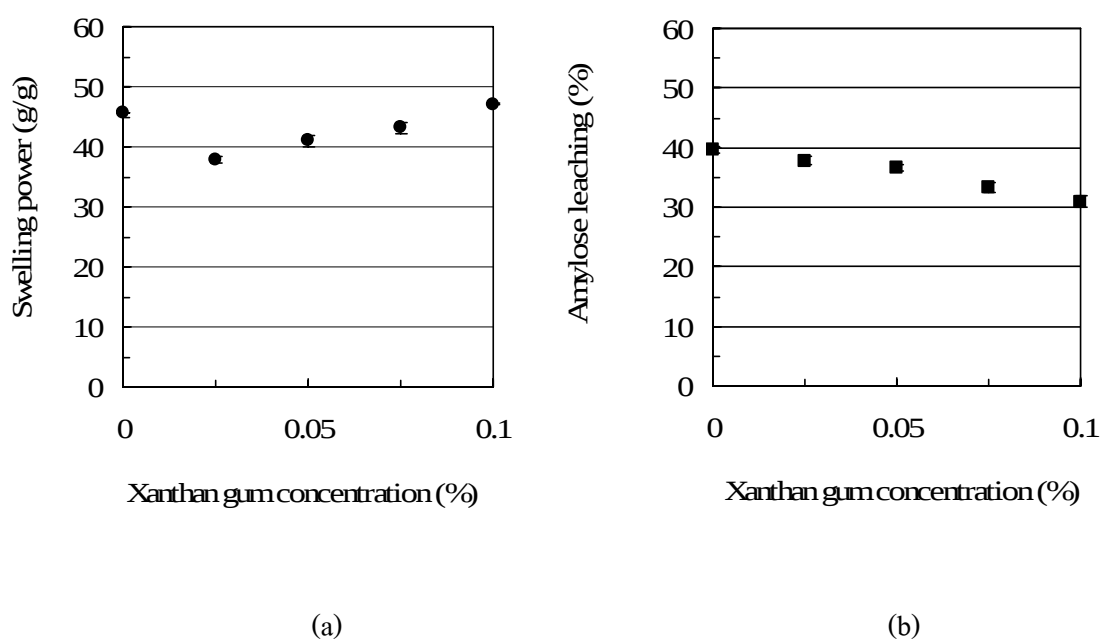
จากตารางที่ 2 แป้งมันสำปะหลังที่นำมาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี มีองค์ประกอบอื่นนอกเหนือจากแป้ง ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใยหยาบ และเถ้าอยู่น้อยมากไม่ถึง 1% จึงจัดเป็นสตาร์ช

2. ผลของแซนแทนกัมต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งมันสำปะหลัง

2.1 กำลังการพองตัว และปริมาณ amylose leaching

กำลังการพองตัวของแป้งเป็นปริมาตร หรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ (Li and Yeh, 2001) จากนั้นนำของผสมแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัม ที่อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัมเท่ากับ 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1 โดยมีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 1%(w/w)

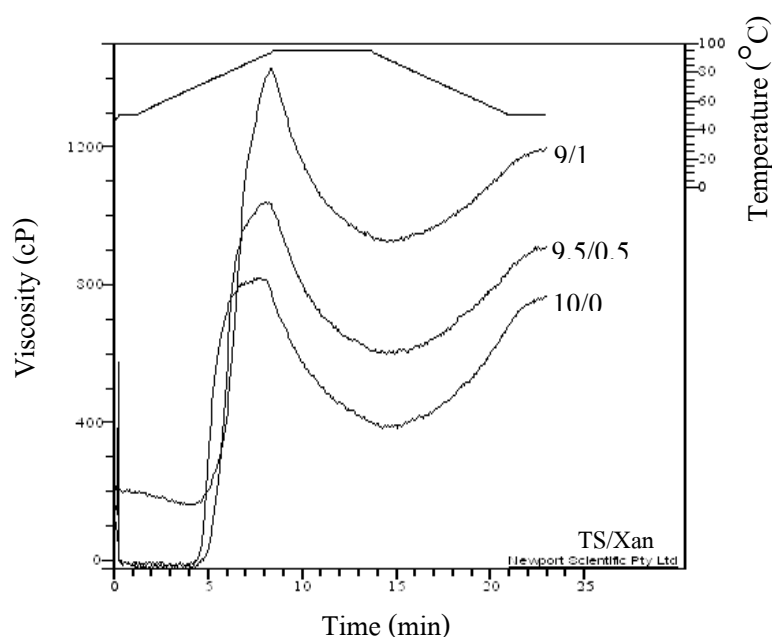
แล้วนำไปจากการวิเคราะห์กำลังการพองตัว เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส พบว่า กำลังการพองตัวของแป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัมมีกำลังการพองตัวน้อยกว่าแป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว เนื่องจากการเติมแซนแทนกัมทำให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้น ทำให้มีปริมาณน้ำอิสระที่ใช้ในการพองตัวของเหลือของแป้งน้อยลง (Song *et al.*, 2006) แต่เมื่อแซนแทนกัมเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นแต่ยังมีกำลังการพองตัวน้อยกว่าแป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว เนื่องจากแซนแทนกัมที่มีมากขึ้นในระบบจะสามารถดูดซับน้ำและพองตัวได้ (Rojas *et al.*, 1999) ทำให้การพองตัวของแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นเมื่อแซนแทนกัมมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Mandala and Bayas แซนแทนกัมจะทำให้แป้งสาลีมีกำลังการพองตัวเพิ่มขึ้น และปริมาณ amylose leaching ของแป้งมันสำปะหลังเมื่อผสมกับแซนแทนกัมลดลงเมื่อความเข้มข้นแซนแทนกัมเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 9) เนื่องจากเกรนูลของแป้งจะมีการดูดซับน้ำและอะไมโลสจะหลุดออกจากเกรนูล แต่ในระบบที่มีแซนแทนกัมผสมอยู่จะทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น ทำให้แป้งมีกำลังการพองตัวน้อย ส่งผลให้ปริมาณ amylose leaching ลดลงเมื่อเทียบกับแป้งที่ไม่เติมแซนแทนกัม



ภาพที่ 9 กำลังการพองตัว (a) และ amylose leaching (b) ของแป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัมที่อัตราส่วนต่างๆ (10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 1%(w/w)

2.2 RVA pasting properties

ของผสมแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัม ที่อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัมเท่ากับ 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1 โดยมีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w) จากนั้นนำมาวิเคราะห์ RVA Pasting profile (ภาพที่ 10) พบว่าโมเลกุลของแป้งยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติที่ชอบน้ำ (hydrophilic) เม็ดแป้งจะอยู่ในรูปของโครงสร้างร่างแหที่แข็งแรงทำให้ละลายได้ยากในน้ำเย็น ดังนั้น โดยปกติสารแขวนลอยน้ำแป้งจะไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส จากกราฟ RVA (ภาพที่ 10) เมื่อเม็ดแป้งที่ผสมน้ำได้รับความร้อน เม็ดแป้งจะเริ่มดูดซึมน้ำเข้าไป ทำให้ขยายตัวพองขึ้นหลายเท่า โมเลกุลของน้ำอิสระน้อยลง ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้น ทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยาก โครงสร้างของเม็ดแป้งเปลี่ยนแปลงแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า เจลาติไนเซชัน ส่วนอุณหภูมิที่ความหนืดเริ่มเริ่มสูงขึ้นเรียกว่า pasting temperature โดยเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เม็ดแป้งต้องการเพื่อให้เกิดการพองตัว ในขณะที่เม็ดแป้งพองตัวขึ้นนั้น ความหนืดจะเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและมีการกวนอย่างต่อเนื่องภายในภาชนะ เม็ดแป้งจะพองตัวเต็มที่ ทำให้เม็ดแป้งถูกทำลาย และโมเลกุลอะไมโลสจะหลุดออกมาในจุดที่เรียกว่า ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย และเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของแป้งในการจับตัวกับน้ำ และแรงที่ต้องใช้ในการกวนหรือผสมในอาหาร (Newport Scientific, 1995) โดยเกิดที่จุดสมดุลระหว่างการพองตัวเมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้น กับการถูกทำลายของเม็ดแป้งที่เกิดจากการกวนที่ทำให้ความหนืดลดลงและการไหลออกของอะไมโลส (Beta and Corke, 2001) เมื่ออุณหภูมิลดลง โมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะจัดเรียงใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเป็นความหนืดสุดท้าย (final viscosity) เมื่อสิ้นสุดการทดสอบ RVA ค่าความหนืดสุดท้ายจะบอกถึงคุณภาพของแป้ง และแสดงลักษณะผลิตภัณฑ์ที่เกิดเป็นเจลเมื่อผ่านการให้ความร้อนและเย็นตัวลง (Newport scientific, 1995)



ภาพที่ 10 pasting properties ของแป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัม ที่อัตราส่วนต่างๆ (10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5% (w/w) จาก RVA

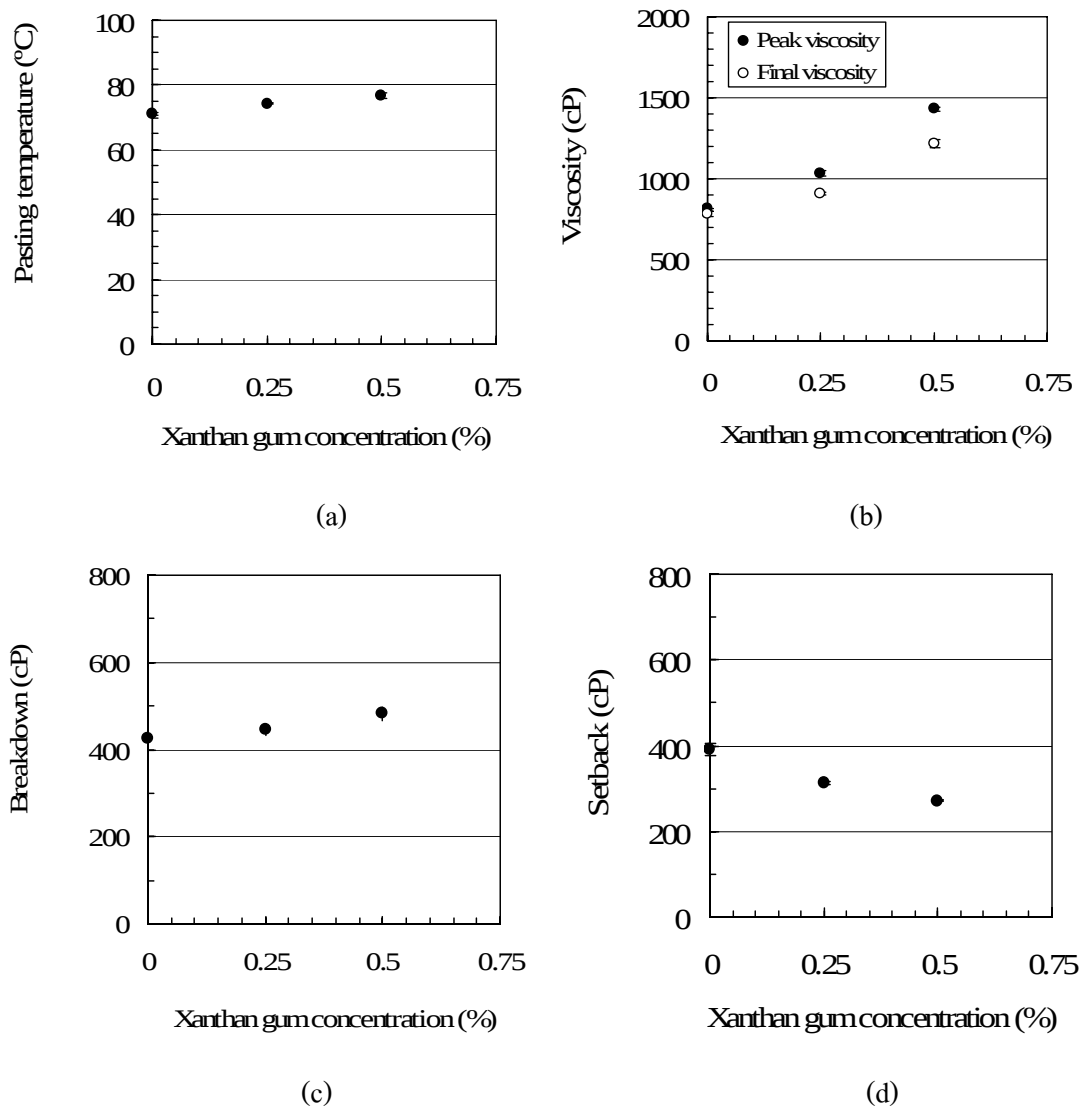
เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางผนวกที่ ข1) พบว่า pasting temperature ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดสุดท้ายเมื่อแป้งเย็นตัวลง (final viscosity) และค่า setback แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 11) การเติมแซนแทนกัมมีผลให้อุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มพองตัวสูงขึ้น เนื่องจากแซนแทนกัมจับน้ำ อุณหภูมิที่เม็ดแป้งต้องใช้เพื่อการพองตัวจึงสูงขึ้น Svensson and Eliasson (1995) กล่าวว่า กระบวนการเกิดเจลลาติไนซ์เป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงหลายขั้นตอน โดยเริ่มจากส่วนออสเทนฐานจะเริ่มดูดน้ำและพองตัวขึ้นเมื่อได้รับความร้อน การพองตัวหรือขยายตัวที่เพิ่มขึ้นจะทำให้โครงสร้างผลึกที่เป็นระเบียบภายในเม็ดแป้งถูกทำลาย แสดงว่าเม็ดแป้งที่มีค่ากำลังการพองตัวสูงและพองตัวได้เร็ว จะส่งผลทำโครงสร้างผลึกที่เป็นระเบียบภายในเม็ดแป้งถูกทำลาย และน้ำแป้งจะเริ่มมีความข้นหนืดที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งที่มีค่ากำลังการพองตัวต่ำกว่า (Pomeranz, 1991) ซึ่งเมื่อพิจารณาค่ากำลังการพองตัวในภาพที่ 9 กับอุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มพองตัว พบว่า แป้งอย่างเดียวนี้อาจมีค่ากำลังการพองตัวสูงกว่าแป้งที่มีแซนแทนกัม ดังนั้น แป้งอย่างเดียวนี้อาจมีอุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มพองตัวต่ำกว่าแป้งที่มีแซนแทนกัม (ภาพที่ 11a)

