

บทนำ

แป้งมันสำปะหลังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากหัวมันสำปะหลัง ซึ่งมีการนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงการค้านอกเหนือไปจากแป้งข้าวโพด (Moorthy, 2004) โดยมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ รวมถึงการใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ซอส ชุป ไอศกรีม เส้นก๋วยเตี๋ยว พุดดิ้ง อาหารกระป๋อง และอาหารแช่แข็ง เป็นต้น เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีสมบัติในการให้ความหนืดสูง เจลที่ได้ใส ไม่มีกลิ่นรสจึงไม่รบกวนกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตแป้งมันในปริมาณมากและมีแนวโน้มที่จะผลิตเพิ่มขึ้น (สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย, 2550; Sriroth et al., 2007) ทั้งนี้พบว่า ในปี 2554 ที่ผ่านมา ประเทศไทยมีผลผลิตมันสำปะหลัง 21,912,416 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) แป้งมันสำปะหลังที่ผลิตส่วนใหญ่เป็นแป้งมันสำปะหลังที่คงสมบัติตามปกติหรือแป้งมันสำปะหลังดิบ (native starch) โดยไม่ได้ผ่านการตัดแปรหรือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุลเพื่อให้เหมาะสมในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เมื่อพิจารณาสมบัติของแป้ง มักถูกนำไปใช้เพื่อให้เกิดสมบัติที่ต้องการบางชนิด เช่น เพิ่มความข้นหนืด เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดในการใช้แป้งมันสำปะหลังดิบเพื่อการผลิตในระดับอุตสาหกรรม เช่น ความไม่คงทนต่อแรงเฉือน ความไม่คงตัวต่อสภาวะต่างๆ ระหว่างการแปรรูป (เช่น ความเป็นกรดต่าง การให้ความร้อน หรือ ผลของการเติมส่วนผสม เช่น เกลือ น้ำตาลต่อสมบัติของแป้ง) รวมถึงสภาวะในการเก็บรักษา ดังนั้นจึงมีการใช้ไฮโดรคอลลอยด์เป็นส่วนผสมเพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการของแป้งดิบ ไฮโดรคอลลอยด์เป็นไบโอพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติทั้งจากพืชและสัตว์ เช่น คาร์ราจีแนนหรืออัลจินเตจากสาหร่าย กลูโคแมนแนนจากหัวบุก ไคโตซานจากเปลือกกุ้งหรือเปลือกปู เป็นต้น เมื่อไฮโดรคอลลอยด์ส่วนใหญ่ละลายหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำจะทำให้สารละลายที่ได้มีความหนืดสูงหรือมีลักษณะเป็นเจล จึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ และรสชาติที่ดีกว่า รวมถึงให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวที่ดีตลอดอายุการเก็บ (เช่น ความคงตัวต่อสภาวะการเก็บแช่แข็ง) ทั้งนี้การใช้ไฮโดรคอลลอยด์ร่วมกับแป้งมันสำปะหลังจะช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ และยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความคงทนต่อสภาวะการแปรรูปและการเก็บรักษาต่างๆ ได้ดีขึ้น (Pongsawatmanit et al., 2006; Pongsawatmanit et al., 2007; Sae-Kang and Supphantharika, 2006; Temsiripong et al., 2005)

จากสมบัติที่ดีของไฮโดรคอลลอยด์ในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบ คาร์ราจีแนนเป็นไฮโดรคอลลอยด์ชนิดหนึ่งที่น่าสนใจซึ่งสกัดได้จากสาหร่ายสีแดง มี

galactose backbone เชื่อมต่อกับ alternating glycosidic linkages คาร์ราจีแนนมี 3 ชนิด (kappa, iota, lambda) ซึ่งมีความแตกต่างกันเนื่องจากปริมาณและตำแหน่งของหมู่ ester sulphate และปริมาณ 3,6-anhydro-D-galactose ทำให้คาร์ราจีแนนแต่ละชนิดมีสมบัติในการเกิดเจลต่างกัน คาร์ราจีแนนมีสมบัติในการเกิดเจลเมื่อมีการเติมไอออนเช่น K^+ Ca^{2+} เป็นตัวเหนี่ยวนำ นอกจากนี้คาร์ราจีแนนยังช่วยลดการแยกตัวของน้ำจากเจล (syneresis) และช่วยเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์ต่อวงจรการแช่แข็งและการละลายได้ (Thomas, 1997) ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้คาร์ราจีแนนในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ไอศกรีม พุดดิ้ง นม ขนมหวานที่มีลักษณะเป็นเจล เจลลี่ ชอส เป็นต้น (Piculell, 1995)

นอกจากนี้ ในผลิตภัณฑ์อาหารยังมีส่วนประกอบอื่น เช่น เกลือและน้ำตาล ซึ่งมีผลต่อสมบัติบางประการของของผสมระหว่างแป้งและไฮโดรคอลลอยด์ (Funami et al., 2008; Pongsawatmanit et al., 2007; Viturawong et al., 2008) ทั้งนี้ Funami และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาระบบแป้งข้าวโพดผสมไอโอดา-คาร์ราจีแนนที่ความเข้มข้นต่ำ (แป้ง 0.5% และไอโอดา-คาร์ราจีแนน 0.2%) โดยมีการศึกษาผลของเกลือหลายชนิดร่วมด้วย พบว่า หน้าที่ของไอโอดา-คาร์ราจีแนนขึ้นกับชนิดของเกลือที่ถูกเติมลงไป นอกจากนี้ Viturawong และคณะ (2008) ยังได้ทำการศึกษาระบบแป้งข้าวเจ้าผสมแซนแทนกัมที่มีการปรับเปลี่ยนน้ำหนักโมเลกุลร่วมกับการเติมเกลือ NaCl หรือ $CaCl_2$ พบว่า การเติมเกลือมีผลต่อการเกิดเจลลิตีในเซชันของแป้ง และยังมีผลต่อสมบัติทางรีโอโลยีของตัวอย่างอีกด้วย เมื่อพิจารณาผลของน้ำตาล Pongsawatmanit และคณะ (2007) ได้รายงานผลของระบบสารผสมของแป้งมันสำปะหลังร่วมกับไซโลกลูแคนโดยมีการเติมซูโครสลงไป พบว่า ซูโครสมีผลต่อสมบัติทางความร้อนและรีโอโลยีของตัวอย่าง โดยเมื่อในระบบมีปริมาณซูโครสเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายของตัวอย่างเพิ่มขึ้นด้วย ในทางกลับกันค่า loss tangent ของตัวอย่างมีค่าต่ำลงเมื่อมีปริมาณซูโครสเพิ่มขึ้นแสดงถึงลักษณะคล้ายของแข็งที่เพิ่มขึ้นอันเป็นผลจากส่วนของซูโครสที่ละลายในระบบ เมื่อพิจารณาสมบัติทางด้านความร้อน พบว่า ค่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันของตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณซูโครสเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ซูโครสยังเพิ่มค่า stiffness และ hardness ของตัวอย่างที่เป็นเจลอีกด้วย อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลของคาร์ราจีแนน เกลือ และน้ำตาลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแป้งมันสำปะหลังยังมีไม่มาก แต่ความรู้ดังกล่าวมีความสำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลังได้ ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของคาร์ราจีแนน เกลือ และซูโครสต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแป้งมันสำปะหลังเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของคาร์ราจีแนนต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของ
แป้งมันสำปะหลัง

2. เพื่อทราบผลของเกลือและซูโครสต่อสมบัติทางกายภาพของส่วนผสมแป้งมันสำปะหลัง
และคาร์ราจีแนน

วิธีการทดลอง

1. วัตถุดิบ

- แป้งมันสำปะหลัง (TS) ซื้อจากบริษัทสยาม ควอลิตี้ สตาร์ชจำกัด (ปทุมธานี, ประเทศไทย)
- แคปปา-คาร์ราจีแนน (Gelcarin® XP 3370) (kCAR) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เอฟเอ็มซี เคมิคัล (ประเทศไทย) จำกัด
- ไอออลตา-คาร์ราจีแนน (Viscarin® SD 389) (iCAR) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เอฟเอ็มซี เคมิคัล (ประเทศไทย) จำกัด
- เกลือชนิดต่างๆ (NaCl, KCl และ CaCl_2) เป็น analytical grade ซื้อจากบริษัทเมอร์ค จำกัด (ประเทศไทย)
- ซูโครส เป็น analytical grade ซื้อจากบริษัท Fisher Scientific จำกัด

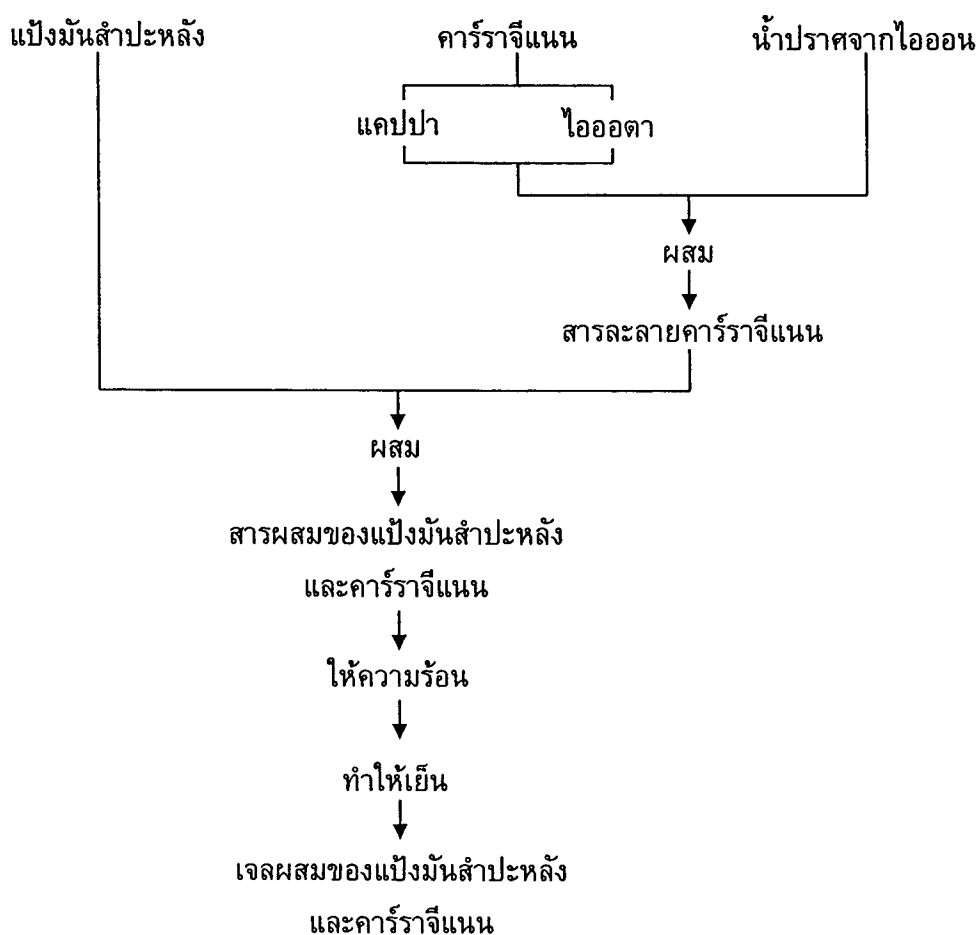
2. วิธีการ

2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนน

นำตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนนมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณตามวิธีการของ AOAC (1995) การวิเคราะห์นี้ส่วนหนึ่งเป็นการทำเพื่อให้แน่ใจว่าองค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าที่ต่ำ ซึ่งแสดงว่าแป้งที่นำมาใช้จัดเป็น starch ไม่ใช่ flour สำหรับตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังมีการนำไปวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสด้วยวิธี HPSEC โดยการใช้เอนไซม์ α -amylase ตามวิธีการของ Govindasamy และคณะ (1992) สำหรับคาร์ราจีแนนนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุได้แก่ Na, K, Ca และ Mg ด้วยเครื่อง AAS (Flame Technique)

2.2 การศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของคาร์ราจีแนนต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง

ซึ่งตัวอย่างแป้งสำปะหลังและแคปปา-คาร์ราจีแนนหรือไอโอตา-คาร์ราจีแนน ค่อยๆ เติม คาร์ราจีแนนลงในน้ำที่ปราศจากไอออน ทำการกวนผสมเป็นเวลา 30 นาทีสำหรับแคปปา-คาร์ราจีแนน และ 2 ชั่วโมงสำหรับไอโอตา-คาร์ราจีแนน โดยให้มีปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดเท่ากับ 5% ในอัตราส่วนที่ต่างกัน (แป้งมันสำปะหลังต่อคาร์ราจีแนน เท่ากับ 10/0, 9.5/0.5, 9/1) จากนั้นนำของผสมที่ได้ไปวัดสมบัติในด้านต่างๆ ในการเตรียมตัวอย่างอาจมีการให้ความร้อน (อุณหภูมิใจกลางตัวอย่างมีค่า 95°C เป็นเวลา 30 นาที) ทำให้เย็นและเทใส่พิมพ์ นำตัวอย่างเจลไปวัดสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสต่อไป (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 วิธีการเตรียมตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังผสมคาร์ราจีแนน

2.2.1 สมบัติเพสติง (Pasting properties)

ทำการศึกษสมบัติเพสติงของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนน ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (Model RVA-4, Newport Scientific Pty, Ltd., Warriewood, NSW, Australia) ซึ่งต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูล Thermocline นำตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังผสมคาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (TS/CAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ที่มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์เท่ากับ 5% ผสมกับน้ำปราศจากไอออน เตรียมใส่ใน RVA canister ให้มีน้ำหนักตัวอย่างรวม 28 กรัม ก่อนทำการวัดค่า ตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะถูกกวนด้วยใบพัดพลาสติกเป็นเวลาเท่าๆ กัน (20-30 วินาที) เพื่อให้ตัวอย่างไม่ตกตะกอนก่อนนำไปใส่ในเครื่อง RVA ข้อมูลในการวัดค่าที่ใช้มีดังนี้ ช่วงเริ่มต้นให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 95 °C ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 6 °C ต่อนาที คงอุณหภูมิที่ 95 °C นี้ไว้เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิ 50 °C ด้วยอัตราการลดอุณหภูมิ 6 °C ต่อนาที และคงอุณหภูมิที่ 50 °C จนสิ้นสุดเวลาการวัดค่า เวลารวมในการวัดค่าทั้งหมดเท่ากับ 23 นาที ความเร็วในการกวนผสมระหว่างการวัดค่าในช่วงเริ่มต้นเท่ากับ 960 รอบต่อนาที (10 วินาทีแรก) และ 160 รอบต่อนาที (ตลอดการทดลองที่เหลือ) (Pongsawatmanit and Srijunthongsiri, 2008) บันทึกค่าสมบัติเพสติงต่าง ๆ จากกราฟ RVA ที่ได้

2.2.2 ค่ากำลังการพองตัว (Swelling power)

ทำการศึกษาค่าการพองตัวของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนน ตามวิธีการของ Li และ Yeh (2001) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนนที่เป็นผงตามอัตราส่วนต่างๆ ที่ศึกษา (TS/CAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ที่มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์เท่ากับ 1% ใส่ในหลอดเซนตริฟิวจ์ที่มีฝาปิดแบบเกลียว และเติมน้ำปราศจากไอออนจนมีปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำหลอดที่บรรจุตัวอย่างไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ (55-95 °C) เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในเครื่อง shaking water bath ซึ่งมีการเขย่าไปด้วยเพื่อไม่ให้ตัวอย่างตกตะกอน ภายหลังการให้ความร้อน นำหลอดเซนตริฟิวจ์ที่บรรจุตัวอย่างมาทำให้เย็นแล้วจึงนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 8000 g เป็นเวลา 20 นาที แยกส่วนใสที่ได้โดยเทออกจากหลอด ส่วนของตะกอนจะติดอยู่ที่ก้นหลอด นำไปชั่งน้ำหนักจะได้ค่า W_s สำหรับส่วนใสนำไปอบให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนักจะได้ค่า W_t นำค่าที่ได้มาคำนวณเป็นค่าดัชนีการละลาย (water soluble index, WSI) และค่ากำลังการพองตัว (swelling power, SP) ตามสมการข้างล่างนี้

$$WSI = [W_r/0.1] \times 100\% \quad (1)$$

$$SP = W_r/[0.1(100\% - WSI)] \text{ (g/g)} \quad (2)$$

2.2.3 การวัดค่าความหนืด (Steady shear viscosity measurement)

นำตัวอย่างแป้งผสมคาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (TS/CAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ที่มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์เท่ากับ 5% ผสมกับน้ำปราศจากไอออน ให้ความร้อน (จากเครื่อง RVA) จะได้ตัวอย่างที่เจลาติไนซ์แล้วมาเหวี่ยงที่แรง 190 g เป็นเวลา 2 นาที เพื่อกำจัดฟองอากาศ นำตัวอย่างมาวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ (Physica MCR 300, Anton Paar GmbH, Stuttgart, Germany) โดยใช้หัววัดชนิด cone and plate (50 mm diameter, 1° cone angle และ 0.05 mm gap) ก่อนทำการวัด ตัวอย่างจะถูกรักษาอุณหภูมิไว้ที่ 50 °C เพื่อป้องกันการเกิดเจลของคาร์ราจีแนน และเมื่อบรรจุตัวอย่างใส่เครื่องมือวัดมีการรอให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิคงที่ที่ 50 °C เป็นเวลา 15 นาทีก่อนเริ่มการวัดค่า ค่าความหนืดปรากฏที่ได้ทำการวัดโดยการเพิ่มค่าอัตราเฉือน (shear rate) จาก 0.1 ถึง 1000 s⁻¹

2.2.4 สมบัติวิสโคอีลาสติก (Dynamic viscoelastic properties)

นำตัวอย่างแป้งผสมคาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (TS/CAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ที่มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์เท่ากับ 5% ผสมกับน้ำปราศจากไอออน ให้ความร้อน (จากเครื่อง RVA) จะได้ตัวอย่างที่เจลาติไนซ์แล้วมาเหวี่ยงที่แรง 190 g เป็นเวลา 2 นาที เพื่อกำจัดฟองอากาศ นำตัวอย่างมาวัดค่าด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ (Physica MCR 300, Anton Paar GmbH, Stuttgart, Germany) โดยใช้หัววัดชนิด cone and plate (50 mm diameter, 1° cone angle และ 0.05 mm gap) ก่อนทำการวัดตัวอย่างจะถูกรักษาอุณหภูมิที่ 50 °C เพื่อป้องกันการเกิดเจลของคาร์ราจีแนน ทำการวัดการเปลี่ยนแปลงค่า dynamic moduli (storage modulus และ loss modulus) ที่ความถี่ต่างๆ ในช่วง 0.01-10 rad/s ที่อุณหภูมิ 2 ระดับคือ 25 และ 50 °C เพื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อสมบัติวิสโคอีลาสติกของตัวอย่างด้วย ในการวัดค่าได้กำหนดให้ค่าแรงที่ใช้คงที่ (1% strain) ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วง linear viscoelastic region ได้จากการศึกษาเบื้องต้นด้วยวิธีการทดลอง strain sweep ในการวัดค่ามีการหยดน้ำมัน (mineral oil) รอบๆ ขอบของตัวอย่าง เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำระหว่างการวัด บันทึกค่า storage modulus (G') และ loss modulus (G'')

2.2.5 สมบัติด้านเนื้อสัมผัส (ดัดแปลงจากวิธีการของ Nunes, 2003)

เตรียมตัวอย่างสารผสมแป้งมันสำปะหลังผสมคาร์ราจีเนนสำหรับการวัดสมบัติด้านเนื้อสัมผัส โดยการนำคาร์ราจีเนนผสมกับสารแขวนลอยแป้งมันสำปะหลัง เติมน้ำปราศจากไอออน ซึ่งจะได้ความเข้มข้นรวมของระบบเท่ากับ 5% โดยมีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อคาร์ราจีเนนเท่ากับ 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1 ตามลำดับ จากนั้นนำไปกวนต่อเพื่อผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ จนตัวอย่างมีอุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 30 นาที โดยมีการกวนตลอดการให้ความร้อน เติตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดฟองอากาศแล้วลงในภาชนะบรรจุขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 3.5 ซม. ทิ้งให้เย็นแล้วจึงปิดฝาให้สนิท นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบต่อโดยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer รุ่น Lloyd, UK) ใช้หัววัดทรงกระบอก (cylinder probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร กำหนดระยะทางที่กดเท่ากับ 30% ใช้ความเร็วของหัววัดขณะกดเท่ากับ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที

2.2.6 สมบัติด้านความคงตัวต่อการคืนรูปจากการแช่เยือกแข็ง (ดัดแปลงจากวิธีการของ Sae-kang and Supphantharika, 2006)

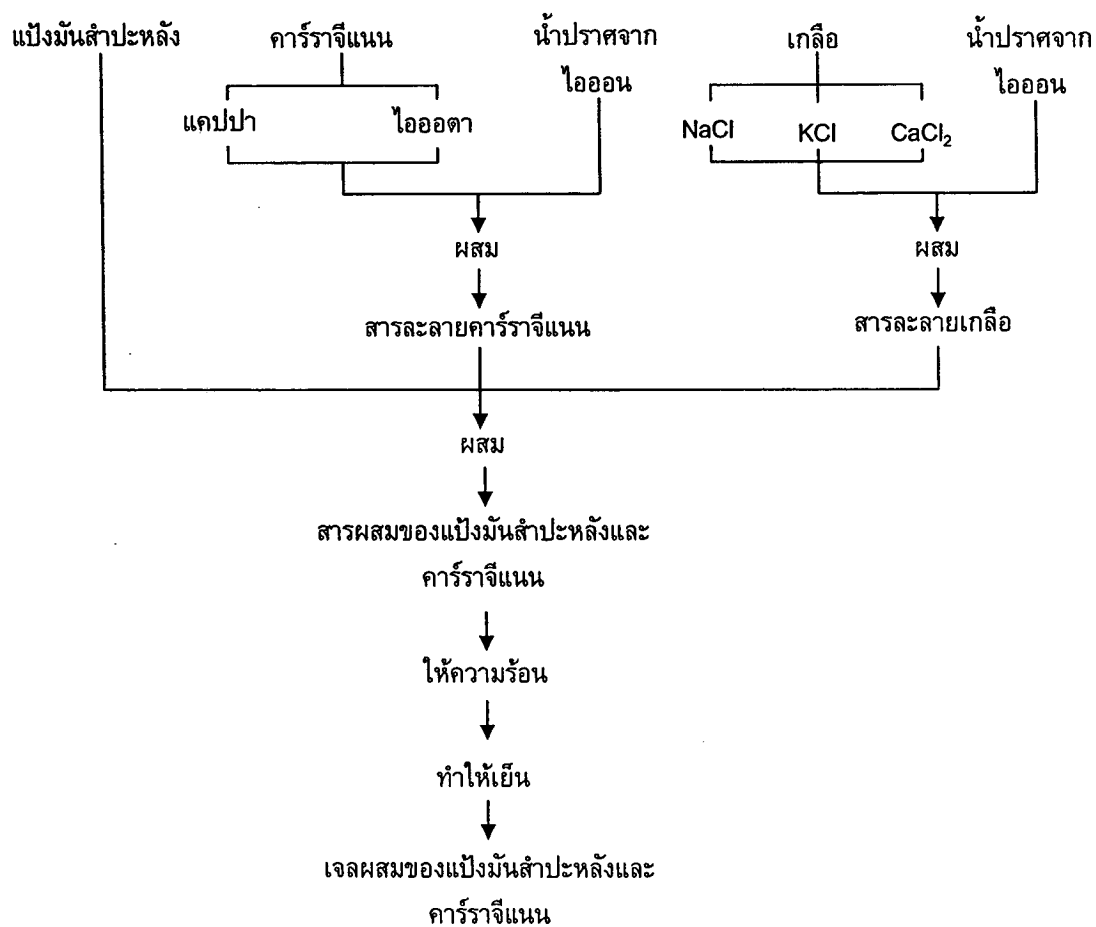
นำคาร์ราจีเนนผสมกับแป้งมันสำปะหลัง เติมน้ำปราศจากไอออน ซึ่งจะได้ความเข้มข้นรวมของระบบเท่ากับ 5 % โดยมีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อคาร์ราจีเนน เท่ากับ 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1 ตามลำดับ จากนั้นนำไปกวนต่อเพื่อผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำแบบควบคุมอุณหภูมิ จนตัวอย่างมีอุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 30 นาที โดยกวนตลอดการให้ความร้อน บรรจุตัวอย่างลงในหลอดสำหรับหมุนเหวี่ยง (หลอดเซนต์ริฟวี่) ขนาด 50 มิลลิลิตร นำตัวอย่างไปเหวี่ยงใส่ฟองอากาศที่ 190 g เป็นเวลา 2 นาที ก่อนนำไปแช่เยือกแข็งโดยใช้ตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 °C เป็นระยะเวลา 22 ชั่วโมง แล้วนำมาทำการคืนรูปจากการแช่เยือกแข็งโดยแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นับเป็นการคืนรูปจากการแช่เยือกแข็งรอบที่ 1 สุ่มตัวอย่างมาทำการบันทึกน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้นก่อนนำไปหมุนเหวี่ยงในเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3500 g เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นแยกส่วนใสตอนบนออก และชั่งน้ำหนักของตัวอย่างที่เหลือเพื่อหาน้ำหนักของส่วนใสที่ถูกแยกออกไป ค่าที่ได้นำไปคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การแยกของน้ำตามสมการข้างล่างนี้ ส่วนหลอดที่เหลือนำไปแช่เยือกแข็งต่อเป็นเวลา 22

ชั่วโมงอีกครั้ง จากนั้นทำการคืนรูปตัวอย่างด้วยวิธีเดิมแล้วแบ่งหลอดมาหมุนเหวี่ยงเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำเช่นเดิม

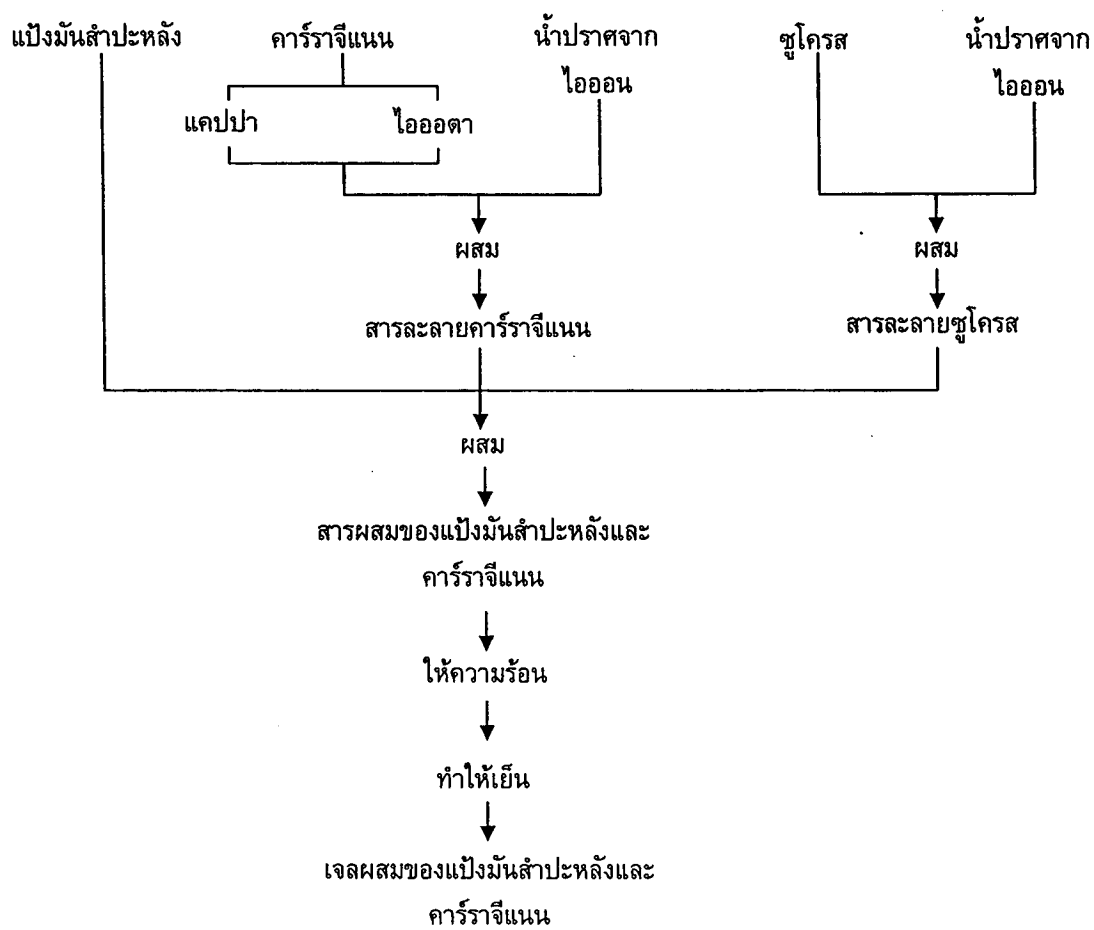
$$\text{เปอร์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำที่ถูกเหวี่ยงแยกออกมา} \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

2.3 การศึกษาผลของเกลือและชูโครสต่อสมบัติทางกายภาพของส่วนผสมแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนน

ทำการเตรียมตัวอย่างสารผสมระหว่างแป้งมันและคาร์ราจีแนนด้วยวิธีการเดียวกับข้อ 2.2 แต่ในส่วนของน้ำปราศจากไอออน ได้แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งสำหรับเตรียมสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนน อีกส่วนทำการเติมส่วนผสม เช่น เกลือ ชูโครส เพื่อละลาย แล้วจึงนำมาผสมกับส่วนที่เหลือ ตามวิธีการในภาพที่ 2-3 ในที่นี้ได้ทำการศึกษาผลของชนิดเกลือ 3 ชนิด ได้แก่ NaCl, KCl และ CaCl_2 ซึ่งเป็นเกลือที่มีประจุต่างกัน โดยมีสมมติฐานว่าจะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนนต่างกัน สำหรับผลของน้ำตาล ได้ทำการศึกษาผลของชูโครส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่ใช้มากในผลิตภัณฑ์อาหาร ชูโครสเป็นน้ำตาลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักโมเลกุลของพอลิแซคคาไรด์ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบได้ ตัวอย่างที่เตรียมได้ นำไปวัดค่าสมบัติต่างๆ ตามวิธีการในข้อ 2.2



ภาพที่ 2 วิธีการเตรียมตัวอย่างน้ำมันสำหรับหลังผสมคาร์ราจีแนนในระบบที่มีเกลือ



ภาพที่ 3 วิธีการเตรียมตัวอย่างน้ำมันสําละหลังผสมคาร์รจีแนนในระบบที่มีซุโครส

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนน

จากการนำตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนนมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณตามวิธีการของ AOAC (1995) เพื่อให้แน่ใจว่าองค์ประกอบของแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าที่ต่ำ ซึ่งแสดงว่าแป้งที่นำมาใช้จัดเป็น starch ไม่ใช่ flour นอกจากนี้สำหรับตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังยังมีการนำไปวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสด้วยวิธี HPSEC โดยการใช้อเอนไซม์ alpha-amylase ตามวิธีการของ Govindasamy และคณะ (1992) สำหรับคาร์ราจีแนนนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุได้แก่ Na, K, Ca และ Mg ด้วยเครื่อง AAS (Flame Technique) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1 ข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังที่ใช้มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าอยู่ในปริมาณที่ต่ำ จากการศึกษาของ Li และ Yeh (2001) อธิบายไว้ว่าแป้งที่เป็น starch นั้นควรมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าต่ำกว่า 0.5, 0.3 และ 0.4% ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้มีค่าต่าง ๆ เหล่านั้นน้อยกว่ามาก แสดงถึงความบริสุทธิ์ของแป้งที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดลองนี้ นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของแป้งมันสำปะหลังยังได้ค่าอยู่ในช่วงเดียวกันกับการศึกษาของ Charles และคณะ (2007) แต่เมื่อพิจารณาปริมาณอะมิโลสพบว่า ตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังในการทดลองนี้มีค่าปริมาณอะมิโลสค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับค่าที่รายงานในการทดลองอื่นซึ่งอยู่ในช่วง 22-25% (Charles et al., 2007) ซึ่งเป็นผลมาจากพันธุ์ของมันสำปะหลังที่ใช้ (Moorthy, 2004) อย่างไรก็ตามค่าที่ได้อยู่ในช่วงเดียวกับที่ Zobel และ Stephen (1995) รายงานไว้ และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของปริดา (2544) ซึ่งเป็นผลวิเคราะห์แป้งมันสำปะหลังที่ผลิตในประเทศไทย เมื่อพิจารณาค่าปริมาณเถ้าของคาร์ราจีแนน พบว่ามีปริมาณมาก ซึ่งอาจเป็นผลจากการรวมวิธีการผลิต โดยตัวอย่างคาร์ราจีแนนที่ใช้ในการทดลองนี้ยังคงมีแร่ธาตุเป็นองค์ประกอบอยู่ ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของทางบริษัทของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนน

องค์ประกอบ	แป้งมันสำปะหลัง	แคปปา-คาร์ราจีแนน	ไอโอตา-คาร์ราจีแนน
โปรตีน (%)	0.09 ± 0.00	0.79 ± 0.19	0.36 ± 0.14
ไขมัน (%)	0.13 ± 0.05	1.50 ± 0.36	0.21 ± 0.14
เถ้า (%)	0.06 ± 0.02	29.55 ± 1.05	19.83 ± 0.01
ความชื้น (%)	11.19 ± 0.05	8.82 ± 0.06	10.68 ± 0.01
อะมิโลส (%)	17.92 ± 0.04	-	-
Na (%)	-	0.52	3.07
K (%)	-	9.25	4.40
Ca (%)	-	0.91	0.07
Mg (%)	-	0.80	0.27

หมายเหตุ – หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

2. ผลของชนิดและความเข้มข้นของคาร์ราจีแนนต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง

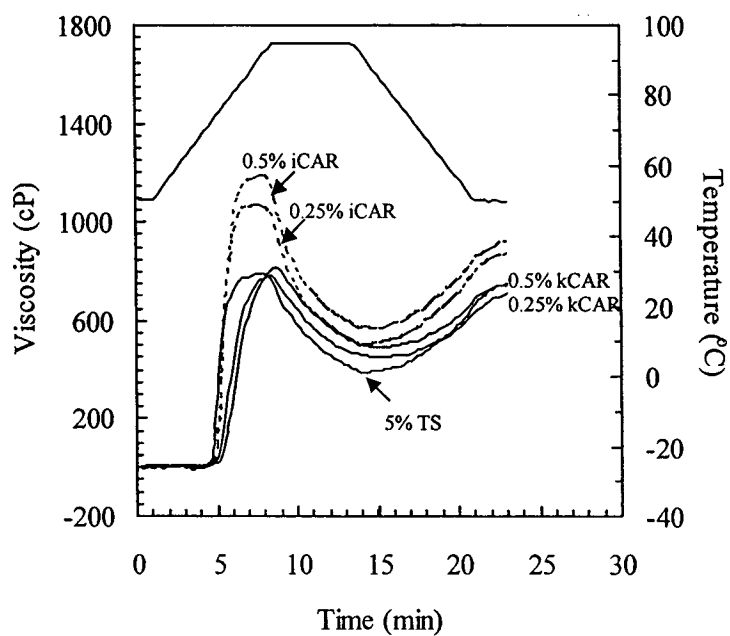
เมื่อเตรียมตัวอย่างสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแคปปา-คาร์ราจีแนนหรือไอโอตา-คาร์ราจีแนน โดยให้มีปริมาณพอลิแซคคาไรด์ทั้งหมดเท่ากับ 5% ในอัตราส่วนที่ต่างกัน (แป้งมันสำปะหลังต่อคาร์ราจีแนน เท่ากับ 10/0, 9.5/0.5, 9/1) แล้วนำของผสมที่ได้ไปวัดสมบัติในด้านต่าง ๆ ได้ผลการทดลองดังนี้

2.1 สมบัติเพสติง (Pasting properties)

ภาพที่ 4 แสดงสมบัติเพสติงของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนน จากการทดลอง พบว่า สมบัติเพสติงของแป้งมันสำปะหลังมีการเปลี่ยนแปลงอันเป็นผลจากการเติมคาร์ราจีแนน โดยปกติเมื่อนำสารละลายคาร์ราจีแนนเพียงอย่างเดียวมาทำการวัดสมบัติเพสติงจะไม่ปรากฏฟิคหรือการเปลี่ยนแปลงความหนืด (ไม่ได้แสดงข้อมูล) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมบัติเพสติงนี้สัมพันธ์กับการเกิดเจลลาติในเซชันของแป้งมันสำปะหลัง โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เป็น onset temperature ของกระบวนการเจลลาติในเซชันของแป้ง เช่น ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50 °C นั้น เม็ดแป้งมันสำปะหลังจะยังคงกระจายตัวอยู่ในน้ำ (ไม่ได้ละลาย) ความหนืดในช่วงอุณหภูมินี้จึงยังมีค่าต่ำ แต่เมื่อมีการให้ความร้อนที่สูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติในเซชันของแป้งโดยมีปริมาณน้ำที่มาก

เพียงพอ เม็ดแป้งจะดูดซับน้ำไว้และพองตัวขึ้นจนมีขนาดใหญ่กว่าขนาดอนุภาคเริ่มต้นหลายเท่า ในกระบวนการนี้จะเป็นกระบวนการแบบผันกลับไม่ได้ (irreversible process) ที่เรียกว่า กระบวนการเจลาติไนเซชัน ความหนืดของตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นในขณะที่มีการกวนตัวอย่างไปด้วย อุณหภูมิที่ความหนืดของตัวอย่างเริ่มต้นสูงขึ้นเรียกว่า อุณหภูมิในการเกิดเพสท์ หรือ Pasting temperature ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เม็ดแป้งต้องการเพื่อให้เกิดการพองตัว ซึ่งสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่จำเป็นต้องใช้ในการทำให้ตัวอย่างสุกในกระบวนการแปรรูปอาหารด้วย (Newport Scientific, 1995) ในการทดลองนี้ พบว่า อุณหภูมิในการเกิดเพสท์ของแป้งมันสำปะหลังมีค่าประมาณ 71.6°C และเมื่อเติมคาร์ราจีแนนลงไปมีผลให้อุณหภูมิในการเกิดเพสท์เพิ่มสูงขึ้น โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคาร์ราจีแนน อุณหภูมิในการเกิดเพสท์จะเพิ่มขึ้นตามลำดับ ในขณะที่เม็ดแป้งพองตัวขึ้น ความหนืดจะเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและมีการกวนอย่างต่อเนื่องภายในภาชนะ เม็ดแป้งที่พองตัวเต็มที่จะถูกทำลายโดยแรงเฉือนทำให้โมเลกุลอะมิโลสหลุดออกมา ณ จุดนี้จะเกิดพีคขึ้น เรียกว่า ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของเม็ดแป้งที่ใช้ในการจับตัวกับน้ำ และแรงที่ต้องใช้ในการกวนหรือผสมในอาหาร (Newport Scientific, 1995) เกิดที่จุดสมดุลระหว่างการพองตัวเมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้นกับการถูกทำลายของเม็ดแป้งภายใต้สภาวะที่มีการกวน จากการทดลองพบกว่าค่าความหนืดสูงสุดของแป้งมันสำปะหลังมีค่าประมาณ 790.7 cP การเติมคาร์ราจีแนนทั้งสองชนิดมีผลทำให้ความหนืดสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ เมื่อความเข้มข้นของคาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดของตัวอย่างเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อระบบถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95°C ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง พร้อมกับตัวอย่างมีการกวนผสมไปด้วย จะทำให้เม็ดแป้งมีการแตกตัวมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้มีอะมิโลสกระจายตัวอยู่ในสารละลายผสม การเติมคาร์ราจีแนนทำให้ค่า breakdown ลดลง แสดงถึงการเพิ่มความสามารถในการทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (ความร้อน) และแรงเฉือน (การกวน) ของตัวอย่างซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหาร จากนั้นสารผสมจะถูกทำให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิ 50°C ส่วนของอะมิโลสจะจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างใหม่ในลักษณะโครงร่างสามมิติ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นหรือเกิดลักษณะเจลขึ้น ค่าความหนืด ณ จุดนี้แสดงด้วยค่า final viscosity การเติมคาร์ราจีแนนมีผลต่อค่าความหนืดสุดท้ายนี้ โดยที่ไฮดรอกซีคาร์ราจีแนนมีผลต่อค่าความหนืดสุดท้ายของแป้งมันสำปะหลังมากกว่าแคลปา-คาร์ราจีแนน ในช่วงนี้เมื่อนำค่าความหนืดสูงสุดหักลบด้วยค่าความหนืดสุดท้ายจะได้ค่า setback ซึ่งแสดงเกี่ยวกับการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง (ชนิด short term) หากมีค่าสูง แสดงว่าจะเกิดรีโทรเกรเดชันได้มาก และยังบ่งชี้เกี่ยวกับความคงตัวของเจลแป้งอีกด้วย ทั้งนี้ การเติมคาร์ราจีแนนทำให้ค่าดังกล่าวลดต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมคาร์ราจีแนน เช่น การเติมแคลปา-คาร์ราจีแนน ทำให้ค่าลดลงจาก 368.3 cP เป็น 262 cP แสดงว่าการเติมคาร์ราจีแนนอาจช่วยลดอัตราการแยกตัวของน้ำ โดยเพิ่มความคงตัวของเจลได้ ทั้งนี้ Copeland และคณะ (2009) ได้รายงานว่าเวลาในการเกิดความ