ค่าความหนืดสูงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีแซนแทนกัม และค่าความหนืดสูงจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของแซนแทนกัมเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 11b) เนื่องจากเม็ดแป้งที่ได้รับความร้อนจะเกิดการพองตัวขึ้น ปริมาณแซนแทนกัมที่เพิ่มขึ้นทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนที่ได้ยาก เนื่องจากแซนแทนกัมจับ

กับน้ำไว้ ทำให้น้ำปริมาณรอบๆ เม็ดแป้งลดลง ความหนืดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่จึงสูงขึ้น และอะไมโลสหลุดออกจากเม็ดแป้งได้ยากกว่า ระบบที่มีแป้งอย่างเดียวจึงมีผลทำให้แป้งที่มีเซนแทนกัมมีค่าความหนืดสูงสุดสูงกว่าแป้งอย่างเดียว

ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุดเรียกว่า breakdown ซึ่งบอกถึงความสามารถในการคงทนต่ออุณหภูมิ และการกวนที่เป็นปัจจัยที่สำคัญในหลายกระบวนการผลิต ถ้า breakdown มีค่ามากแสดงว่าแป้งมีความคงทนต่ออุณหภูมิและการกวนต่ำ ถ้า breakdown มีค่าน้อยแสดงว่าแป้งมีความคงทนต่ออุณหภูมิและการกวนสูง (Newport Scientific, 1995) จากภาพที่ 11c พบว่า ค่า breakdown ของแป้งมันสำปะหลังมีค่ามากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอัลจินตมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อระบบมีเซนแทนกัมทำให้มีความหนืดมากขึ้น และเซนแทนกัมมีผลทำให้เม็ดแป้งแตกได้เร็วขึ้น (Funami *et al.*, 2005; Chaisawang and Suphantharika, 2006) ทำให้อะไมโลสสามารถหลุดออกมาได้มากกว่าที่เป็นแป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว ส่งผลทำให้ความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดของแป้งมันสำปะหลังที่มีเซนแทนกัมมีค่ามากกว่าแป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว

ค่าความหนืดสุดท้ายเมื่อแป้งเย็นตัวลง ให้ผลเช่นเดียวกับค่าความหนืดสูงสุด คือ ค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีเซนแทนกัม และค่าความหนืดสุดท้ายจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของเซนแทนกัมเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 11b) เนื่องจากการผสมเซนแทนกัมมีผลทำให้ความหนืดของระบบสูงขึ้น และผลเจลาติไนซ์เซชันเปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีเซนแทนกัมรวมอยู่ด้วย (Bahnassey and Breene, 1994) น้ำแป้งเมื่อผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็น ทำให้เกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีผลทำให้เพสต์ของแป้งมีความหนืดมากขึ้น (Whistler and BeMiller, 1999)



ภาพที่ 11 ความหนืดสูงสุด (a), ความหนืดสุดท้าย (b), breakdown (c) และ setback (d) ของแป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัมที่อัตราส่วนต่างๆ (10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w)

เมื่อพิจารณาค่าการคืนตัว (setback) สามารถวิเคราะห์ค่าจากผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback from trough) ซึ่งค่าการคืนตัวจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ถ้ามีค่าการคืนตัวมากหรือมีค่าเป็นบวก จะมีลักษณะการเกิดริ้วรอยแตกได้ และมีแนวโน้มที่จะให้เจลแป้งที่แข็งมาก (Newport Scientific, 1995) และค่า setback นี้ เป็นค่าที่ระบุถึงการจัดเรียงตัวใหม่ของแป้ง ด้วยเหตุนี้จึงอาจระบุพหุคูณนี้ว่าเกี่ยวข้องกับ short term

retrogradation ในกรณีแป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินที่ได้จากกระบวนการเจลาติไนซ์ จึงทำให้ค่า setback ในแป้งขึ้นกับปริมาณของอะไมโลสที่มีการจัดเรียงตัวในช่วงเวลาสั้น ในขณะที่อะไมโลเพกตินจะใช้เวลาในการจัดเรียงตัวมากกว่า

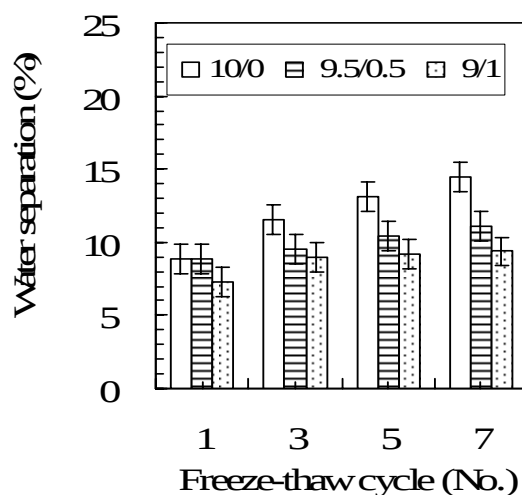
แป้งมันสำปะหลังเมื่อผสมแซนแทนกัม ค่า setback จะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของแซนแทนกัมเพิ่มขึ้น จาก 390.67 เป็น 271.53 cP (ภาพที่ 11d) เนื่องจากการผสมแซนแทนกัมมีผลทำให้ความหนืดของระบบสูงขึ้น และแซนแทนกัมมีโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์ขนาดใหญ่และมีกิ่งกระจายอยู่รอบโครงสร้าง ซึ่งขัดขวางการจัดเรียงตัวของอะไมโลสในแป้ง จึงทำให้การจัดเรียงตัวในแป้งเกิดได้น้อยกว่า ทำให้ค่า setback ลดลง (Linaback and Ingelett, 1982)

2.3 ความคงทนต่อสถานะแช่แข็งละลาย (freeze thaw stability)

ความคงทนต่อการแช่แข็งและละลายของเพสต์ของแป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัม หาได้จากค่าเปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมา (water separation) หลังจากแช่แข็งและละลายมากกว่า 1 รอบ เพสต์แป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัมที่อัตราส่วนเท่ากับ 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1 โดยมีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w) (ภาพที่ 12) หลังจากผ่านการแช่แข็งและละลาย 1, 3, 5 และ 7 วงจร พบว่า เปอร์เซนต์น้ำที่แยกตัวออกมาจากเพสต์แป้งมันสำปะหลังมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อวงจรการแช่แข็งและละลายเพิ่มขึ้น โดยมีเปอร์เซนต์น้ำที่แยกตัวออกมา เพิ่มขึ้นจาก 8.8% เป็น 14.5% หลังจากแช่แข็งและละลาย 1 วงจร และ 7 วงจร ตามลำดับ (ภาพที่ 12) เนื่องจากการแช่แข็งทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งในเจลแป้ง จำนวนรอบของการแช่แข็งและละลายที่เพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้ผลึกน้ำแข็งใหญ่ขึ้นทำลายโครงสร้างของแป้ง โครงร่างแหของแป้งที่เรียงตัวกันแน่นทำให้น้ำแยกตัวออกมาได้ง่าย (Yuan and Thomson, 1998)

สำหรับเพสต์แป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัมที่อัตราส่วน 9.5/0.5 และ 9/1 เปอร์เซนต์น้ำที่แยกตัวออกมาจากเพสต์แป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัมมีค่าต่ำกว่าเพสต์แป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว เปอร์เซนต์น้ำที่แยกตัวออกมาของเพสต์แป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัมหลังการแช่แข็งและละลายหลายรอบมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของแซนแทนกัมเพิ่มขึ้น เนื่องจากแซนแทนกัมจะช่วยพองไม่ให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่จากการแช่แข็งซ้ำ เคลื่อนที่ไปทำลายโครงสร้างแป้ง ทำให้น้ำในระบบที่มีแซนแทนกัมออกมาน้อยลง (Lee *et al.*, 2002) และแซน

แทนกัมยังสามารถช่วยอุ้มน้ำไว้ได้ทำให้มีน้ำออกมาน้อยลง แสดงว่าแซนแทนกัมช่วยทำให้เพสต์แป้งมันสำปะหลังมีสมบัติความคงทนต่อการแช่แข็งและละลายดีขึ้น



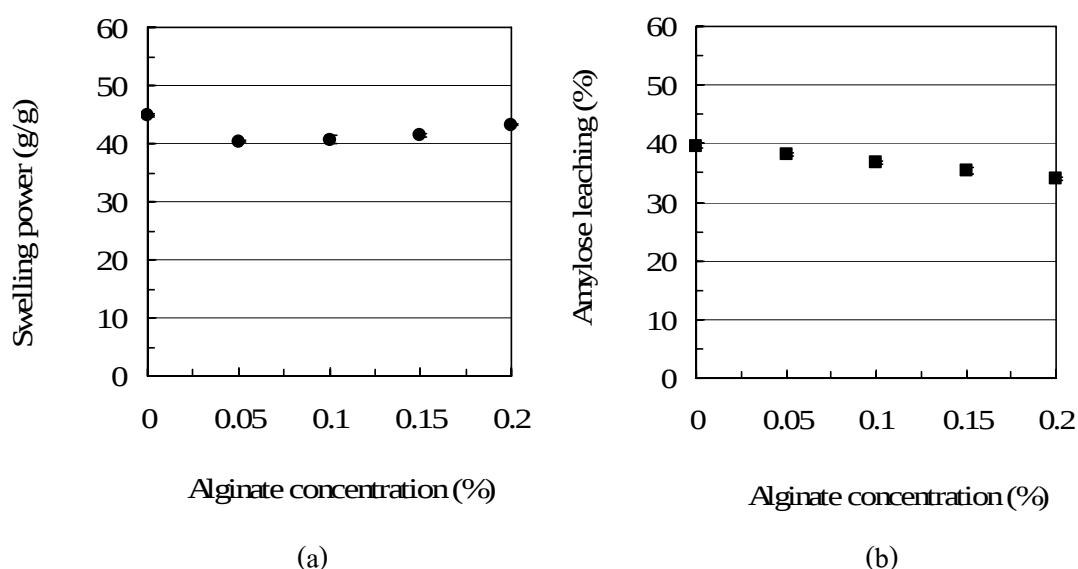
ภาพที่ 12 เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาของเพสต์แป้งมันสำปะหลัง และแซนแทนกัมที่อัตราส่วนต่างๆ โดยแช่แข็งและละลายจำนวน 1, 3, 5 และ 7 รอบ

3. ผลของอัลจินตต่อสมบัติทางกายภาพของแป้งมันสำปะหลัง

3.1 กำลังการพองตัว (swelling power) และปริมาณ amylase leaching

เมื่อนำแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังผสมอัลจินต ที่มีอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่ออัลจินตเท่ากับ 10/0, , 9.5/0.5, 9/1, 8.5/1.5 และ 8/2 นำไปจากการวิเคราะห์กำลังการพองตัวของแป้งมันสำปะหลัง เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส พบว่าแป้งมันสำปะหลังมีกำลังการพองตัวลดลงเมื่อเติมอัลจินต เนื่องจากการผสมอัลจินตทำให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้น ทำให้มีปริมาณน้ำอิสระที่ใช้ในการพองตัวของเหลือแป้งน้อยลง (Song *et al.*, 2006) แต่เมื่ออัลจินตเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังการพองตัวเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) แต่ยังมีค่ากำลังการพองตัวที่น้อยกว่าแป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว เนื่องจากอัลจินตที่มากขึ้นทำให้การดูดซับน้ำของระบบ (Rojas *et al.*, 1999) และการพองตัวของแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น ปริมาณ amylose leaching ของแป้งมันสำปะหลังเมื่อผสมกับอัลจินตลดลงเมื่อความเข้มข้นอัลจินตเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) (ภาพที่ 13) ซึ่งในระหว่างระบบที่มีแป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว แกรนูลของแป้งจะมีการดูดซึมน้ำและอะ

ไมโลสจะหลุดออกจากแกรนูล แต่ในระบบที่มีอัลจินตผสมอยู่จะทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น ทำให้แป้งมีกำลังการพองตัวน้อย ส่งผลให้ปริมาณ amylose leaching ลดลงเมื่อเทียบกับแป้งที่ไม่เติมอัลจินต



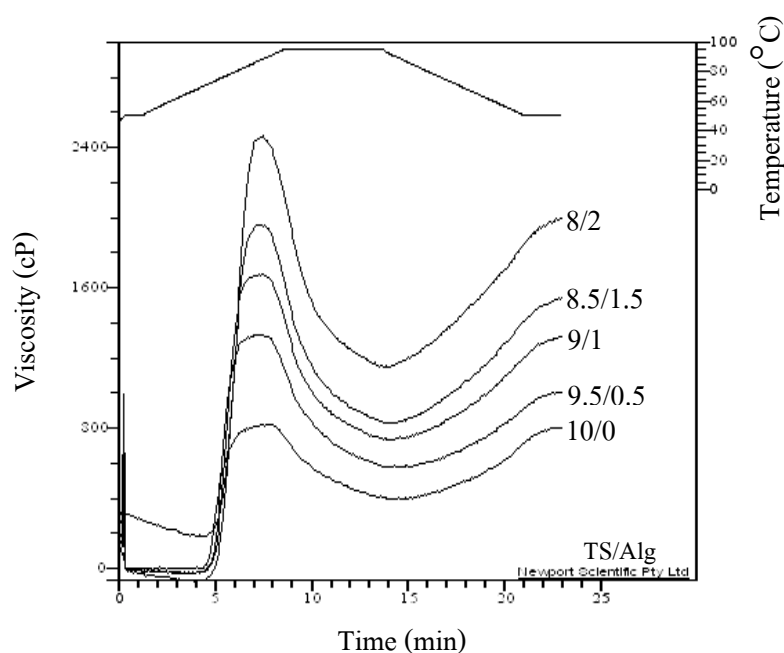
ภาพที่ 13 กำลังการพองตัว (a) และ amylose leaching (b) ของแป้งมันสำปะหลังต่ออัลจินตที่

อัตราส่วนต่างๆ (10/0, 9.5/0.5, 9/1, 8.5/1.5 และ 8/2) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 1%(w/w)

จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่ากำลังการพองตัว และปริมาณ amylose leaching ของผสมแป้งมันสำปะหลังผสมอัลจินตน้อยกว่าของผสมแป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัมที่อัตราส่วนเดียวกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากกลไกของโครงสร้างและสมบัติของไบโอพอลิเมอร์ต่างๆ มีความแตกต่างกัน ไฮโดรคอลลอยด์มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Christianson *et al.*, 1981) เนื่องจากโครงสร้างของอัลจินตต่างจากของแซนแทนกัม ซึ่งอัลจินตมีโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นเส้นตรงไม่มีกิ่งกระจายอยู่รอบโครงสร้างเหมือนแซนแทนกัม ทำให้แซนแทนกัมสามารถจับกับน้ำได้ดีกว่าอัลจินต ทำให้น้ำในระบบของของผสมแป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัมที่แป้งใช้ในการพองตัวมีน้อยกว่าในระบบของแป้งมันสำปะหลังผสมอัลจินต

3.2 RVA pasting properties

ของผสมแป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังผสมอัลจิเนตที่มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w) อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่ออัลจิเนตเท่ากับ 10/0, 9.5/0.5, 9/1, 8.5/1.5 และ 8/2 จากนั้นนำมาวิเคราะห์ RVA pasting profile (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 pasting properties ของแป้งมันสำปะหลัง/อัลจิเนต ที่อัตราส่วนต่างๆ (10/0, 9.5/0.5, 9/1, 8.5/1.5 และ 8/2) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w) จาก RVA

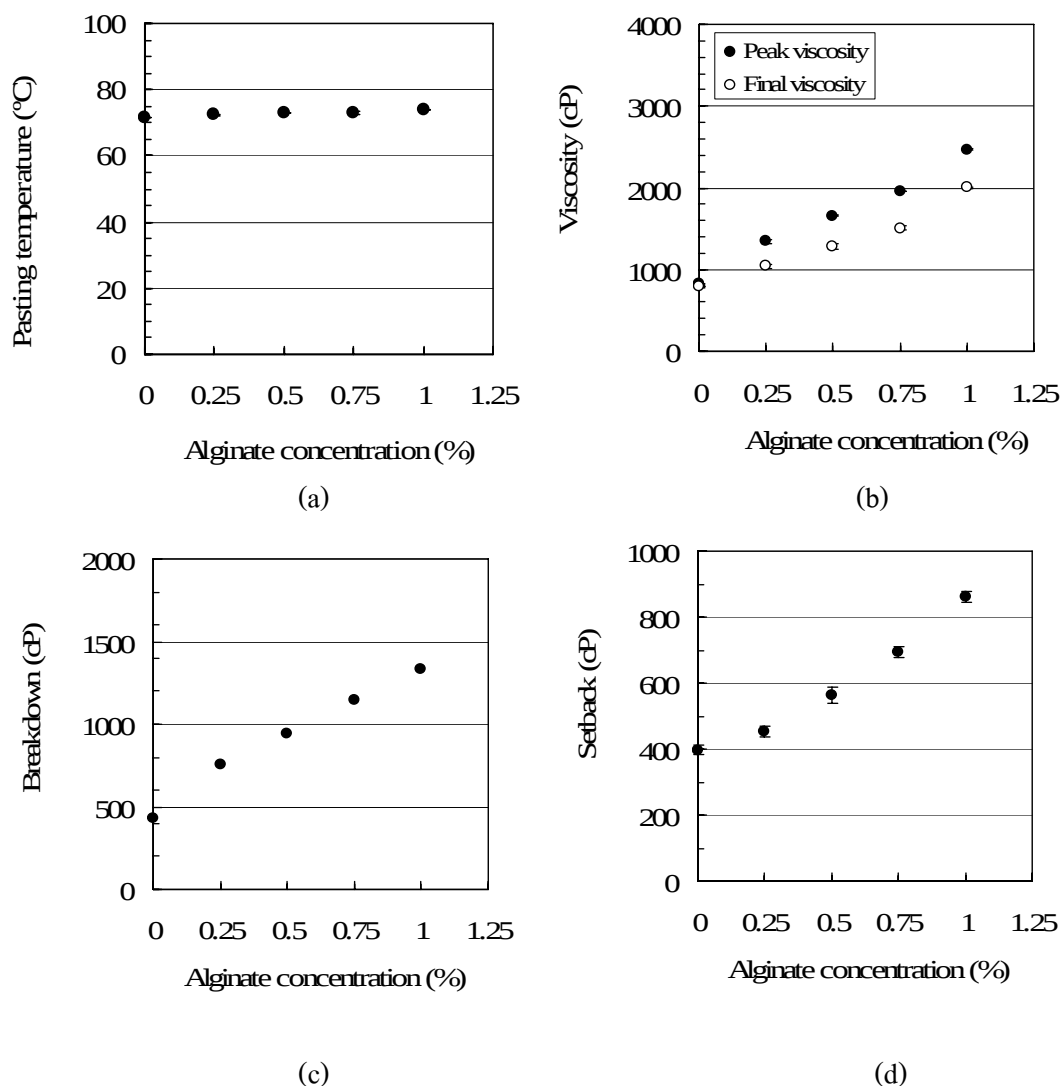
เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ตารางผนวกที่ ข2) พบว่า pasting temperature ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดสุดท้ายเมื่อแป้งเย็นตัวลง (final viscosity) และค่า setback แตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพที่ 15) การเติมอัลจิเนตมีผลให้อุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มพองตัวสูงขึ้น เนื่องจากอัลจิเนตจับน้ำ อุณหภูมิที่เม็ดแป้งต้องใช้เพื่อการพองตัวจึงสูงขึ้น การพองตัวหรือขยายตัวที่เพิ่มขึ้นจะทำให้โครงสร้างผลึกที่เป็นระเบียบภายในเม็ดแป้งถูกทำลาย แสดงว่าเม็ดแป้งที่มีค่ากำลังการพองตัวสูงและพองตัวได้เร็ว จะส่งผลทำให้โครงสร้างผลึกที่เป็นระเบียบภายในเม็ดแป้งถูกทำลาย และน้ำแป้งจะเริ่มมีความข้นหนืดที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งที่มีค่ากำลังการพองตัวต่ำกว่า (Pomeranz, 1991) ซึ่งเมื่อพิจารณาค่ากำลังการพองตัวในภาพที่ 13 กับ pasting temperature พบว่า

แป้งอย่างเดียวนี้อาจมีค่ากำลังการพองตัวสูงกว่าแป้งที่มีอัลจินต ดังนั้น แป้งอย่างเดียวนี้อาจมีอุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มพองตัวต่ำกว่าแป้งที่มีอัลจินต (ภาพที่ 15a)

ค่าความหนืดสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัลจินต และค่าความหนืดสูงสุดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของอัลจินตเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 15b) เนื่องจากเม็ดแป้งที่ได้รับความร้อนจะเกิดการพองตัวขึ้น ปริมาณอัลจินตที่เพิ่มขึ้นทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนที่ได้ยาก เนื่องจากอัลจินตจับกับน้ำไว้ ทำให้น้ำปริมาณรอบๆ เม็ดแป้งลดลง ความหนืดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่จึงสูงขึ้น และอะไมโลสหลุดออกจากเม็ดแป้งได้ยากกว่า ระบบที่มีแป้งอย่างเดียวจึงมีผลทำให้แป้งที่มีแซนแทนกัมมีค่าความหนืดสูงสุดสูงกว่าแป้งอย่างเดียว

จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าความหนืดสูงสุดของของผสมแป้งมันสำปะหลังผสมอัลจินตสูงกว่าของผสมแป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัมที่อัตราส่วนเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากกลไกของโครงสร้างและสมบัติของไบโอพอลิเมอร์ต่างๆ มีความแตกต่างกัน ไฮโดรคอลลอยด์ที่เติมลงไปทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์มีคุณสมบัติชอบน้ำสามารถจับกับน้ำได้ดี มีผลในการทำให้การเจลาติไนเซชันช้าลงกว่าเดิม และให้ค่าความหนืดสูงสุดแตกต่างกัน (Christianson *et al.*, 1981)

ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด (breakdown) บอกถึงความสามารถในการคงทนต่ออุณหภูมิ และการกวนที่เป็นปัจจัยที่สำคัญในหลายกระบวนการผลิต ถ้าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุดมีค่ามากแสดงว่าแป้งมีความคงทนต่ออุณหภูมิและการกวนต่ำ (Newport Scientific, 1995) จากภาพที่ 15c เมื่อผสมแป้งมันสำปะหลังและอัลจินต พบว่า ค่า breakdown ของแป้งมันสำปะหลังมีค่ามากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอัลจินตมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อระบบมีอัลจินตทำให้มีความหนืดมากขึ้น และอัลจินตมีผลทำให้เม็ดแป้งแตกได้เร็วขึ้นทำให้อะไมโลสสามารถหลุดออกมาได้มากกว่าที่เป็นแป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว ส่งผลทำให้ความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดของแป้งมันสำปะหลังที่อัลจินตมีค่ามากกว่าแป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว



ภาพที่ 15 ความหนืดสูงสุด (a), ความหนืดสุดท้าย (b), breakdown (c) และ setback (c) ของแป้งมันสำปะหลังต่อเซนแทนกัมที่อัตราส่วนต่างๆ (10/0, 9/1 และ 8/2) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w)

ค่าความหนืดสุดท้ายเมื่อแป้งเย็นตัวลง ให้ผลเช่นเดียวกับค่าความหนืดสูงสุด คือ ค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีอัลจินต และค่าความหนืดสุดท้ายจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของอัลจินตเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 15b) เนื่องจากการผสมอัลจินตมีผลทำให้ความหนืดของระบบสูงขึ้น และผลการเกิดเจลาตินไนซ์เซชันของอะไมโลสที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีอัลจินตรวมอยู่ด้วย (Bahnassey and Breene, 1994) เจลแป้งเมื่อผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็น จะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ของอะไมโลสที่อยู่ใกล้กันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีผลทำให้น้ำแป้งมีความหนืดมากขึ้น

(Whistler and BeMiller, 1999) ทั้งนี้กลไกของโครงสร้างของไบโอพอลิเมอร์ต่างๆ มีความแตกต่างกัน โดยโครงสร้างของอัลจินเตสร้างพันธะกับโมเลกุลของอะไมโดสหรืออะไมโดเพกตินที่แตกต่างจากของแซนแทนกัม ซึ่งอัลจินเตมีโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์ที่เป็นเส้นตรงไม่มีกิ่งกระจายอยู่รอบโครงสร้างเหมือนแซนแทน ทำให้การจัดเรียงตัวในแป้งเกิดได้ดีกว่าแป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัม (Draget, 2000) และผลการเกิดเจลาทิไนซ์เซชันของอะไมโดสที่เปลี่ยนแปลงไปความหนืดสุดท้ายจึงค่าเพิ่มขึ้นและสูงกว่าแป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัม (Bahnassey and Breene, 1994)

เมื่อพิจารณาค่าการคืนตัว (setback) สามารถวิเคราะห์ค่าจากผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback from trough) ซึ่งค่าการคืนตัวจะมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ถ้ามีค่าการคืนตัวมากหรือมีค่าเป็นบวก จะมีลักษณะการเกิดรีโทรกราเดชันได้ดีและมีแนวโน้มที่จะให้เจลแป้งที่แข็งแรงมาก (Newport Scientific, 1995) และค่า setback นี้ เป็นค่าที่ระบุถึงการจัดเรียงตัวใหม่ของแป้ง ด้วยเหตุนี้จึงอาจระบุเทอมนี้ว่าเกี่ยวข้องกับ short term retrogradation

ค่าการคืนตัว (setback viscosity) ของแป้งมันสำปะหลังเมื่อผสมอัลจินเตแล้ว พบว่า ค่า setback มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอัลจินเตเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 15d) การเพิ่มขึ้นของค่า setback นี้ เกิดจากการที่ไฮโดรคอลลอยด์ใน dispersions เพิ่มขึ้น ทำให้โมเลกุลของแป้งที่เรียกว่า effective concentration สูงขึ้น การเติมอัลจินเตทำให้ค่า setback สูงขึ้น (การเกิด short term retrogradation จะเกิดมากขึ้น) ทั้งนี้กลไกของโครงสร้างของไบโอพอลิเมอร์ต่างๆ มีความแตกต่างกัน โดยโครงสร้างของอัลจินเตสร้างพันธะกับโมเลกุลของอะไมโดสหรืออะไมโดเพกตินที่แตกต่างจากของแซนแทนกัม ซึ่งอัลจินเตมีโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์ที่เป็นเส้นตรงไม่มีกิ่งกระจายอยู่รอบโครงสร้างเหมือนแซนแทน ทำให้การจัดเรียงตัวในแป้งเกิดได้ดีกว่าแป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัม (Draget, 2000) ทั้งนี้การที่ค่าการคืนตัวมีค่ามาก แสดงว่าเจลแป้งมีลักษณะของการเกิดรีโทรกราเดชันได้ดี และมีแนวโน้มที่จะให้เจลแป้งที่แข็งแรงมาก (Beta and Corke, 2001)

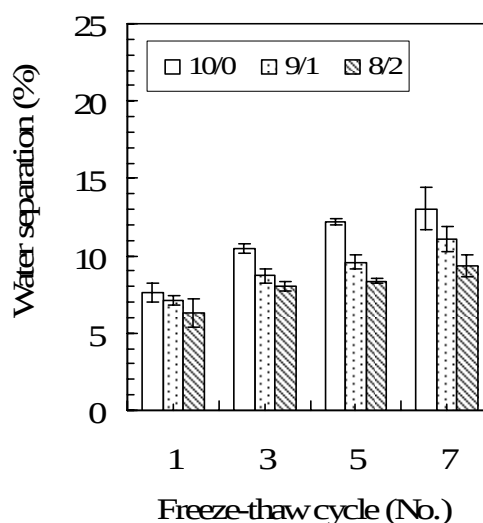
3.3 ความคงทนต่อสภาวะแช่แข็งละลาย (freeze thaw stability)

ความคงทนต่อการแช่แข็งและละลายของเจลจากแป้งมันสำปะหลังและอัลจินเต หาได้จากค่าเปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมา (water separation) หลังจากการทำแช่แข็งและละลายเพสต์

แป้งมันสำปะหลังผสมอัลจิเนตอัตราส่วนเท่ากับ 10/0, 9/1 และ 8/2 โดยมีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w) ดังแสดงในภาพที่ 16 หลังจากผ่านการแช่แข็งและละลาย 1, 3, 5 และ 7 วงจร พบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาจากเพสต์แป้งมันสำปะหลังมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อวงจรการแช่แข็งและละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากเพสต์แป้งมันสำปะหลังถูกแช่แข็งและทำให้ละลาย การแช่แข็งทำให้แป้งเกิดการสร้างผลึกน้ำแข็ง และจำนวนรอบของการแช่แข็งและละลายที่เพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้ผลึกน้ำแข็งใหญ่ขึ้นทำลายโครงสร้างของแป้ง โครงร่างแหของแป้งที่เรียงตัวกันแน่นทำให้น้ำแยกตัวออกมาได้ง่าย (Yuan and Thomson, 1998)

เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาจากเพสต์แป้งมันสำปะหลังผสมอัลจิเนต เมื่อเติมอัลจิเนต ทำให้การแยกตัวของน้ำเมื่อแช่แข็งและละลายลดลง แสดงว่าอัลจิเนตช่วยทำให้เพสต์แป้งมันสำปะหลังมีสมบัติความคงทนต่อการแช่แข็งและละลายดีขึ้น

เนื่องจากอัลจิเนตมีโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นเส้นตรง (Phillips and Williams, 2000) ไม่มีกิ่งกระจายอยู่รอบโครงสร้างเหมือนแซนแทนกัม ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำมีน้อยกว่าแซนแทนกัม ในอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อไฮโดรคอลลอยด์ที่เท่ากัน (9/1) เจลผสมของแป้งมันสำปะหลังและอัลจิเนต จะมีเปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาจากเจลผสมมากกว่าแป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัม ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ Lee *et al.*, (2002) ที่รายงานว่าแซนแทนกัมมีผลช่วยลด Syneresis ของแป้งมันเทศได้มากกว่าอัลจิเนต และจากการศึกษาความคงทนต่อการแช่แข็งและละลายของเจลจากแป้งมันสำปะหลังอย่างเดียวกั 2 ครั้ง พบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาของเจลผสมของแป้งมันสำปะหลังอย่างเดียวกั ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังแสดงในตารางผนวกที่ ข3

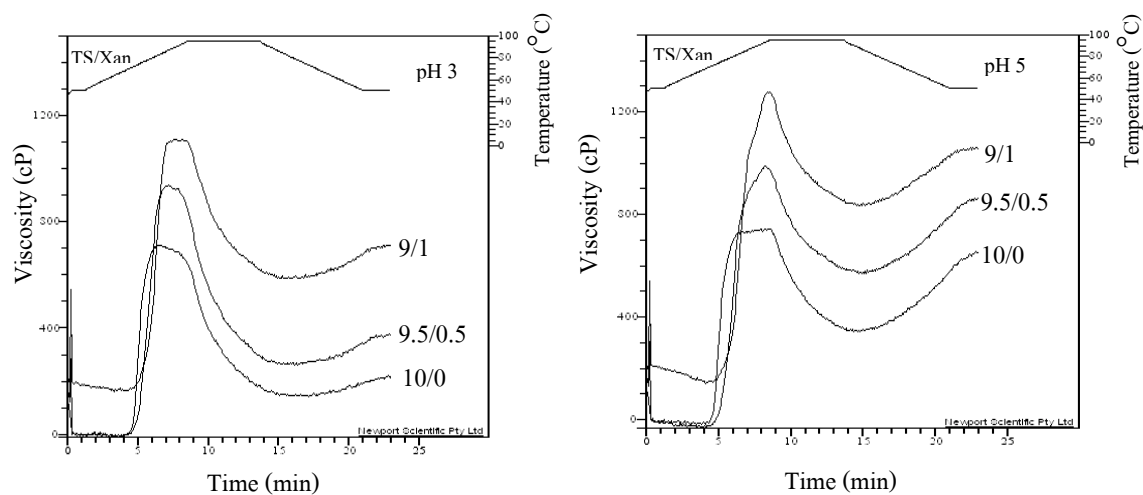


ภาพที่ 16 เปอร์เซนต์น้ำที่แยกตัวออกมาของเฟสดีเป้งมันสำปะหลัง และอัลจินตอัตราส่วนต่างๆ (10/0, 9/1 และ 8/2) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w) ที่รอบการแช่แข็งและละลาย 1, 3, 5 และ 7

4. ผลของแซนแทนกัมและ pH ต่อ RVA pasting properties และ freeze thaw stability ของแป้งมันสำปะหลัง

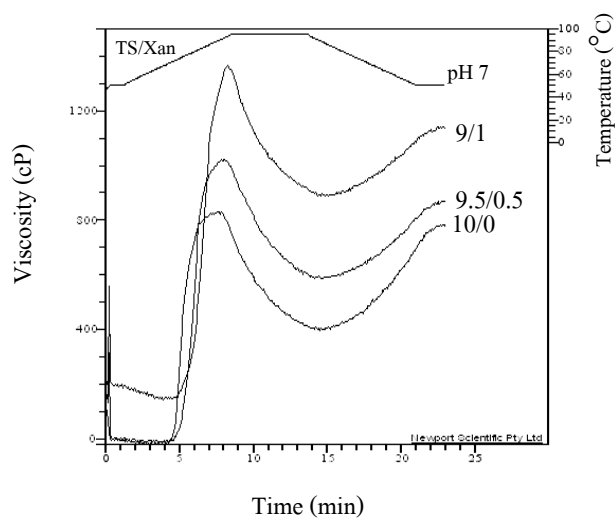
4.1 RVA pasting properties

ค่า pH ของตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ RVA ของตัวอย่างที่ปรับ pH ที่แป้งมันสำปะหลัง อย่างเดียวและของผสมแป้งมันสำปะหลังและแซนแทนกัม พบว่า ของผสมแป้งมันสำปะหลัง และ แป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัม ที่อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัมเท่ากับ 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1 โดยมีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w) ที่ pH 3, 5 และ 7 หลังจากวิเคราะห์ RVA pasting properties แล้วค่า pH มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เนื่องจากความเข้มข้นของโปรตอนอิสระมีการเปลี่ยนแปลง (Bollag *et al.*, 1996) เมื่อนำมาวิเคราะห์ pasting properties ด้วย RVA (ภาพที่ 17) พบว่า อุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มพองตัว (pasting temperature) (ภาพที่ 18a) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเติมแซนแทนกัมที่ pH 3, 5 และ 7 เนื่องจากแซนแทนกัมจับน้ำ อุณหภูมิที่เม็ดแป้งต้องใช้เพื่อพองตัวจึงสูงขึ้น ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) (ภาพที่ 18 b) ค่าความหนืดสูงสุด มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีแซนแทนกัมเพิ่มขึ้นที่ pH 3, 5 และ 7 ($p < 0.05$)