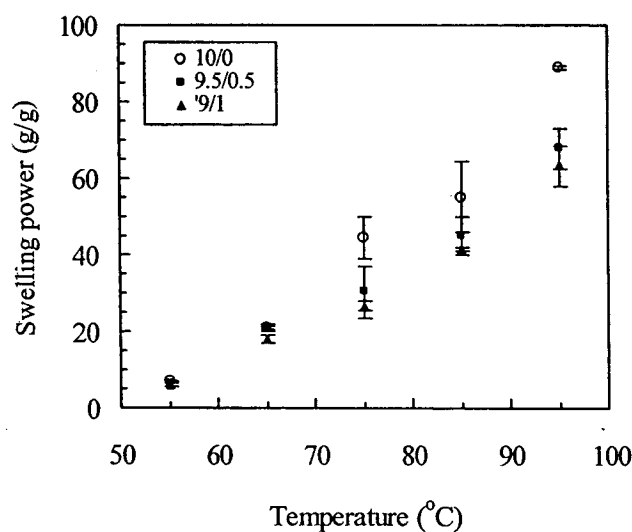
หนืดสูงสุดและค่าความหนืดสูงสุดเป็นตัวบ่งชี้เกี่ยวกับความสามารถในการจับตัวกับน้ำของเม็ดแป้ง รวมทั้งความยากง่ายในการจัดเรียงตัวของเม็ดแป้ง นอกจากนี้ค่า setback ที่สูงยังสัมพันธ์กับปริมาณอะมิโลสในเม็ดแป้งอีกด้วย



ภาพที่ 4 สมบัติเพสติงของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (TS/CAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์เท่ากับ 5%

2.2 ค่ากำลังการพองตัว (Swelling power)

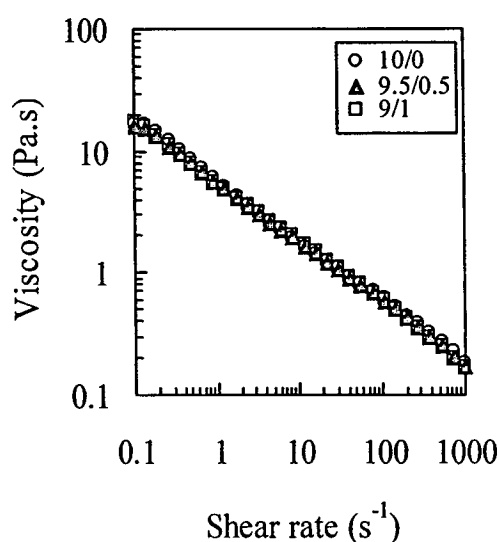
คาร์ราจีแนนมีผลต่อค่ากำลังการพองตัวของแป้งมันสำปะหลังดังแสดงในภาพที่ 5 (ในที่นี้แสดงผลเฉพาะแคปปา-คาร์ราจีแนน) จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ให้แก่ตัวอย่างจาก 55-95 °C ทำให้ค่ากำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลของ Li และ Yeh (2001) และงานวิจัยของ Chaisawang และ Suphantharika (2006) อธิบายได้ว่า เมื่อเม็ดแป้งถูกทำให้เป็นเพสต์ในน้ำร้อน เม็ดแป้งแต่ละเม็ดจะพองตัวขึ้น และเป็นสัดส่วนระหว่างเม็ดแป้งที่ละลายอยู่ในสารละลาย ปริมาณการพองตัวและปริมาณสารที่ละลายได้ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งและการดัดแปร (Schoch, 1964) ในการศึกษาพบว่า การพองตัวของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแคปปา-คาร์ราจีแนนมีค่าต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวซึ่งอาจเป็นผลจากการที่เม็ดแป้งไม่สามารถพองตัวได้เต็มที่ในระบบที่มีสารละลายของคาร์ราจีแนนอยู่ ทั้งนี้ Chaisawang และ Suphantharika (2006) ได้รายงานผลค่ากำลังการพองตัวของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแซนแทนกัม ซึ่งค่ากำลังการพองตัวของสารผสมนั้นมีค่าต่ำกว่าค่ากำลังการพองตัวของแป้งเพียงอย่างเดียวเช่นกัน



ภาพที่ 5 ค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆ ของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแคปปา-คาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (TS/kCAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์เท่ากับ 1%

2.3 ความหนืด (Steady shear viscosity)

จากการเตรียมตัวอย่างแป้งผสมคาร์ราจีแน่นที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (TS/CAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ที่มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์เท่ากับ 5% ผสมกับน้ำปราศจากไอออนให้ความร้อน (จากเครื่อง RVA) จะได้ตัวอย่างที่เจลาติไนซ์แล้วมาเหยียงที่แรง 190 g เป็นเวลา 2 นาที เพื่อกำจัดฟองอากาศ นำตัวอย่างมาวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ โดยใช้หัววัดชนิด cone and plate ทำการวัดค่าความหนืดปรากฏที่ได้ทำการวัดโดยการเพิ่มค่าอัตราเฉือน (shear rate) จาก 0.1 ถึง 1000 s^{-1} ในการทดลองนี้ได้ทำการวัดค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 50 °C เพื่อป้องกันการเกิดเจลของคาร์ราจีแน่น พบว่า ตัวอย่างมีพฤติกรรมการไหลแบบ shear-thinning นั่นคือ เมื่อเพิ่มอัตราเฉือน ค่าความหนืดจะลดต่ำลง ทั้งนี้ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแคปปา-คาร์ราจีแน่น ผลที่ได้แสดงว่าแคปปา-คาร์ราจีแน่นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังในสภาวะการวัดค่าดังกล่าว (ภาพที่ 6)



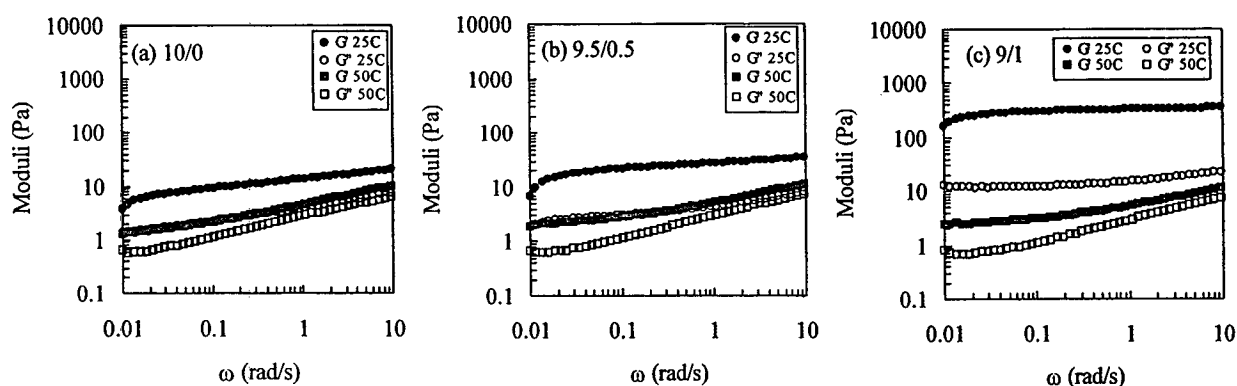
ภาพที่ 6 ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 50°C ของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแคปปา-คาร์ราจีแน่นที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (TS/kCAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ที่มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์เท่ากับ 5%

2.2.4 สมบัติวิสโคอีลาสติก (Dynamic viscoelastic properties)

จากการเตรียมตัวอย่างแบ่งผสมคาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (TS/CAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ที่มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์เท่ากับ 5% ผสมกับน้ำปราศจากไอออนให้ความร้อน (จากเครื่อง RVA) จะได้ตัวอย่างที่เจลาติไนซ์แล้วมาเหวี่ยงที่แรง 190 g เป็นเวลา 2 นาที เพื่อกำจัดฟองอากาศ นำตัวอย่างมาวัดสมบัติวิสโคอีลาสติกด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ โดยใช้หัววัดชนิด cone and plate (50 mm diameter, 1° cone angle และ 0.05 mm gap) ก่อนทำการวัดตัวอย่างจะถูกรักษาอุณหภูมิที่ 50°C เพื่อป้องกันการเกิดเจลของคาร์ราจีแนน ทำการวัดการเปลี่ยนแปลงค่า dynamic moduli (storage modulus และ loss modulus) ที่ความถี่ต่างๆ ในช่วง 0.01-10 rad/s ที่อุณหภูมิ 2 ระดับคือ 25 และ 50°C เพื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อสมบัติวิสโคอีลาสติกของตัวอย่าง ในการวัดค่านี้ได้กำหนดให้ค่าแรงที่ใช้คงที่ (1% strain) ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วง linear viscoelastic region ที่ได้จากการศึกษาเบื้องต้นด้วยวิธีการทดลอง strain sweep พบว่าสำหรับตัวอย่างสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแคปปา-คาร์ราจีแนนมีสมบัติวิสโคอีลาสติกดังแสดงในภาพที่ 7 โดยอุณหภูมิที่เลือกศึกษาเป็นเพราะที่อุณหภูมิ 25°C แคปปา-คาร์ราจีแนนสามารถเกิดเจลได้เนื่องเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่า gelation temperature ของแคปปา-คาร์ราจีแนนซึ่งอาจส่งผลต่อสมบัติวิสโคอีลาสติกของสารผสม ในขณะที่อุณหภูมิ 50°C เป็นอุณหภูมิที่สูงมากพอที่จะป้องกันการเกิดเจลของแคปปา-คาร์ราจีแนน

โดยทั่วไป ตัวอย่างทุกตัวอย่างแสดงลักษณะพฤติกรรมของเจลเนื่องจากมีค่า G' สูงกว่า G'' ตลอดช่วงความถี่ที่ทำการศึกษา (Techawipharat et al., 2008) ตัวอย่างที่ทำการวัดที่อุณหภูมิ 25°C จะแสดงพฤติกรรมดังกล่าว และค่า G' และ G'' ของตัวอย่างที่ทำการวัดที่อุณหภูมิ 25°C นั้นมีค่าสูงกว่าค่า G' และ G'' ของตัวอย่างที่ทำการวัดที่อุณหภูมิ 50°C อีกด้วย แสดงถึงผลของอุณหภูมิต่อสมบัติวิสโคอีลาสติกของตัวอย่างสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแคปปา-คาร์ราจีแนน โดยที่อุณหภูมิ 25°C การเติมแคปปา-คาร์ราจีแนนมีผลให้ค่า G' และ G'' มีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่มีแป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวอันเป็นผลจากแคปปา-คาร์ราจีแนนเป็นสารที่ช่วยในการเกิดเจลได้ ทั้งนี้มีรายงานว่าแคปปา-คาร์ราจีแนนเป็นสารช่วยทำให้เกิดเจล ทำให้โครงสร้างของแป้งข้าวโพดที่เจลาติไนซ์อ่อนตัว ส่งผลต่อการจัดเรียงโครงสร้างและอันตรกิริยาของเม็ดแป้ง (Eidam et al., 1995; Techawipharat et al., 2008) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาสมบัติวิสโคอีลาสติกของตัวอย่างที่อุณหภูมิ 50°C พบว่าการเติมแคปปา-คาร์ราจีแนนไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงสมบัติวิสโคอีลาสติกของแป้งมันสำปะหลัง ทั้งนี้อาจเป็นผลจากอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิในการเกิด

เจลของแคปลา-คาร์ราจีแนนซึ่งทำให้สารผสมยังคงลักษณะเป็นของเหลวอยู่ G' และ G'' จึงไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิม



ภาพที่ 7 ผลของแคปลา-คาร์ราจีแนนต่อค่า G' และ G'' ของแป้งมันสำปะหลังที่เจลาติไนซ์แล้วที่อัตราส่วนต่างๆ กัน (TS/kCAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์เท่ากับ 5% และทำการวัดค่าที่อุณหภูมิ 25 และ 50 °C ที่ 1% strain

2.2.5 สมบัติด้านเนื้อสัมผัส

จากเตรียมตัวอย่างสารผสมแป้งมันสำปะหลังผสมคาร์ราจีแนนโดยการนำคาร์ราจีแนนผสมกับสารแขวนลอยแป้งมันสำปะหลัง เติมน้ำปราศจากไอออน ซึ่งจะได้ความเข้มข้นรวมของระบบเท่ากับ 5% โดยมีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อคาร์ราจีแนน เท่ากับ 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1 ตามลำดับ ให้ความร้อนแล้วทำให้เย็น เทใส่พิมพ์ เมื่อนำตัวอย่างไปวัดสมบัติด้านเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสและใช้หัววัดทรงกระบอกในการกด พบว่า ในงานวิจัยนี้ทำการกดตัวอย่างให้มีระดับการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation level) 30 % จากความสูงเดิมของตัวอย่าง แล้วรายงานผลออกมาเป็นค่าต่างๆ ได้แก่ ค่าความแข็งของตัวอย่าง ซึ่งค่าความแข็ง (hardness) ที่ได้หมายถึง ค่าแรงสูงสุดจากกราฟที่เกิดขึ้นจากการกดตัวอย่างครั้งที่ 1 ที่ระยะทาง 30 % ของความสูงตัวอย่าง ค่า hardness ที่วัดได้มีหน่วยเป็นนิวตัน โดยสัมพันธ์กับความแข็งของตัวอย่างที่ด้านแรงกด, ค่า cohesiveness (การรวมตัวกันภายในของตัวอย่าง), springiness (การกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิม), gumminess (ระดับความเป็นกาวยางหรือแปะเปี้ยก) และ adhesiveness (การเกาะติดผิว) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่า hardness (แรงที่ใช้มีหน่วยเป็นนิวตันในการทำให้ตัวอย่างเสียรูป)

ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 9/1 มีความแตกต่างกับอัตราส่วนที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลที่ปรากฏมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากผลความหนืดสุดท้าย (final viscosity) จากการทดสอบสมบัติเพสติงโดยใช้เครื่อง RVA โดยแสดงให้เห็นว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังและแคปปา-คาร์ราจีแนนในอัตราส่วน 9/1 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ใช้ปริมาณแคปปา-คาร์ราจีแนนมากที่สุด ส่งผลให้ตัวอย่างมีความแข็งมากที่สุด ในขณะที่การใช้แป้งมันสำปะหลังและแคปปา-คาร์ราจีแนนในอัตราส่วน 9.5/0.5 ไม่ทำให้ตัวอย่างมีความแข็งที่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ได้เติมแคปปา-คาร์ราจีแนนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งค่า hardness ที่สูงขึ้น เกิดจากลักษณะการเกิดเจลของแคปปา-คาร์ราจีแนนที่ให้เจลที่มีความแข็ง ช่วยเสริมทำให้เนื้อสัมผัสของตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังเปลี่ยนแปลงไป ผลต่างระหว่างค่า hardness 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่าสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแคปปา-คาร์ราจีแนนมีการถูกทำลายโครงสร้างภายในจากการกวดครั้งที่ 1 ทำให้การกวดครั้งที่ 2 ใช้แรงน้อยกว่า แสดงถึงตัวอย่างที่มีลักษณะที่แข็งเปราะยืดหยุ่นน้อย และเกิดการคืนตัวน้อยกว่า ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลของไอออลตา-คาร์ราจีแนนต่อค่า hardness ของตัวอย่าง พบว่าการเติมไอออลตา-คาร์ราจีแนนทำให้ตัวอย่างมีสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป แต่เป็นไปในทางกลับกันกับแคปปา-คาร์ราจีแนน เนื่องจากไอออลตา-คาร์ราจีแนนทำให้ตัวอย่างมีลักษณะนิ่มขึ้น (ค่า hardness น้อยลง) นั่นเอง

เมื่อพิจารณาค่า cohesiveness (การรวมตัวกันภายในของตัวอย่าง) เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงของพันธะภายในโครงสร้างของตัวอย่าง จากตารางที่ 2 พบว่าตัวอย่างที่ทำการเติมแคปปา-คาร์ราจีแนนที่ความเข้มข้นสูงขึ้นส่งผลต่อค่า cohesiveness ให้มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยทำให้ได้ตัวอย่างที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งแน่นกว่าอัตราส่วนอื่นๆ ในขณะที่ตัวอย่างที่เติมไอออลตา-คาร์ราจีแนนไม่แสดงลักษณะดังกล่าว แต่เมื่อพิจารณาค่า springiness (การกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิมเมื่อถอนแรง) ค่า springiness แสดงถึง elasticity ของตัวอย่าง จากตารางที่ 2 พบว่า ค่า springiness ของตัวอย่างที่อัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 9/1 มีค่าสูงที่สุด ตามด้วยอัตราส่วน 10/0 และ 9.5/0.5 แสดงให้เห็นว่าการเติมแคปปา-คาร์ราจีแนนในอัตราส่วน 9/1 ตัวอย่างจะมีการคืนตัวกลับได้ดีที่สุด

ขณะที่ค่า gumminess (ระดับความเป็นกาวยางหรือแป็งเปี้ยก) แสดงถึงแรงที่ใช้ในการทำให้ตัวอย่างแตกและอยู่ในสภาพที่พร้อมจะกลืน จากตารางที่ 2 พบว่าค่า gumminess ของตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังผสมแคปปา-คาร์ราจีแนนที่อัตราส่วน 9/1 มีค่าสูงที่สุดและแตกต่างกับอัตราส่วนที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อมีอัตราส่วนของแคปปา-คาร์ราจีแนนที่เพิ่มขึ้นทำให้ตัวอย่างมีลักษณะที่ต้องใช้แรงมากขึ้นในการทำให้ตัวอย่างอยู่ในสภาพที่เหมาะสมแก่การกลืน ซึ่ง

สอดคล้องกับค่า hardness สำหรับค่า adhesiveness (การเกาะติดผิว) แสดงถึงลักษณะของตัวอย่างที่มีความเหนียวและต้องใช้แรงในการถอนหัววัดออกจากตัวอย่าง จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อแคปปา-คาร์ราจีแนนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า adhesiveness เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งผลที่ปรากฏมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากค่า hardness ทั้งนี้ ตัวอย่างที่มีไออوتا-คาร์ราจีแนน ไม่สามารถวัดค่า cohesiveness, gumminess และ adhesiveness ได้

ตารางที่ 2 ผลของคาร์ราจีแนนต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนแป้งมันต่อคาร์ราจีแนนระดับต่างๆ กัน โดยมีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ 5%

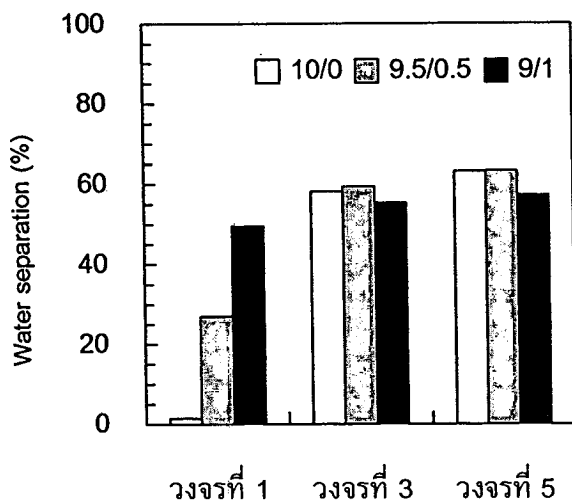
ชนิด คาร์รา จีแนน	อัตราส่วน (TS/CAR)	สมบัติด้านเนื้อสัมผัส					
		Hardness1 (N)	Hardness2 (N)	Cohesiveness (-)	Springiness index (-)	Gumminess (N)	Adhesiveness (N)
kCAR	10/0	0.44 ± 0.13	0.42 ± 0.08	0.12 ± 0.06	0.77 ± 0.22	0.08 ± 0.03	0.00 ± 0.00
	9.5/0.5	0.48 ± 0.11	0.35 ± 0.07	0.16 ± 0.09	0.68 ± 0.13	0.06 ± 0.03	0.00 ± 0.00
	9/1	1.64 ± 0.34	1.07 ± 0.23	0.32 ± 0.06	1.26 ± 0.35	0.54 ± 0.18	0.00 ± 0.00
iCAR	10/0	0.44 ± 0.13	0.42 ± 0.08	0.12 ± 0.06	0.77 ± 0.22	0.08 ± 0.03	0.00 ± 0.00
	9.5/0.5	0.14 ± 0.02	0.15 ± 0.02	1.02 ± 0.47	0.62 ± 0.21	0.33 ± 0.07	0.00 ± 0.00
	9/1	0.11 ± 0.04	0.11 ± 0.04	2.13 ± 1.65	0.65 ± 0.20	0.32 ± 0.14	0.00 ± 0.00

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแนวดิ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ค่าทางสถิติเปรียบเทียบเฉพาะผลของอัตราส่วนที่ใช้คาร์ราจีแนนชนิดเดียวกัน)

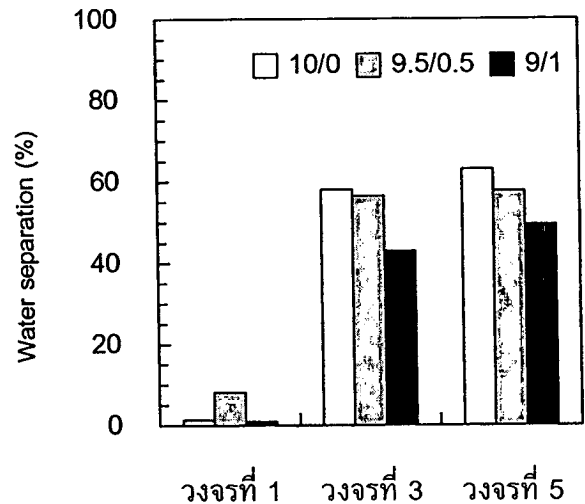
2.2.6 สมบัติด้านความคงตัวต่อการคืนรูปจากการแช่เยือกแข็ง

จากการเตรียมตัวอย่างโดยนำคาร์ราจีแนนผสมกับแป้งมันสำปะหลัง เดิม น้ำปราศจากไอออน ซึ่งจะได้ความเข้มข้นรวมของระบบเท่ากับ 5 % โดยมีอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อคาร์ราจีแนน เท่ากับ 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1 ตามลำดับ นำไปให้ความร้อนเพื่อให้ตัวอย่างแป้งเกิดการเจลาติไนซ์ แล้วบรรจุตัวอย่างในหลอดเซนตริฟิวจ์ นำตัวอย่างไปแช่เยือกแข็งโดยใช้ตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -20 °C เป็นระยะเวลา 22 ชั่วโมง แล้วนำมาทำการคืนรูปจากการแช่เยือกแข็ง โดยแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า คาร์ราจีแนนมีผลต่อความคงตัวต่อการคืนรูปจากการแช่เยือกแข็ง (ภาพที่ 8) ทั้งนี้เมื่อวงจรการแช่แข็งและการละลายเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่แยกตัวออกมาจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการแช่แข็งทำให้เจลตัวอย่างเกิดการสร้างผลึก

น้ำแข็ง ความเข้มข้นของตัวอย่างในส่วนที่ไม่เกิดผลึกเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเกิดรีโทรเกรเดชันจึงเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนวงจรของการแช่แข็งและการละลายเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการแยกเฟสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลึกน้ำแข็งใหญ่ขึ้น โครงสร้างร่างแหของแข็งที่เรียงตัวกันแน่นจะทำให้น้ำแยกตัวออกมาเมื่อละลายได้ง่าย สำหรับในวงจรของการแช่แข็งและการละลายวงจรแรก การเติมไอออตา-คาร์ราจีแนนในตัวอย่างให้อัตราส่วน 9/1 มีผลให้ปริมาณน้ำที่แยกตัวออกมาลดลงมา แต่ในตัวอย่างที่มีแคปทา-คาร์ราจีแนนกลับมีปริมาณน้ำที่แยกตัวออกมามากกว่า อาจเป็นเพราะสมบัติของคาร์ราจีแนนเอง



(a) kCAR



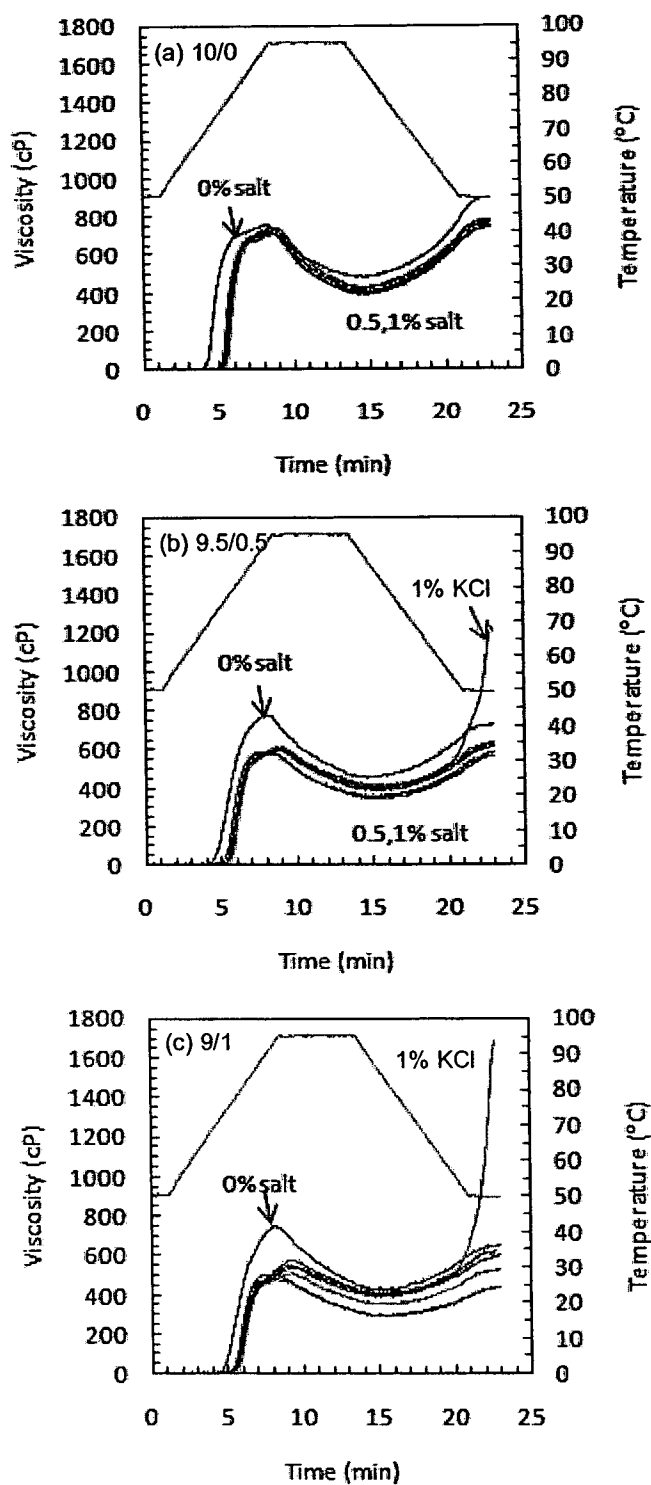
(b) iCAR

ภาพที่ 8 ผลของคาร์ราจีแนนต่อปริมาณการแยกตัวของน้ำในสารผสมของแป้งมันสำปะหลังที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อคาร์ราจีแนนเท่ากับ 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1 ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์เท่ากับ 5%