(a)

(b)



(c)

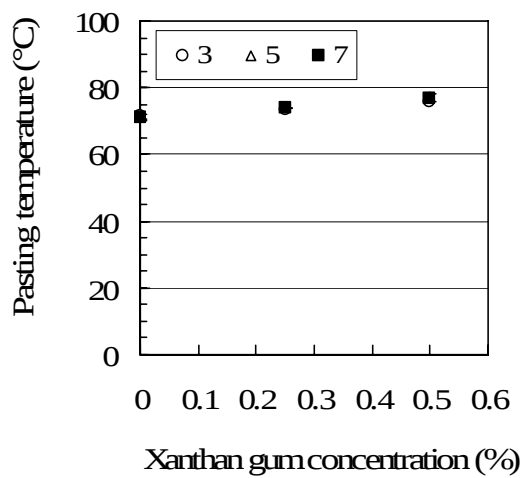
ภาพที่ 17 pasting properties ของแป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัมที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w) ที่ pH = 3 (a), pH = 5 (b) และ pH = 7 (c)

ความหนืดสุดท้ายเมื่อแป้งเย็นตัวลง (final viscosity) พบว่าค่าความหนืดสุดท้ายเมื่อแป้งเย็นตัวลงที่ระบบความเป็นกรดสูง (pH เท่ากับ 3) ระบบที่มีแป้งอย่างเดียวมีค่าความหนืดสุดท้ายต่ำที่สุด (ภาพที่ 18c) เนื่องจากโครงสร้างของแกรนูลถูกทำลายที่ pH ต่ำ และค่าความหนืดสุดท้ายที่ pH 3 มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของแซนแทนกัมเพิ่มขึ้น โดยที่ pH 5 และ 7 มีค่าความหนืดสุดท้ายมากกว่าที่ pH 3 เนื่องจากแซนแทนกัมเป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุ (charged polymers) การเติมสารอิเล็กโทรไลต์หรือการปรับ pH เพื่อลดระดับของการแยกออกจากกันของกลุ่มที่มีประจุมักนำไปสู่การอัดแน่นของการจับตัวกัน และมีผลทำให้ความหนืดลดลงอย่างมาก (Imeson, 1997) แต่เมื่อเติมอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัมเท่ากับ 9/1 พบว่า แซนแทนกัมมีผลทำให้ค่าความหนืดสุดท้ายที่ pH 3 สูงขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกับที่ pH 5 และ 7

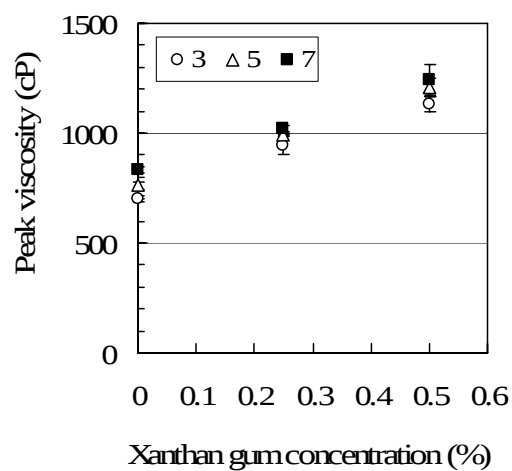
แป้งมันสำปะหลังเมื่อผสมแซนแทนกัมแล้ว ค่า setback ที่ pH 5 และ 7 มีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของแซนแทนกัมเพิ่มขึ้น แต่ที่ pH 3 ค่า setback มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแซนแทนกัมเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 18d) เนื่องจากการผสมแซนแทนกัมมีผลทำให้ความหนืดของระบบสูงขึ้น จึงทำให้การจัดเรียงตัวในแป้งเกิดได้น้อยกว่า แป้งผสมแซนแทนกัมจึงมีค่าการคืนตัวกลับน้อยกว่า (Whistler and BeMiller, 1999) และทำให้ค่า setback ลดลง

4.2 ความคงทนต่อสถานะแช่แข็งและละลาย (freeze thaw stability)

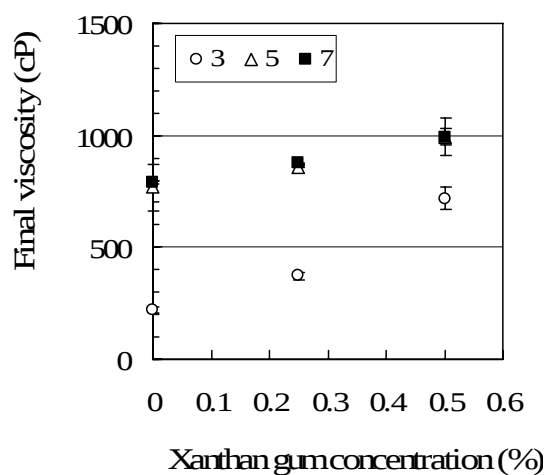
ความคงทนต่อการแช่แข็ง และละลายของเพสต์แป้งมันสำปะหลังและแซนแทนกัม หลังจากการทำแช่แข็งและละลายเจลผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแซนแทนกัม ที่อัตราส่วนเท่ากับ 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1 โดยมีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w) ที่ pH 3, 5 และ 7 หลังจากผ่านการแช่แข็งและละลาย 1, 3, 5 และ 7 วงจร พบว่า เพสต์แป้งมันสำปะหลังในระบบที่มีความเป็นกรดสูง (pH เท่ากับ 3) มีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาจากเพสต์แป้งมันสำปะหลังมีเปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาสูงที่สุดประมาณ 63% ดังแสดงในภาพที่ 19 และเนื่องจากเกิดการ depolymerization ของเจลแปรผันตามปริมาณ H^+ (Stanley, 1990) เมื่อ H^+ เพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดการ depolymerization มากขึ้น ดังนั้น เจลจึงมีความเสถียรลดลง มีผลให้เจลมีโครงสร้างแข็งแรงลดลง Sae-Kang and Suphantharika (2006) กล่าวว่า ที่ pH 3 มีน้ำที่แยกตัวออกมาจากเพสต์แป้งมันสำปะหลังสูง เนื่องจากมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นิ่มไม่สามารถทนต่อการทำให้เสียรูปที่เกิดจากการหมุนเหวี่ยงได้ จึงทำให้น้ำหลุดออกมาได้ง่าย



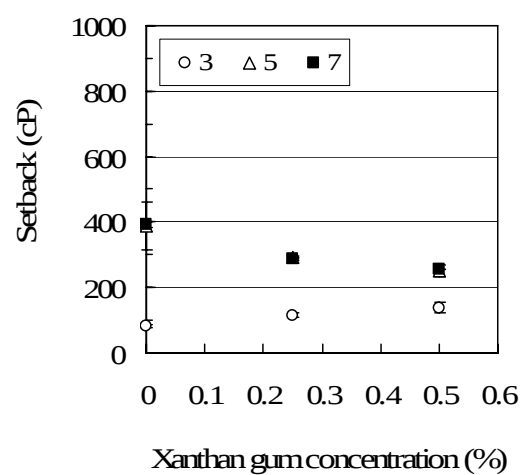
(a)



(b)



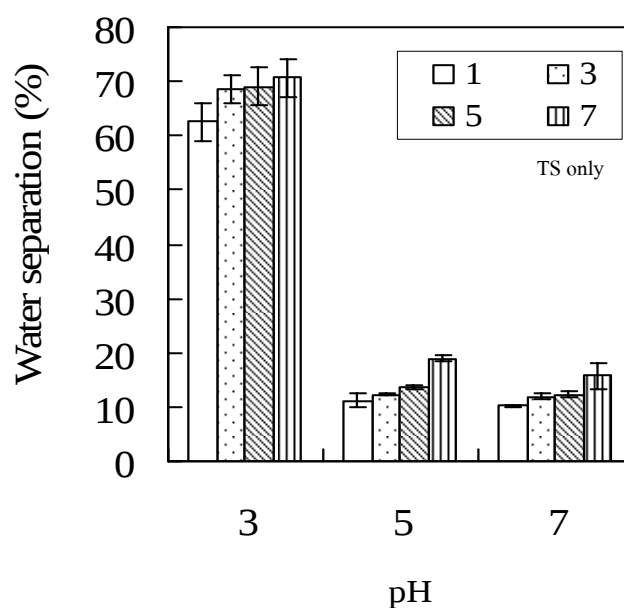
(c)



(d)

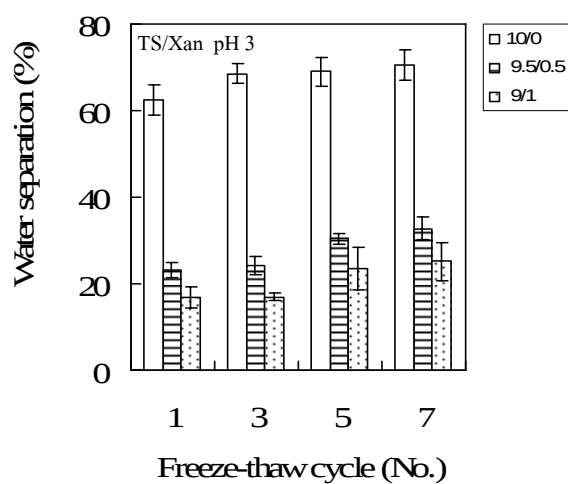
ภาพที่ 18 pasting temperature (a), ความหนืดสูงสุด (b), ความหนืดสุดท้าย (c) และ setback (d) ของแป้งมันสำปะหลังต่อแซนแทนกัมที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w)

ที่ pH 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาจากเจลแป้งมันสำปะหลังมีค่าใกล้เคียงกันหลังจากแช่แข็งและละลาย 7 วงจร ($P>0.05$) คือ 18.87% และ 15.68% ที่ pH 5 และ 7 ตามลำดับ

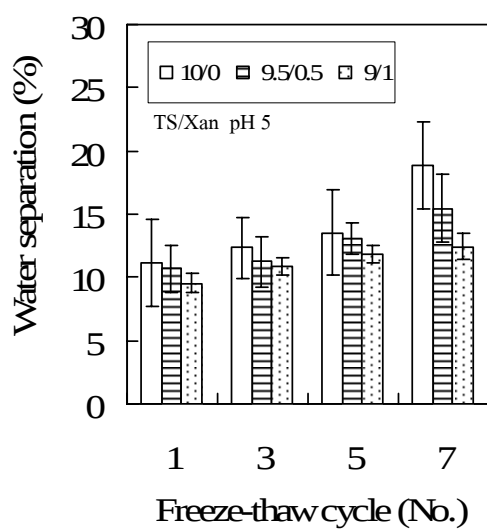


ภาพที่ 19 เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาของเพสต์แป้งมันสำปะหลัง (10/0) ที่ pH 3, 5 และ 7 หลังจากผ่านการแช่แข็งและละลาย 1, 3, 5 และ 7 วงจร

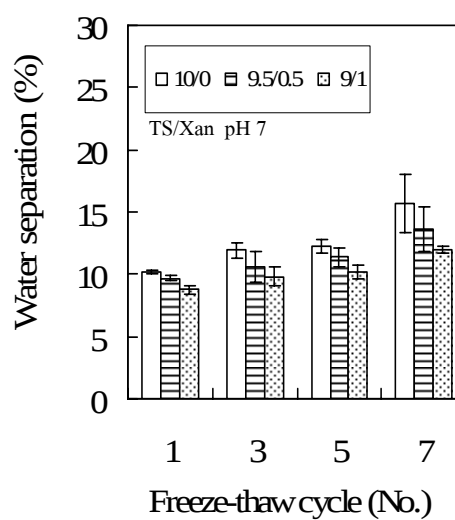
ที่ pH 3, 5 และ 7 พบว่า เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาจากเพสต์แป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัมมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของแซนแทนกัมเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) (ภาพที่ 20) แสดงว่าแซนแทนกัมช่วยทำให้เจลแป้งมันสำปะหลังมีสมบัติความคงทนต่อการแช่แข็งและละลายดีขึ้น และแซนแทนกัมสามารถทนความเป็นกรดเบสได้ในช่วงกว้าง (pH 2 - 12) และที่อุณหภูมิสูง (Phillips and Williams, 2000)



(a)



(b)



(c)

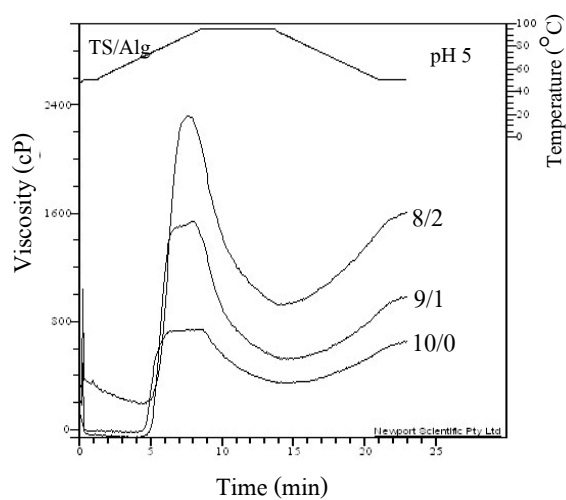
ภาพที่ 20 เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาของเพสต์แป้งมันสำปะหลัง และเพสต์แป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัม ที่อัตราส่วน 10/0, 9.5/0.5 and 9/1 ที่ pH 3 (a), 5 (b) และ 7 (c) หลังจากผ่านการแช่แข็งและละลาย 1, 3, 5 และ 7 วงจร

5. ผลของอัลจินตและ pH ต่อ RVA pasting properties และ freeze thaw stability ของแป้งมันสำปะหลัง

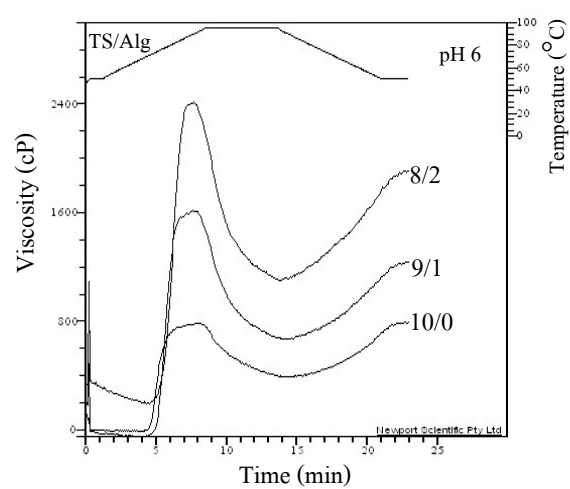
5.1 RVA pasting properties

ของผสมแป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังผสมอัลจินตที่อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่ออัลจินตเท่ากับ 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1 โดยมีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w) ที่ pH 5, 6 และ 7 เมื่อนำมาวิเคราะห์ pasting properties ด้วยเครื่อง RVA (ภาพที่ 19) พบว่า อุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มพองตัว (pasting temperature) (ภาพที่ 19 a) การเติมอัลจินตมีผลให้อุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มพองตัวสูงขึ้น ($p < 0.05$) เนื่องจากอัลจินตจับน้ำ อุณหภูมิที่เม็ดแป้งต้องใช้เพื่อพองตัวจึงสูงขึ้น ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และความหนืดสุดท้ายเมื่อแป้งเย็นตัวลง (final viscosity) (ภาพที่ 19 b-c) มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของอัลจินตเพิ่มขึ้นและที่อัตราส่วนเดียวกันค่าความหนืดสูงสุดและค่าความหนืดต่ำสุดมีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อ pH ต่างกัน ($P > 0.05$)

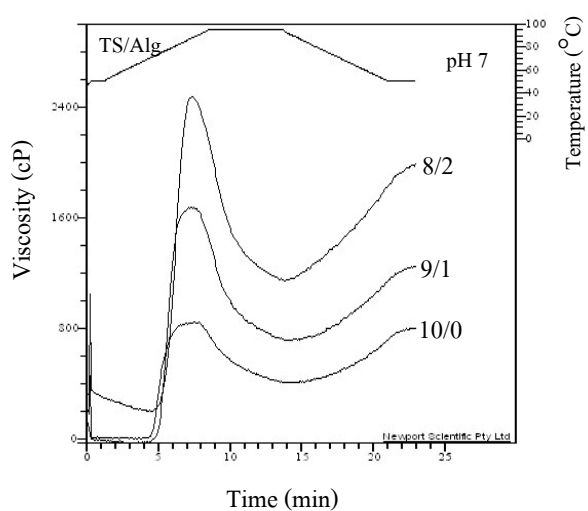
แป้งมันสำปะหลังเมื่อผสมอัลจินตแล้ว ค่า setback ที่ pH 5, 6 และ 7 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอัลจินตเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 22d) เนื่องจากการผสมอัลจินตมีผลทำให้ความหนืดของระบบสูงขึ้น เกิดจากการที่ไฮโดรคอลลอยด์ใน dispersions เพิ่มขึ้น ทำให้โมเลกุลของแป้งที่เรียกว่า effective concentration สูงขึ้น การเติมอัลจินตทำให้ค่า setback สูงขึ้น และอัลจินตมีโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นเส้นตรงไม่มีกิ่งกระจายอยู่รอบโครงสร้างเหมือนแซนแทน ทำให้การจัดเรียงตัวในแป้งเกิดได้ดีกว่าแป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัม (Draget, 2000) ทำให้การคำนวณค่าการคืนตัวมีค่ามากกว่าค่า setback ของแป้งมันสำปะหลังผสมแซนแทนกัม



(a)

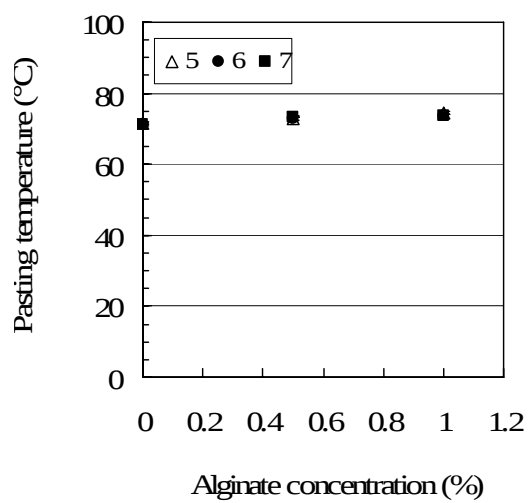


(b)

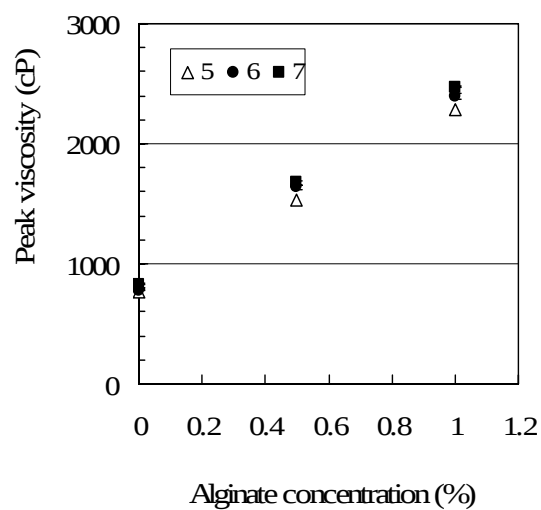


(c)

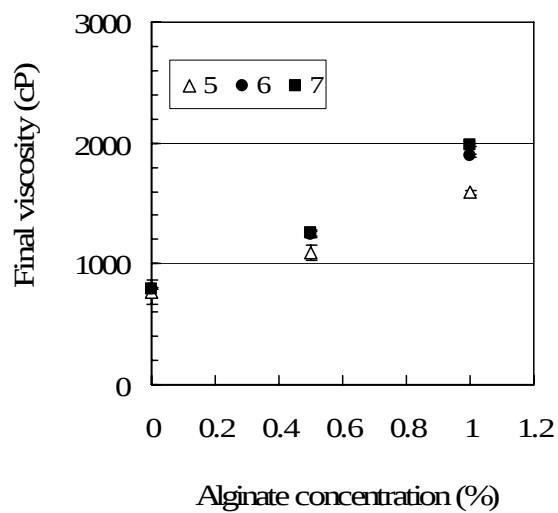
ภาพที่ 21 pasting properties แป้งมันสำปะหลังต่ออัลจินต ที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (10/0, 9/1 และ 8/2) ที่ pH = 5 (a), pH = 6 (b) และ pH = 7 (c)



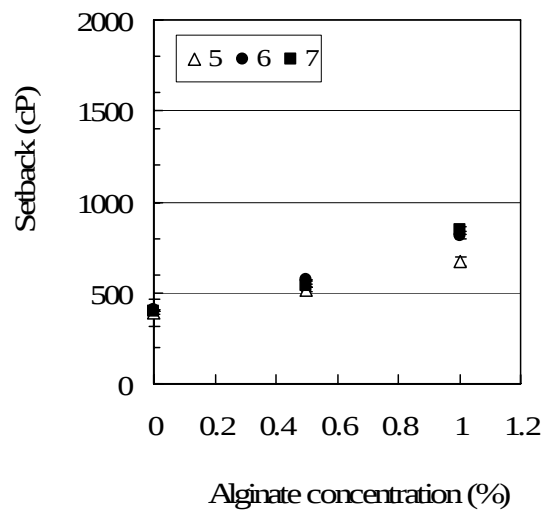
(a)



(b)



(c)



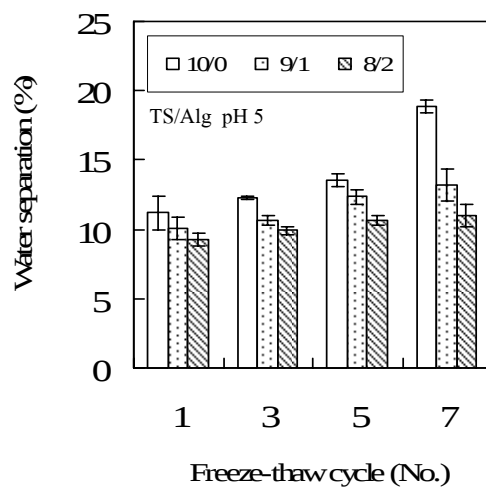
(d)

ภาพที่ 22 pasting temperature (a), ความหนืดสูงสุด (b), ความหนืดสุดท้าย (c) และ setback (d) ของแป้งมันสำปะหลังต่ออัลจินตที่อัตราส่วน 10/0, 9/1 และ 8/2

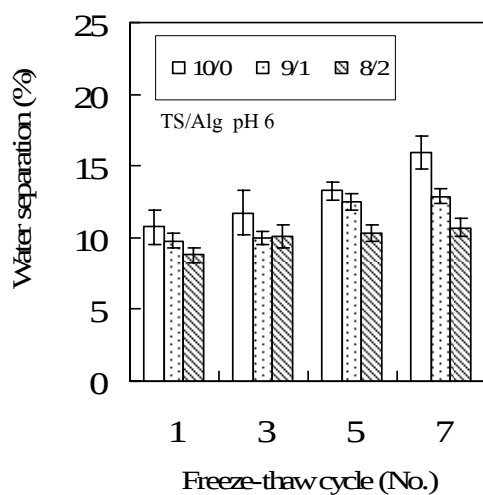
5.2 ความคงทนต่อสภาวะแช่แข็งและละลาย (freeze thaw stability)