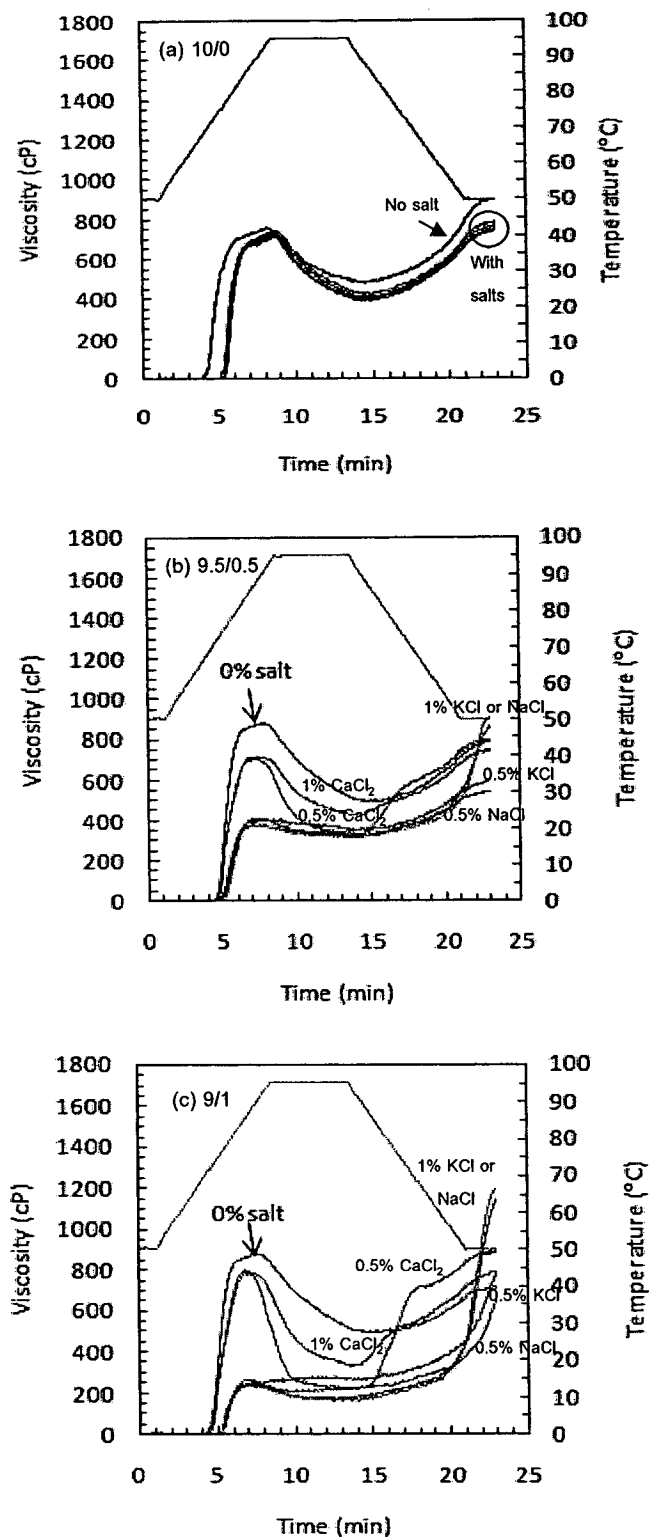
2.3 ผลของเกลือและซูโครสต่อสมบัติทางกายภาพของส่วนผสมแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนน

2.3.1 ผลของเกลือ

เกลือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอาหารโดยมีบทบาทในการปรับรสชาติให้อาหารมีรสเค็ม ประโยชน์ของเกลือมีมากมาย เช่น ใช้ในการถนอมอาหารโดยการดองเค็ม นอกจากนี้เกลือยังมีบทบาทต่อสมบัติบางประการในผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบ มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับผลของเกลือในระบบแป้งต่างๆ เช่น แป้งข้าวโพด (Sudkakar et al., 1995; Funami et al., 2008) แป้งข้าวสาลี (Mandala et al., 2004) และแป้งข้าวเจ้า (Viturawong et al., 2008) ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาในระบบสารผสมของแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนนที่อัตราส่วน 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1 ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์เท่ากับ 5% และใช้เกลือ 3 ชนิด ได้แก่ NaCl, KCl และ CaCl_2 ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน 3 ระดับคือ 0, 0.5 และ 1% พบว่า ชนิดและความเข้มข้นของเกลือมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนน โดยเฉพาะแคลป้า-คาร์ราจีแนน เนื่องจาก K^+ จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเจลแคลป้า-คาร์ราจีแนนได้ ลักษณะกราฟที่ได้จากการวัดค่าตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังผสมคาร์ราจีแนนทั้งสองชนิดในระบบที่มีเกลือชนิดต่างๆ แสดงในภาพที่ 9-10 จากภาพจะเห็นว่า KCl จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเพสติงของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแคลป้า-คาร์ราจีแนนมากกว่าเกลือชนิดอื่น ในขณะที่ระบบที่มีไอโอดา-คาร์ราจีแนน ทั้ง KCl และ CaCl_2 จะมีบทบาทมากกว่า

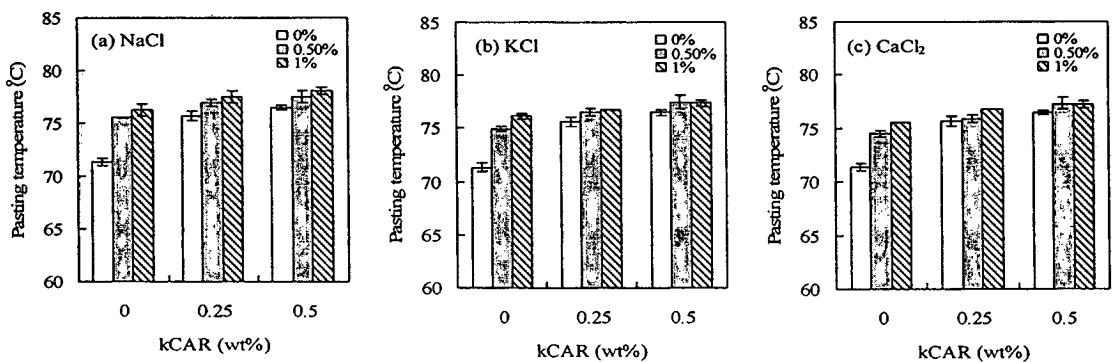


ภาพที่ 9 RVA profiles ของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแคปปา-คาร์ราจีแนนที่อัตราส่วน 10/0(a), 9.5/0.5(b) และ 9/1(c) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5% ที่มีเกลือชนิดต่างๆ ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 และ 1%

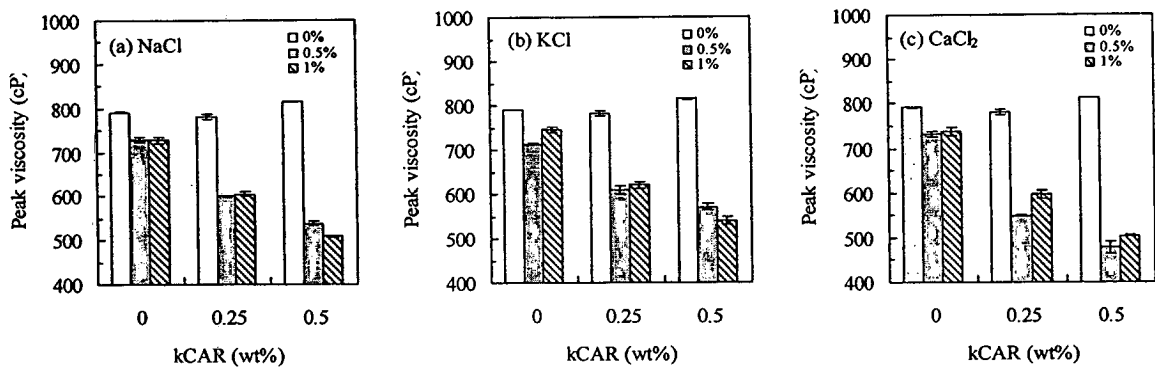


ภาพที่ 10 RVA profiles ของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับไอออลตา-คาร์ราจีแนนที่อัตราส่วน 10/0(a), 9.5/0.5(b) และ 9/1(c) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 5% ที่มีเกลือชนิดต่างๆ ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 และ 1%

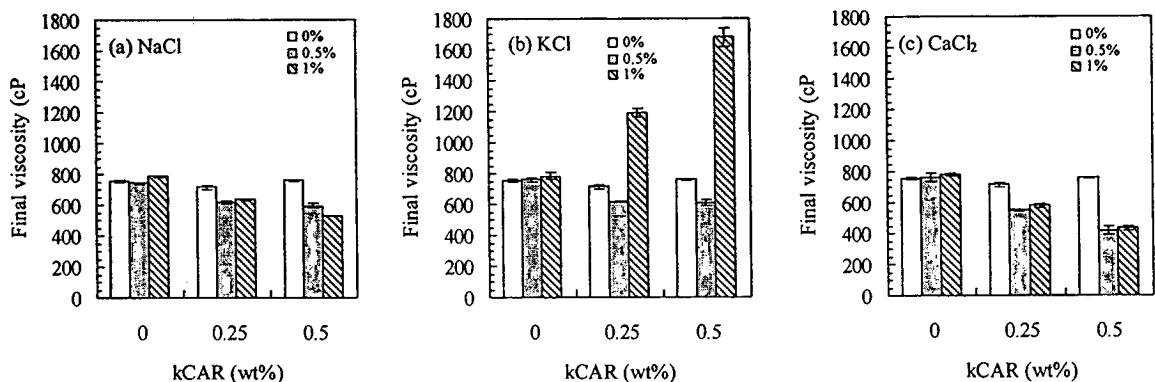
เมื่อเลือกพิจารณาสมบัติเพสติงบางประการของแป้งมันสำปะหลังผสมแคปปา-คาร์ราจีแนน (ภาพที่ 11-13) พบว่า การเติมเกลือมีผลให้อุณหภูมิในการเกิดเพสต์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความหนืดสูงสุดมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่ามีอันตรกิริยาระหว่างสารผสมของแป้งและไฮโดรคอลลอยด์ และเกลือ การเติม NaCl และ CaCl₂ มีผลให้ความหนืดสุดท้ายของตัวอย่างลดลง ในขณะที่การเติม KCl มีผลให้ความหนืดสุดท้ายของตัวอย่างมีค่าสูงขึ้น Piculell (1995) ได้รายงานผลของเกลือต่อสมบัติของแคปปา-คาร์ราจีแนนว่า การเติมเกลือมีผลต่อสมบัติส่วนใหญ่ของแคปปา-คาร์ราจีแนนอันเป็นผลจากสภาวะแวดล้อมที่มีประจุ ซึ่งไม่เพียงแต่จะขึ้นกับค่าวาเลนซ์แต่ยังขึ้นกับชนิดไอออนด้วย อันตรกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นอาจเป็นผลจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic attraction) ระหว่างประจุที่ตรงข้ามกันกับโมเลกุลของคาร์ราจีแนน



ภาพที่ 11 อุณหภูมิในการเกิดเพสต์ (Pasting temperature) ของตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังผสมแคปปา-คาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่างๆ (TS/kCAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์เท่ากับ 5% ในระบบที่มีเกลือ (a) NaCl, (b) KCl และ (c) CaCl₂

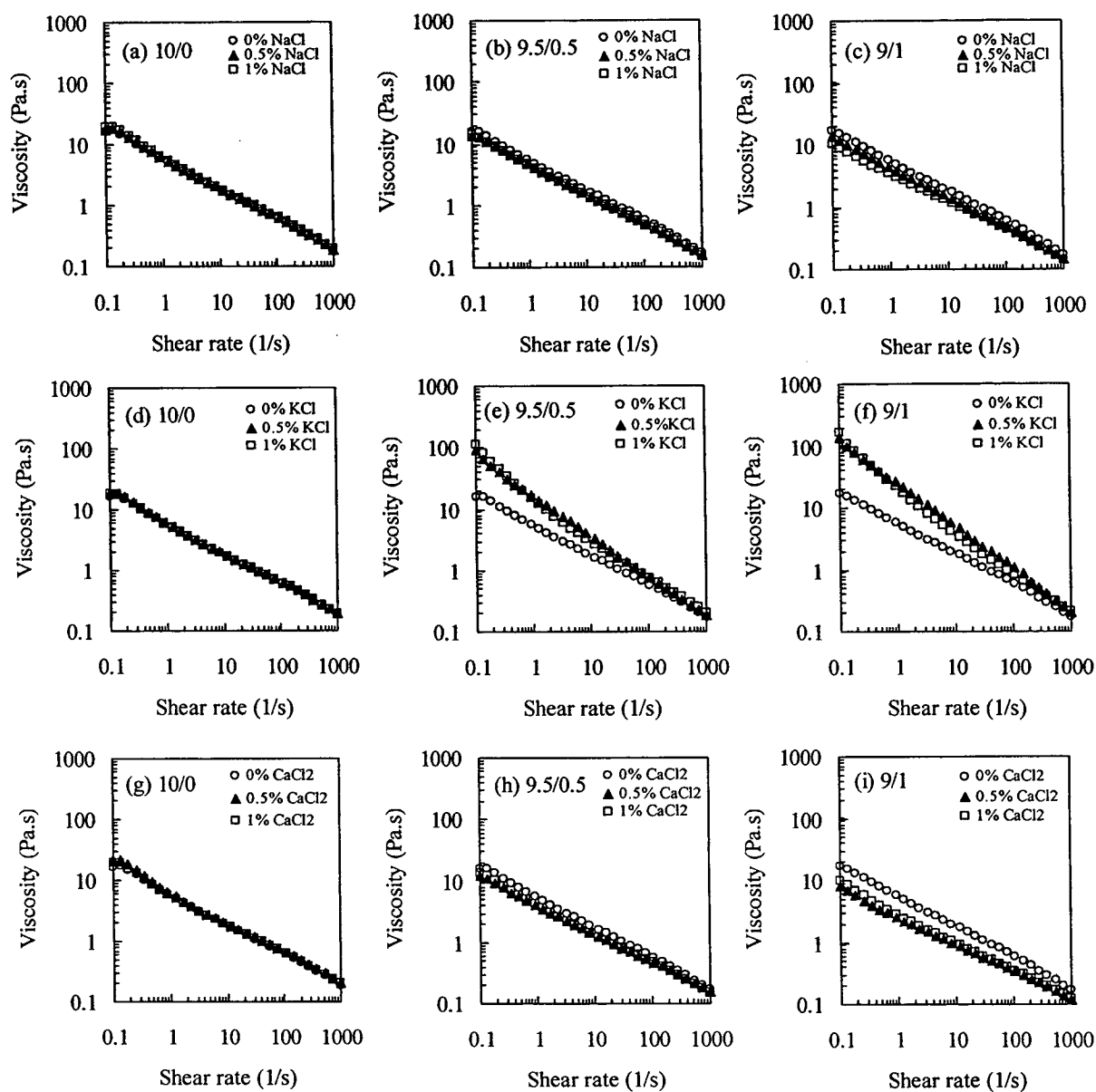


ภาพที่ 12 ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ของตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังผสมแคปไซซิน-คาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่างๆ (TS/kCAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์เท่ากับ 5% ในระบบที่มีเกลือ (a) NaCl, (b) KCl และ (c) CaCl₂