ความคงทนต่อการแช่แข็งและละลายของเพสต์จากแป้งมันสำปะหลังผสมอัลจิเนต หลังจากการทำแช่แข็งและละลายที่อัตราส่วนเท่ากับ 10/0, 9/1 และ 8/2 โดยมีความเข้มข้นรวมของ พอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5%(w/w) ที่ pH 5, 6 และ 7 หลังจากผ่านการแช่แข็งและละลาย 1, 3, 5 และ 7 วงจร พบว่า ที่ pH 5, 6 และ 7 เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาจากเพสต์แป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว มีค่ามาก (ประมาณ 15-18% หลังจากแช่แข็งและละลาย 7 วงจร) และพบว่ามีเปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาจากเพสต์แป้งมันสำปะหลังมีค่าลดลงเมื่อเติมอัลจิเนต คือที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่ออัลจิเนต 9/1 การแยกตัวของน้ำเมื่อแช่แข็งและละลายลดลงเหลือประมาณ 13% หลังจากแช่แข็งและละลาย 7 วงจร และอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่ออัลจิเนต 8/2 การแยกตัวของน้ำเมื่อแช่แข็งและละลายลดลงเหลือประมาณ 10% หลังจากแช่แข็งและละลาย 7 วงจร (ภาพที่ 23) แสดงว่า อัลจิเนตช่วยให้เจลแป้งมันสำปะหลังมีสมบัติความคงทนต่อการแช่แข็งและละลายดีขึ้น

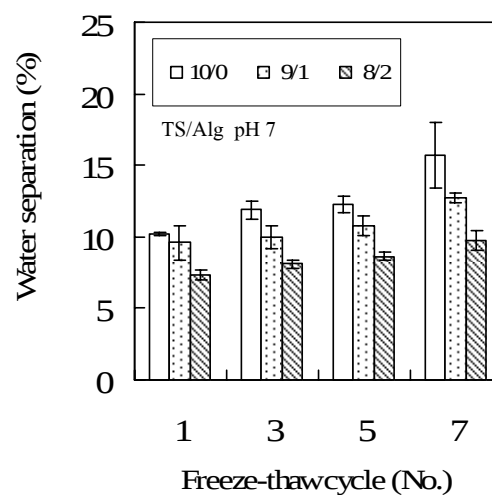
เนื่องจากอัลจิเนตมีโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์ ที่เป็นเส้นตรงไม่มีกิ่งกระจายอยู่รอบ โครงสร้างเหมือนแซนแทน ทำให้ความสามารถในการอุ้มน้ำน้อยกว่าแซนแทนกัม ทำให้ต้องใช้อัลจิเนตมากกว่าแซนแทนกัม เพื่อช่วยทำให้เจลแป้งมันสำปะหลังมีสมบัติความคงทนต่อการแช่แข็งและละลายดีขึ้น และอัลจิเนตไม่สามารถทนต่อสภาวะความเป็นกรดได้ดีเท่ากับแซนแทนกัมจึงทำ เห็นได้จากที่ pH 5 ที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อไฮโดรคอลลอยด์เท่ากัน คือที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่ออัลจิเนตเท่ากับ 9/1 การแยกตัวของน้ำเมื่อแช่แข็งและละลายมีประมาณ 13% หลังจากแช่แข็งและละลาย 7 วงจร แต่ที่ pH 5 ที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังแซนแทนกัมเท่ากับ 9/1 การแยกตัวของน้ำเมื่อแช่แข็งและละลายมีประมาณ 12% หลังจากแช่แข็งและละลาย 7 วงจร



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 23 เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาของเพสต์แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังต่ออัลจินตที่อัตราส่วน 10/0, 9/1 and 8/2 ที่ pH 5 (a), 6 (b) และ 7 (c) หลังจากผ่านการแช่แข็งและละลาย 1, 3, 5 และ 7 วงจร

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. แชนแทนกัมและอัลจินตมีผลให้กำลังการพองตัวและ amylose leaching ของแป้งมันสำปะหลังลดลง โดยที่แชนแทนกัมมีผลทำให้ค่าดังกล่าวลดลงมากกว่าอัลจินต

2. ผลของแชนแทนกัม และอัลจินตต่อสมบัติ pasting properties ของแป้งมันสำปะหลัง พบว่า แชนแทนกัมและอัลจินตในแป้งมันสำปะหลัง มีผลทำให้ pasting temperature ความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า breakdown ของแป้งมันสำปะหลังผสมอัลจินตมีค่าสูงกว่า ค่า breakdown ของแป้งมันสำปะหลังผสมแชนแทนกัม เมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นเดียวกัน ค่า setback ของแป้งมันสำปะหลังมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของแชนแทนกัมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า setback ของแป้งมันสำปะหลังมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอัลจินตเพิ่มขึ้น

3. ผลของแชนแทนกัม และอัลจินตต่อสมบัติความคงทนต่อการแช่แข็งและละลายของ เพสต์แป้งมันสำปะหลัง พบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมา จากการแช่แข็งและละลายหลายรอบของเพสต์แป้งมันสำปะหลังผสมแชนแทนกัมและอัลจินตมีค่าต่ำกว่าเพสต์แป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว หลังจากแช่แข็งและละลาย 7 รอบ การเติมแชนแทนกัมช่วยลดการแยกตัวออกมาน้ำจากเพสต์แป้งมันสำปะหลังได้ดีกว่าการเติมอัลจินตในเพสต์แป้งมันสำปะหลัง

4. ผลของความเป็นกรดเบสต่อ pasting properties ของเพสต์แป้งมันสำปะหลังผสมไฮโดรคอลลอยด์ พบว่า แชนแทนกัมและอัลจินตสามารถปรับปรุง RVA pasting properties และความคงทนต่อการแช่แข็งและละลายของเพสต์แป้งมันสำปะหลัง โดยเพิ่มความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย ในระบบที่มีความเป็นกรดได้

5. ผลของความเป็นกรดเบสต่อความคงทนต่อสถานะแช่แข็งและละลายของเพสต์แป้งมันสำปะหลังผสมไฮโดรคอลลอยด์ พบว่า แชนแทนกัมและอัลจินตเมื่อเติมในเพสต์แป้งมันสำปะหลังจะทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกจากเพสต์แป้งมันสำปะหลังหลังการแช่แข็งและละลาย 7 รอบมีค่าน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับเพสต์แป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว และมีค่าเปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมากจากการแช่แข็งและละลายมีค่าน้อยลงเมื่อ pH เพิ่มขึ้น

ข้อเสนอแนะ

แซนแทนกัมและอัลจินेटช่วยปรับปรุงคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังให้ทนต่อสภาวะที่มีความเป็นกรด และทำให้มีความคงทนต่อการแช่แข็งและละลายได้ ดังนั้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอาหารแช่แข็ง เช่น ผลิตภัณฑ์ราดหน้าแช่แข็ง ผลิตภัณฑ์ผักชุบทอดแช่แข็ง สามารถช่วยให้ทนต่อการแช่แข็งและละลายได้ ควบคุมการสูญเสียความชื้นและการลดการร่อนน้ำมัน ช่วยเพิ่มการเกาะติดของแป้งชุบทอด หรือในผลิตภัณฑ์อาหารที่มี pH ต่ำได้ เช่น ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในซอส เป็นต้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. องค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของอาหาร. คณะเกษตร
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิธิยา รัตนานนท์. 2545. เคมีอาหาร. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2547. กัม (ไฮโดรคอลลอยด์) กับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอาหาร
และกระบวนการผลิต. เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมาคมการค้าอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทย. 2531. อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังของไทย.
สมาคมการค้าอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทย, กรุงเทพฯ.

สุวรรณ สุกิมารส. 2543. เทคโนโลยีการผลิตลูกกวาดและช็อกโกแลต. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

American Association of Cereal Chemists. 2000. **Approved Methods of the AACC**. 10th
Edition. The Association: St. Paul, MN.

AOAC. 2000. **Official Method of Analysis**. 17th ed. The Association of Official Analytical
Chemists, Arlington, Virginia. 1588 p.

Akdeniz, N., S. Sahin and G. Sumnu. 2006. Functionality of batters containing different gums for
deep-fat frying of carrot slices. **Journal of Food Engineering**. 75: 522 – 526.

- Bahnassey, Y.A. and W.M. Breene. 1994. Rapid visco-analyzer (RVA) pasting profiles of wheat, corn, waxy corn, tapioca and amaranth starches (*A. hypochondriacus* and *A. cruentus*) in the presence of konjac flour, gellan, guar, xanthan and locoust been gums. **Starch / Starke**. 46 (4): 134 - 141.
- Bemiller, James N. and R.L. Whistler. 1996. Carbohydrates. **Food chemistry**. Marcel Dekker, Inc, New York, pp 157 – 223.
- Beta, T. and H. Corke. 2001. Noodle quality as related to sorhum starch properties. **Cereal Chem**. 78 (4): 417 - 420.
- Bourne, M.C. 1982. **Food Texture and Viscosity**. Concept and measurment. Academic Press, New York. 352 p.
- Bowers, J. 1992. **Food Theory and Applications**. Macmillian Publishing Company. 777p.
- Brennan, C.S., C.K. Tan, V. Kuri. and C.M. Tudorica. 2004. The pasting behaviour and freeze-thaw stability of native starch and native starch-xanthan gum pastes. **J. Food Sci & Tech**. 39: 1017 – 1022.
- Chaisawang, M. and M. Supphantharika. 2006. Pasting and rheological properties of native and anionic tapioca starches as modified by guar gum and xanthan gum. **Food Hydrocolloids**. 20: 641–649
- Chirstianson, D.D., J.E. Hodge and D. Ohborne and R.W. Detroy. 1981. Gelatinization of wheatstarch as modified by xanthan gum guar gum and cellulose gum. **Cereal Chem**. 58(6): 513-520.

- Dziedzic, S.Z. and M.W.Kearsley. 1995. The technology of starch production. **Handbook of starch hydrolysis products and derivatives**. Blackie Academic and Professional, London. pp 1 – 25.
- Eliasson, A.C. and M. Gudmundsson. 1996. Starch: physicochemical and functional aspects. **Carbohydrates in food**. Marcel Dekker, Inc. New York. pp 431 – 504.
- Funami, T., Y. Kataoka, T. Omoto and Y. Goto. 2005. Food hydrocolloids control the gelatinization and retrogradation behavior of starch. Function of guar gum with different molecular weight on the gelatinization behavior of corn starch. **Food Hydrocolloid**. 19: 15 - 24.
- Gibinski., M., S. Kowalski, M. Sady., J. Krawontka., P. Tomasik. and M. Sikora. 2005. Thickening of sweet and sour sauces with various polysaccharide combinations **Journal of Food Engineering**. 75(3): 407 – 414.
- Hilal Sahin and Feramuz Ozdemir. 2004. Effect of some hydrocolloids on the rheological properties of different formulated ketchup. **J. of Food Hydrocolloid**. 18(6): 1015 – 1022.
- Imeson, A. 1997. **Thickening and Gelling Agents for Food**. 2nd edition. Blackie Academic & Professional, London. 577 p.
- Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled rice amylose. **Cereal Sci. Today**. 16(10): 334 - 340.
- Kruger, A. C. Ferrero and N.E. Zaritzky. 2003. Modelling corn starch swelling in batch system: Effect of sucrose and hydrocolloid. **J. Food Eng.** 58(2): 125 - 133.
- Lee, M.H., M.H. Baek, D.S. Cha, H.J. Park and S.T. Lim. 2002. Freeze-thaw stabilization of sweet potato starch gel by polysaccharide gum. **Food Hydrocolloids**. 16(4): 345 - 352.

- Lee, Y.E. and E.M. Osman. 1991. Correlation of morphological changes of rice starch granules with rheological properties during heating in excess water. **J. Kor. Agric. Chem. Soc.** 34: 379 - 385.
- Li, J.Y. and A.I. Yeh. 2001. Relation between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starch. **J. of Food Eng.** 50: 141 - 148.
- Lineback, D.R. and G.E. Inglett. 1982. **Food Carbohydrate**. The Saybrook Press, Inc. America. 494 p.
- Malia, S., C. Ferrerob, V. Redigondab, A.P. Beleiaa, M.V.E. Grossmanna, N.E. Zaritzky. 2003. Influence of pH and hydrocolloids addition on yam (*Dioscorea alata*) starch pastes stability. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol.** 36: 475 – 481.
- Mandala, I.G. and E. Bayas. 2004. Xanthan effect on swelling, solubility and viscosity of wheat starch dispersions. **Food Hydrocolloids**. 18(2): 191 - 201.
- Newport Scientific. 1995. **Operation Manual for the series 4 Rapid Visco Analysis**. Newport Scientific Pty Ltd., Australia.
- Nussinovitch, A. 1997. **Hydrocolloid Application**. Blackie Academic & professional, London. 354 p.
- Phillips, G.O. and P.A. Williams. 2000. **Handbook of hydrocolloids**. Woodhead Publishing Limited. 450 p.
- Pongsawatmanit, R., T. Temsiripong, S. Ikeda and K. Nishinari. 2006. Influence of tamarind seed xyloglucan on rheological properties and thermal stability of tapioca starch. **Journal of Food Engineering**. 77: 41 - 50.

- Rapaille, A and J. Vanhemelrick. 1997. Modified starches. **Thickening and Gelling Agents for Food**. Blackie Academic and Professional, London. pp. 199 – 229.
- Rojas, J.A., C.M. Rosell. and C. Benedito de Barber. 1999. Pasting properties of different wheat flour-hydrocolloid systems. **Food Hydrocolloids**. 13: 27-33.
- Sae-kang, V. and M. Supphantharika. 2006. Influence of pH and xanthan gum addition on freeze-thaw stability of tapioca starch pastes. **Carbohydr Polym**.
- Sikora, M., S. Kowalski., P. Tomasik and M., Sady. 2007. Rheological and sensory properties of dessert sauces thickened by starch–xanthan gum combinations. **Journal of Food Engineering**. 79: 1144 – 1151.
- Smith, P.S. 1982. Starch Derivatives and their use in food. **Food carbohydrates**. AVI publishing company Inc., America. pp 237 - 269.
- Stephen, A.M. 1995. **Food Polysaccharides and Their Application**. Marcel Dekker, Inc. 654 p.
- Varavinit, S., Anuntavuttikul and S. Shobsngob. 2000. Influence of freezing and thawing techniques on stability of sago and tapioca starch pastes. **Starch/Stärke**. 52: 214 - 217.
- Whistler, R.L. and J. N.Bemiller. 1999. **Carbohydrate chemistry for food scientists**. 2nd ed. Eagan Press, St.Paul, Minn. 241 p.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

1. ความชื้น

นำจานอะลูมิเนียมหาความชื้นไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 100 - 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกใส่เคชเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนัก นำไปอบต่ออีก 30 นาที ชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักที่แน่นอน (W) ชั่งตัวอย่างข้าวใส่จานอะลูมิเนียมประมาณ 3.000 กรัม (W_1) นำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 100 - 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำออกใส่เคชเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนัก นำไปอบต่ออีก 30 นาที ชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักที่แน่นอน (W_2) (AACC, 2000)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น (\%)} = \frac{(W_2 - W \times 100)}{W_1}$$

2. เถ้า

นำจานกระเบื้องไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส นานประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาใส่เคชเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปชั่งน้ำหนัก ทำการเผาจานกระเบื้องซ้ำอีก 30 นาที จนได้น้ำหนักคงที่ (W) ชั่งตัวอย่างที่ทราบความชื้นประมาณ 2 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง (W_1) ใส่ในจานกระเบื้องที่เตรียมไว้ นำไปเผาด้วยไฟอ่อนๆ จนหมดควัน ใส่เตาเผาไฟฟ้าที่อุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส นานประมาณ 2-3 ชั่วโมง จนกระทั่งได้เถ้าสีขาวหรือสีเทา นำออกมาใส่เคชเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปชั่งน้ำหนัก (W_2) (AACC, 2000)

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า (\%)} = \frac{100 \times (W_2 - W)}{W_1}$$

3. โปรตีน

ซึ่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ใน Digestion tube เติม Catalyst หรือ $\text{CuSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4$ ประมาณ 7 กรัม เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร นำไปเข้าเครื่องย่อยที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใส นำออกมาทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำ Digestion tube ใส่ในเครื่องกลั่นและใส่ Flask ซึ่งบรรจุกรดบอริกความเข้มข้น 4% จำนวน 25 มิลลิลิตร และอินดิเคเตอร์ผสมของ Brommocresol green และ Methyl red ในอัตราส่วน 1: 7 เมื่อกลั่นเสร็จนำสารละลายที่กลั่นได้ซึ่งอยู่ใน Flask ไปไตเตรดกับสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ จนได้สารละลายสีชมพูอ่อน (AOAC, 1998) แพลกเตอร์สำหรับคำนวณปริมาณโปรตีน เท่ากับ 5.95 (Lee, 1975)

$$\text{Nitrogen content (\%)} = \frac{14.001 \times [\text{HCl}] \times (\text{vol. HCl with sample} - \text{vol. HCl with blank}) \times 100}{\text{weigh of sample (mg, dry basis)}}$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \text{Nitrogen content (\%)} \times 5.95$$

4. ไขมัน

ซึ่งตัวอย่างที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้วประมาณ 3 กรัม (W) ใส่กระดาษกรองและห่อตัวอย่างในทิมเบิล (thimble) นำทิมเบิลใส่ในเครื่องวิเคราะห์ไขมัน เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงในขวดสกัดไขมันที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (W_2) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร แล้วนำไปใส่ในเครื่องวิเคราะห์ไขมันทำการสกัดไขมันเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออก แล้วทำการระเหยส่วนที่เหลือในตู้อบที่อุณหภูมิ 90 - 100 องศาเซลเซียส ใส่เดซิเคเตอร์ทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนักแห้งคงที่ (W_1) โดยคำนวณเป็นร้อยละของน้ำมัน (ดัดแปลงจาก AOAC, 1990)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน (\%)} = \frac{100 \times (W_1 - W_2)}{W}$$

5. เส้นใยหยาบ

ซึ่งตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วให้น้ำหนัก 0.5 กรัม (W) ใส่ในกรูชีเบล ใส่กรูชีเบลในเครื่อง Fibertec M6 1020 เติมกรดซัลฟูริก 1.25 นอร์มัล ซึ่งต้มเดือดลงไป 200 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องย่อย และต้มให้เดือดต่อไปอีกนาน 30 นาที ล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดกรด (ประมาณ 200 มิลลิลิตร) จากนั้นย่อยด้วยสารละลายโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.25 นอร์มัล ซึ่งต้มเดือดจำนวน 200 มิลลิลิตร และต้มให้เดือดต่อไปอีก 30 นาที แล้วล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดต่าง ล้างกากที่เหลือด้วยอะซิโตน ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำกรูชีเบลไปอบให้แห้งนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ใส่เคซิเคเตอร์ทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนัก นำไปอบต่ออีก 30 นาที ชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักที่คงที่ (W_1) นำกรูชีเบลพร้อมด้วยกากที่อบแห้ง ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นานประมาณ 2 ชั่วโมง (จนขาว) ใส่เคซิเคเตอร์ทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักคงที่ (W_2) (AOAC, 2000)

$$\text{เปอร์เซ็นต์เส้นใยหยาบ (\%)} = \frac{100 \times (W_1 - W_2)}{W}$$

ภาคผนวก ข

**ความหนืดของเจลแป้งมันสำปะหลังและไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย RVA
และเปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาจากเจลแป้งมันสำปะหลัง**

ตารางผนวกที่ ข1 อุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มพองตัว (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่า breakdown ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่า setback ของ เจลแป้งมันสำปะหลังและเจลแป้งมันสำปะหลังและแซนแทนกัม

แป้งมัน สำปะหลังต่อ แซนแทนกัม	Pasting temperature (°C)	Peak viscosity (cP)	Breakdown (cP)	Final viscosity (cP)	Setback (cP)
10/0	71.28±0.46c	817.67±2.31c	424.67±10.07c	783.67±16.17c	390.67±15.14a
9.5/0.5	74.18±0.26b	1036.33±17.47b	444.33±10.41b	904.67±8.38b	312.67±3.22b
9/1	77.15±0.99a	1425.16±15.95a	482.00±15.72a	1224.48±24.01a	271.53±3.00c

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ ข2 อุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มพองตัว (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่า breakdown ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่า setback ของ เจลแป้งมันสำปะหลังและเจลแป้งมันสำปะหลังและอัลจีเนต

แป้งมัน สำปะหลังต่อ อัลจีเนต	Pasting temperature (°C)	Peak viscosity (cP)	Breakdown (cP)	Final viscosity (cP)	Setback (cP)
10/0	71.6 ± 0.1c	823.7 ± 6.0e	432.3 ± 2.9e	789.0 ± 7.8e	397.7 ± 13.1e
9.5/0.5	72.5 ± 0.2b	1346.7 ± 22.0d	758.7 ± 13.1d	1042.0 ± 29.4d	454.0 ± 17.3d
9/1	72.8 ± 0.0b	1661.3 ± 13.5c	939.3 ± 6.0c	1285.7 ± 31.9c	563.7 ± 23.7c
8.5/1.5	72.8 ± 0.5b	1962.0 ± 3.5b	1146.0 ± 16.7b	1508.3 ± 30.1b	692.3 ± 16.6b
8/2	73.9 ± 0.0a	2471.3 ± 9.7a	1331.0 ± 10.6a	2001.0 ± 14.0a	860.7 ± 15.3a

หมายเหตุ ตัวอักษร a-e ที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางผนวกที่ ข3 เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาจากเจลผสมแป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว

ซ้ำที่	เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมา			
	รอบที่ 1 ns	รอบที่ 3 ns	รอบที่ 5 ns	รอบที่ 7 ns
1	7.59 ± 0.61	10.51 ± 0.31	12.19 ± 0.18	13.02 ± 1.36
2	8.81 ± 0.80	11.55 ± 0.31	13.11 ± 0.73	14.48 ± 0.89

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

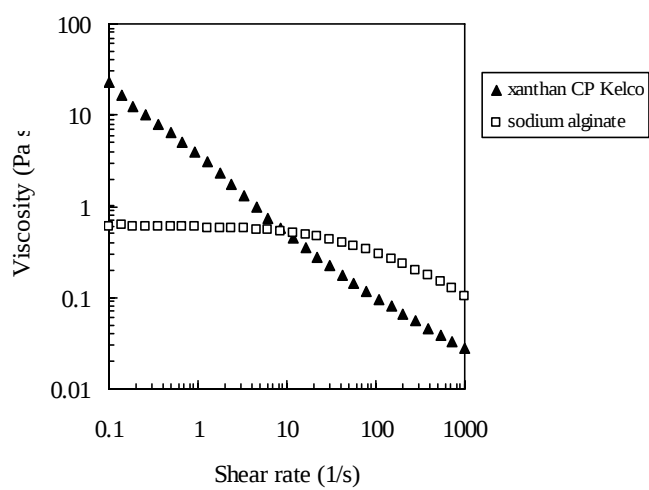
ตารางผนวกที่ ข4 เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกตัวออกมาจากเจลผสมแป้งมันสำปะหลังอย่างเดียวที่ pH 3, 5 และ 7

pH	Cycle1	Cycle 3	Cycle 5	Cycle 7
3	62.51±3.43a	68.57±2.41a	69.05±3.40a	70.66±3.49a
5	11.18±1.26b	12.32±0.12b	13.55±0.44b	18.87±0.49b
7	10.21±0.15b	11.91±0.63b	12.23±0.58b	15.68±2.29b

หมายเหตุ ตัวอักษร a-c ที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

ภาคผนวก ค

apparent viscosity ที่ shear rate ต่างๆ ของแซนแทนกัมและอัลจีเนต



ภาพผนวกที่ ค1 Apparent viscosity ที่ shear rate ต่างๆ ของแซนแทนกัมและอัลจีเนตความเข้มข้น 1% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสุวภัทร ศรีจันทร์ทองศิริ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 7 เดือนกันยายน พ.ศ. 2525
สถานที่เกิด	จังหวัดสิงห์บุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) เกียรตินิยม อันดับสอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2548
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