ภาพที่ 13 ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) ของตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังผสมแคปไซซิน-คาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่างๆ (TS/kCAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ที่ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์เท่ากับ 5% ในระบบที่มีเกลือ (a) NaCl, (b) KCl และ (c) CaCl₂

เมื่อพิจารณาสมบัติด้านความหนืดของแป้งมันสำปะหลังผสมแคปไซซิน-คาร์ราจีแนน (ภาพที่ 14) พบว่า ตัวอย่างทุกตัวอย่างยังแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ shear thinning ทั้งนี้ การเติม NaCl หรือ CaCl₂ มีผลให้ค่าความหนืดของตัวอย่างลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีเกลือ แต่การเติม KCl มีผลให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลค่าความหนืดสุดท้ายที่ได้จากการศึกษาสมบัติเพสติงของตัวอย่าง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากชนิดและความเข้มข้นของเกลือที่ใช้



ภาพที่ 14 ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราเจือปนต่อค่าความหนืดของตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังผสม แคปซูลคาร์ราจีแนที่อัตราส่วนต่างๆ (TS/kCAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์เท่ากับ 5% อันเป็นผลจากการเติม NaCl (a-c), KCl (d-f) และ CaCl₂ (g-i)

เมื่อพิจารณาผลของเกลือต่อสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างแป้งมันสำปะหลัง
ผสมคาร์ราจีแนน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3 ผลของเกลือต่อสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังผสมแคปปา-คาร์
ราจีแนนที่อัตราส่วนต่างๆ (TS/kCAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ความเข้มข้น
รวมของพอลิแซ็กคาไรด์เท่ากับ 5%

		สมบัติด้านเนื้อสัมผัส					
TS/kCAR	เกลือ (%)	Hardness1 (N)	Hardness2 (N)	Cohesiveness (-)	Springiness index	Gumminess	Adhesiveness
10/0	0	0.44 ± 0.13	0.42 ± 0.08	0.12 ± 0.06	0.77 ± 0.22	0.08 ± 0.03	0.00 ± 0.00
9.5/0.5		0.48 ± 0.11	0.35 ± 0.07	0.16 ± 0.09	0.68 ± 0.13	0.06 ± 0.03	0.00 ± 0.00
9/1		1.64 ± 0.34	1.07 ± 0.23	0.32 ± 0.06	1.26 ± 0.35	0.54 ± 0.18	0.00 ± 0.00
10/0	0.5%NaCl	0.30 ± 0.20	0.28 ± 0.18	NA	NA	NA	NA
9.5/0.5		1.55 ± 0.14	1.29 ± 0.14	0.37 ± 0.08	0.89 ± 0.03	0.57 ± 0.08	0.00 ± 0.00
9/1		3.93 ± 0.09	3.52 ± 0.09	0.34 ± 0.01	0.90 ± 0.10	1.32 ± 0.03	0.00 ± 0.00
10/0	1%NaCl	0.32 ± 0.05	0.28 ± 0.03	NA	0.91 ± 0.02	NA	0.00 ± 0.00
9.5/0.5		1.11 ± 0.03	0.98 ± 0.00	0.27 ± 0.02	0.76 ± 0.06	0.31 ± 0.02	0.00 ± 0.00
9/1		1.71 ± 0.14	1.47 ± 0.21	0.35 ± 0.08	0.87 ± 0.03	0.59 ± 0.08	0.00 ± 0.00
10/0	0.5%KCl	0.24 ± 0.09	0.24 ± 0.07	NA	0.81 ± 0.08	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
9.5/0.5		1.50 ± 0.10	1.36 ± 0.08	0.31 ± 0.12	0.75 ± 0.12	0.48 ± 0.21	0.00 ± 0.00
9/1		3.67 ± 0.88	3.26 ± 0.97	0.35 ± 0.01	1.01 ± 0.17	1.29 ± 0.30	0.00 ± 0.00
10/0	1%KCl	0.22 ± 0.05	0.22 ± 0.01	NA	0.81 ± 0.11	NA	0.00 ± 0.00
9.5/0.5		1.28 ± 0.19	1.05 ± 0.18	0.29 ± 0.02	0.99 ± 0.21	0.37 ± 0.06	0.00 ± 0.00
9/1		2.86 ± 0.24	2.41 ± 0.19	0.35 ± 0.04	0.95 ± 0.16	1.00 ± 0.17	0.00 ± 0.00
10/0	0.5%CaCl ₂	0.42 ± 0.24	0.40 ± 0.22	0.00 ± 0.00	0.73 ± 0.04	7.39 ± 0.97	0.02 ± 0.02
9.5/0.5		0.81 ± 0.29	0.78 ± 0.31	0.00 ± 0.00	0.73 ± 0.17	7.54 ± 1.22	0.07 ± 0.01
9/1		1.40 ± 0.20	1.18 ± 0.17	0.01 ± 0.00	0.85 ± 0.07	8.78 ± 0.26	0.29 ± 0.04
10/0	1%CaCl ₂	0.82 ± 0.03	0.64 ± 0.04	NA	0.80 ± 0.14	10.41 ± 0.17	0.04 ± 0.00
9.5/0.5		0.50 ± 0.04	0.39 ± 0.01	0.00 ± 0.00	0.52 ± 0.28	7.56 ± 0.03	0.05 ± 0.01
9/1		0.61 ± 0.08	0.48 ± 0.04	0.00 ± 0.00	0.77 ± 0.1	7.78 ± 1.03	0.10 ± 0.03

ตารางที่ 4 ผลของเกลือต่อสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังผสมไอออตา-คาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่างๆ (TS/iCAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์เท่ากับ 5%

		สมบัติด้านเนื้อสัมผัส					
TS/iCAR	เกลือ (%)	Hardness1 (N)	Hardness2 (N)	Cohesiveness (-)	Springiness index	Gumminess	Adhesiveness
10/0	0	0.44 ± 0.13	0.42 ± 0.08	0.12 ± 0.06	0.77 ± 0.22	0.08 ± 0.03	0.00 ± 0.00
9.5/0.5		0.14 ± 0.02	0.15 ± 0.02	1.02 ± 0.47	0.62 ± 0.21	0.33 ± 0.07	0.00 ± 0.00
9/1		0.11 ± 0.04	0.11 ± 0.04	2.13 ± 1.65	0.65 ± 0.20	0.32 ± 0.14	0.00 ± 0.00
10/0	0.5%NaCl	0.30±0.20	0.28±0.18	NA	NA	NA	NA
9.5/0.5		0.15±0.04	0.16±0.03	8.93±1.27	NA	NA	NA
9/1		0.20±0.06	0.22±0.06	7.09±0.88	NA	NA	NA
10/0	1%NaCl	0.40±0.10	0.35±0.08	NA	0.89±0.11	NA	NA
9.5/0.5		0.19±0.07	0.18±0.06	NA	NA	NA	NA
9/1		0.14±0.04	0.13±0.06	NA	NA	NA	NA
10/0	0.5%KCl	0.23±0.09	0.24±0.07	NA	0.81±0.08	NA	NA
9.5/0.5		0.24±0.05	0.21±0.03	7.97±1.41	NA	NA	NA
9/1		0.17±0.02	0.15±0.03	7.50±0.83	NA	NA	NA
10/0	1%KCl	0.22±0.08	0.23±0.06	NA	0.81±0.11	NA	NA
9.5/0.5		0.24±0.07	0.23±0.05	7.29±1.55	NA	NA	NA
9/1		0.24±0.06	0.22±0.05	8.28±0.7	NA	NA	NA
10/0	0.5%CaCl ₂	0.35±0.14	0.33±0.13	NA	0.73±0.04	NA	NA
9.5/0.5		0.17±0.09	0.15±0.08	NA	NA	NA	NA
9/1		0.14±0.07	0.13±0.06	NA	NA	NA	NA
10/0	1%CaCl ₂	0.30±0.06	0.37±0.06	NA	0.80±0.14	NA	NA
9.5/0.5		0.28±0.07	0.26±0.06	NA	NA	0.79±0.08	NA
9/1		0.39±0.11	0.35±0.09	NA	NA	0.55±0.32	NA

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 3 และ 4 จะเห็นว่า ทั้งชนิดและความเข้มข้นของเกลือต่างก็มีผลต่อสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของสารผสมของแป้งมันสำปะหลังกับคาร์ราจีแนน ทั้งนี้เป็นผลจากอันตรกิริยาร่วมระหว่างแป้งและไฮโดรคอลลอยด์ร่วมกับเกลือในระบบ โดยระบบที่มีการเติมแคลป์า-คาร์ราจีแนนจะมีผลมากกว่าเนื่องจากแคลป์า-คาร์ราจีแนนสามารถเกิดเจลได้ การเติมเกลือ โดยเฉพาะ KCl จะทำให้ความแข็งของเจลเพิ่มขึ้น (Thomas, 1997)

2.3.2 ผลของซูโครส

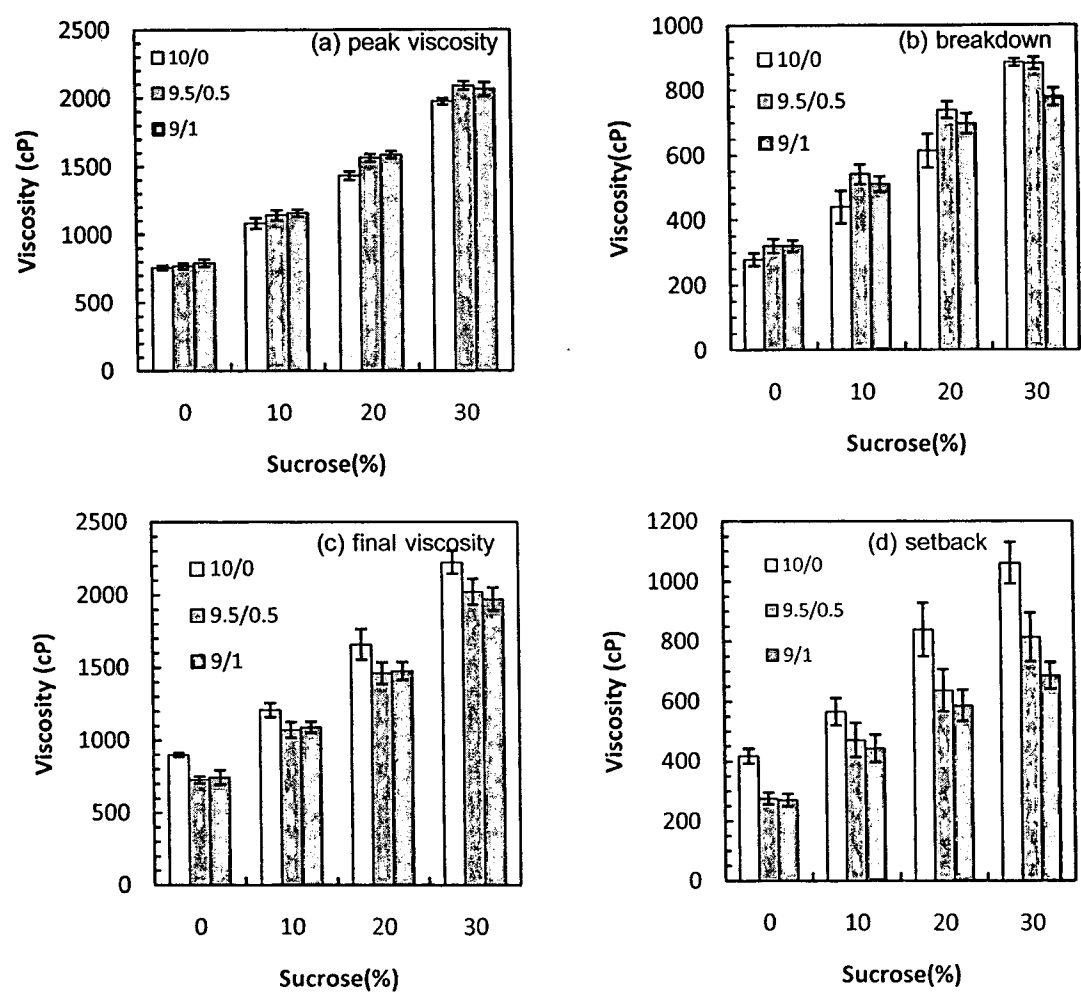
ซูโครสเป็นน้ำตาลชนิดไดแซคคาไรด์ประกอบด้วยกลูโคส 1 โมเลกุลเชื่อมต่อกับโมเลกุลของฟรุคโตสด้วยพันธะโคเวเลนต์ ซูโครสเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในอาหารใช้ในการปรับรสชาติให้อาหารมีรสหวาน ทั้งยังสามารถใช้ในประโยชน์ด้านอื่นๆ เช่น ใช้ในการถนอมอาหารโดยการแช่แข็ง นอกจากนี้ซูโครสยังมีบทบาทต่อสมบัติบางประการในผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบ

เมื่อพิจารณาผลของซูโครสต่อสมบัติเพสติงของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแคปปา-คาร์ราจีแนน (ตารางที่ 5 และ ภาพที่ 15) พบว่า ซูโครสมีผลต่อสมบัติเพสติงของตัวอย่างเมื่อปริมาณซูโครสเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 40% ทำให้อุณหภูมิในการเกิดเพสตีเพิ่มสูงขึ้น เป็นนัยว่าในกระบวนการแปรรูปจะต้องใช้พลังงานมากขึ้นเพื่อให้ตัวอย่างสุก นอกจากนี้ยังมีผลให้ความหนืดสูงสุดหรือ peak viscosity, breakdown, ค่าความหนืดสุดท้าย และค่า setback เพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาผลของแคปปา-คาร์ราจีแนน พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแคปปา-คาร์ราจีแนนทำให้ค่าสมบัติเพสติงต่างๆ ลดลงยกเว้นค่าอุณหภูมิในการเกิดเพสตี

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างคาร์ราจีแนนกับซูโครสต่อแป้งมันสำปะหลังโดยสังเกตเปรียบเทียบเฉพาะตัวอย่างที่มีการเติมและไม่เติมคาร์ราจีแนนจะพบว่า ตัวอย่างที่ทำการเติมแคปปา-คาร์ราจีแนนที่ระดับซูโครส 10% ขึ้นไป จะทำให้ค่าความหนืดสูงสุดและอุณหภูมิในการเกิดเพสตีสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ทำการเติมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การเติมน้ำตาลลงไปในระบบจะส่งผลให้องค์ประกอบอื่นๆ เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยที่การเติมน้ำตาลแบบแทนที่น้ำ จะส่งผลให้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในระบบลดลงแต่ปริมาณแป้งและคาร์ราจีแนนคงเดิม นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลงทำให้อัตราส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำอิสระเพิ่มขึ้นและทำให้มีความแตกต่างด้านสมบัติการเกิดเพสตีมากขึ้น โดยสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนมากขึ้นจากตอนแรกที่ระดับน้ำตาลซูโครส 0% ไม่สามารถสังเกตความแตกต่างที่ระดับ 10/0 และ 9.5/0.5 ได้ ค่าดังกล่าวตรงกันข้ามกับค่าความหนืดสุดท้าย และค่า Setback ที่พบว่าตัวอย่างที่ไม่เติมแคปปา-คาร์ราจีแนนกลับมีค่าสูงที่สุด จึงเป็นไปได้ว่าแคปปา-คาร์ราจีแนนมีส่วนในการเข้าร่วมสร้างโครงสร้างตาข่ายภายในระบบ (Techawipharat, 2008)

ตารางที่ 5 อุณหภูมิในการเกิดเฟสดีของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแคปไซซิน

ซูโครส (%)	TS/kCAR		
	10/0	9.5/0.5	9/1
0	69.7 ± 1.0	73.7 ± 0.2	74.7 ± 0.5
10	71.3 ± 0.2	74.2 ± 0.2	75.0 ± 1.2
20	74.6 ± 0.2	76.8 ± 0.5	78.5 ± 0.2
30	80.3 ± 1.5	81.2 ± 0.9	82.3 ± 0.4

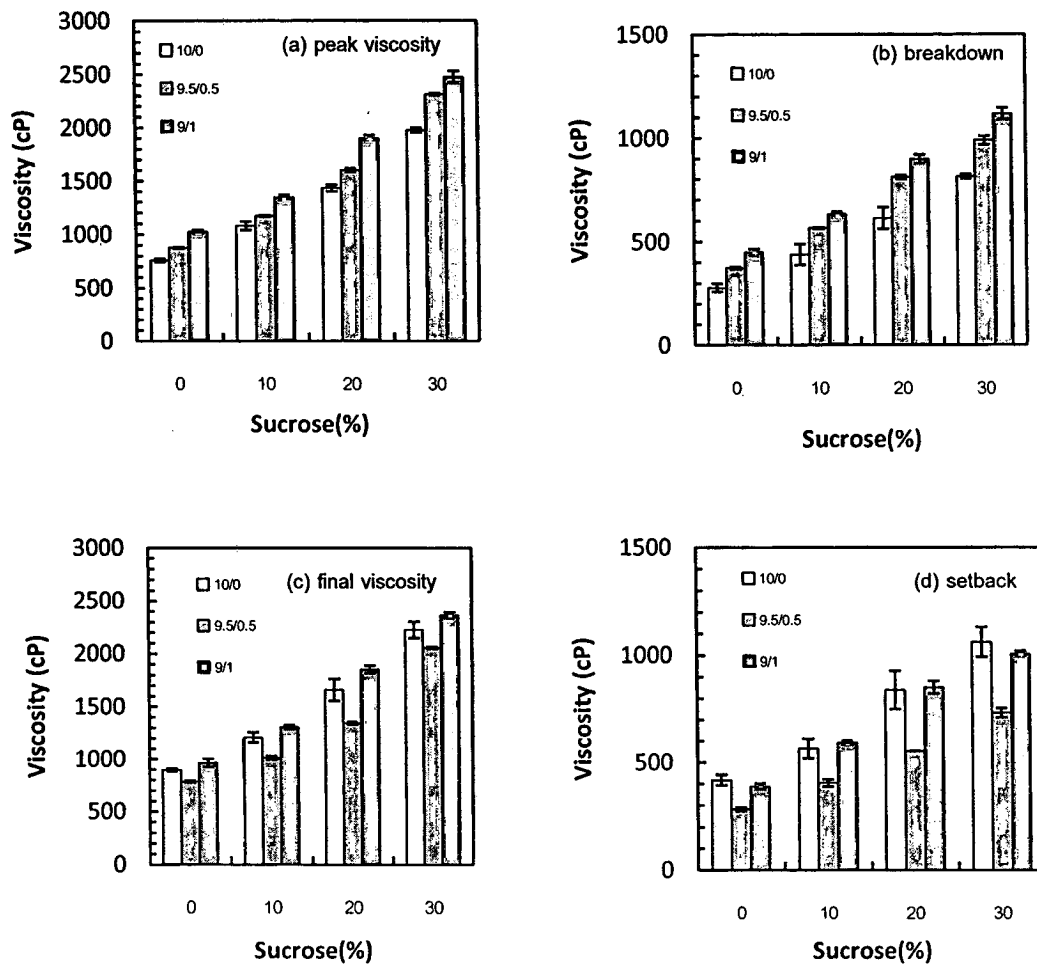


ภาพที่ 15 ผลของซูโครสต่อสมบัติเฟสดีของตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังผสมแคปไซซินที่อัตราส่วนต่างๆ (TS/kCAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์เท่ากับ 5%; (a) peak viscosity, (b) breakdown, (c) final viscosity และ (d) setback

เมื่อพิจารณาผลของซูโครสต่อสมบัติเพสติงของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับ ไอโอดา-คาร์ราจีแนน (ตารางที่ 6 และ ภาพที่ 16) พบว่า ซูโครสมีผลต่อสมบัติเพสติงของตัวอย่าง เมื่อปริมาณซูโครสเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 40% ทำให้คุณสมบัติในการเกิดเพสต์เพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกับ ตัวอย่างสารผสมแป้งมันสำปะหลังและแคปปา-คาร์ราจีแนน เมื่อพิจารณาตัวอย่างแป้งมันสำปะหลัง ที่ไม่มีการเติมไอโอดา-คาร์ราจีแนน จะมีค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย ค่า breakdown และ ค่า setback แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของน้ำตาล ซูโครสเพิ่มขึ้นในระบบ ในระบบที่เป็นการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำนี้ ทำให้ลักษณะของตัวอย่างแป้งที่ได้ หลังการให้ความร้อนมีความหนืดสูงขึ้น ซึ่งความหนืดที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากซูโครสซึ่ง มีสมบัติเป็นสารดูดความชื้นได้ดีกว่าแป้ง และสามารถสร้างพันธะกับน้ำได้เร็วกว่า (Bayarri et al., 2004)

ตารางที่ 6 คุณสมบัติในการเกิดเพสต์ของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและไอโอดา-คาร์ราจีแนน

ซูโครส (%)	TS/ICAR		
	10/0	9.5/0.5	9/1
0	69.7 ± 1.0	71.0 ± 0.6	71.3 ± 0.2
10	71.3 ± 0.2	73.2 ± 0.1	73.7 ± 0.5
20	74.6 ± 0.2	76.1 ± 0.3	76.8 ± 0.4
30	80.3 ± 1.5	81.0 ± 0.5	82.0 ± 0.2



ภาพที่ 16 ผลของซูโครสต่อสมบัติเพสติงของตัวอย่างแป้งมันสำปะหลังผสมไอออตตา-คาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่างๆ (TS/iCAR = 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1) ความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์เท่ากับ 5%; (a) peak viscosity, (b) breakdown, (c) final viscosity และ (d) setback

จากการศึกษาผลของซูโครสต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของแป้งมันสำปะหลังผสมคาร์ราจีแนน (ตารางที่ 7-8) พบว่า การเติมซูโครสมีผลต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่าง เมื่อพิจารณาค่า hardness (แรงที่ทำให้เจลเกิดการเสียรูป) จากตารางที่ 7 พบว่าตัวอย่างที่อัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังต่อแคลปา-คาร์ราจีแนนเท่ากับ 9.5/0.5 และ 9/1 ที่เติมซูโครสมีค่า hardness สูงกว่าตัวอย่างในอัตราส่วนเดียวกันที่ไม่ได้ทำการเติมซูโครส ขณะที่ตัวอย่างที่ไม่เติมแคลปา-คาร์ราจีแนนผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเป็นผลจากการที่ซูโครสช่วยสร้างพันธะไฮโดรเจนภายในแคลปา-คาร์ราจีแนน ทำให้ junction zones เพิ่มขึ้นทำให้โครงสร้างเจลเกิดความแข็งแรงมากขึ้น จึงต้องใช้แรงมากขึ้นในการทำให้ตัวอย่างเจลเสียสภาพ (Nishinari et al., 1990; Sudhakar et al., 1995) อย่างไรก็ตาม สำหรับตัวอย่างที่เติมไอออลตา-คาร์ราจีแนน พบว่า ค่า hardness ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักทั้งที่เติมและไม่เติมซูโครส (ภาพที่ 17)

เมื่อพิจารณาค่า cohesiveness (การรวมตัวกันภายในของตัวอย่าง) เป็นค่าที่ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของพันธะภายในโครงสร้าง พบว่า ซูโครสมีผลให้ค่า cohesiveness ของตัวอย่างที่อัตราส่วน 10/0 มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าซูโครสมีผลในการเพิ่มความแข็งแรงของพันธะภายในโครงสร้างให้กับตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างที่มีการเติมแคลปา-คาร์ราจีแนน พบว่า ซูโครสมีผลให้ค่า cohesiveness เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อาจเป็นผลจากลักษณะตัวอย่างที่แข็งเปราะ ในทางกลับกัน ตัวอย่างที่มีการเติมไอออลตา-คาร์ราจีแนน กลับพบว่า ซูโครสช่วยเพิ่มค่า cohesiveness ได้มากขึ้น

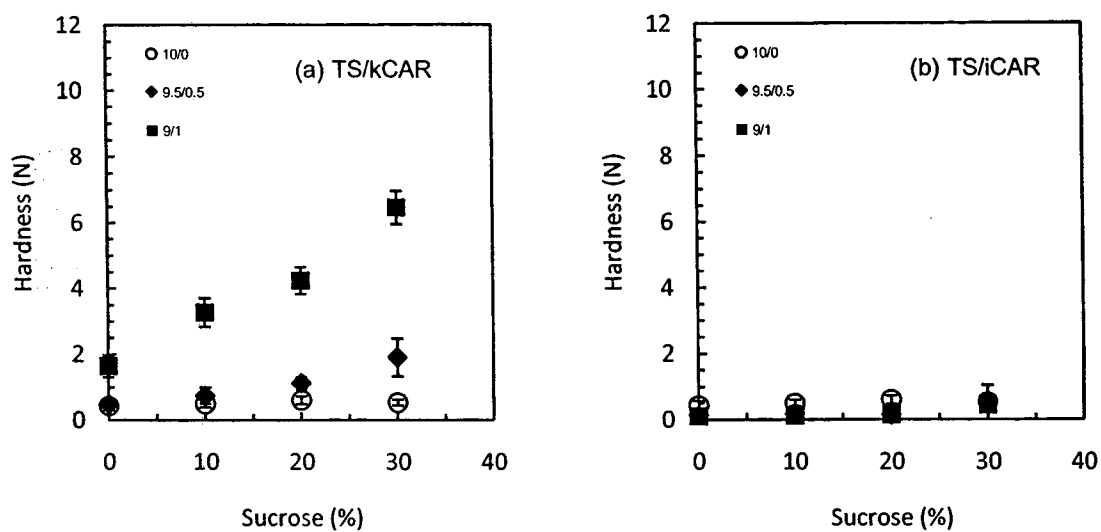
เมื่อพิจารณาค่า springiness (การกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิมเมื่อถอนแรง) ซึ่งแสดงถึง elasticity ของตัวอย่าง พบว่า ซูโครสทำให้ค่า springiness เพิ่มขึ้นในตัวอย่างที่ไม่มีคาร์ราจีแนน แต่เมื่อเติมแคลปา-คาร์ราจีแนนกลับพบว่าค่าดังกล่าวไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก อันเป็นผลจากลักษณะของเจลตัวอย่างนั่นเอง สำหรับค่า gumminess (ระดับความเป็นกาวยางหรือแป็งเปี้ยก) แสดงถึงแรงที่ใช้ในการทำให้ตัวอย่างแตกและอยู่ในสภาพที่พร้อมจะกลืน พบว่า ซูโครสมีผลต่อค่าดังกล่าวเช่นกัน ทั้งนี้สำหรับค่า adhesiveness (การเกาะติดผิว) ซึ่งแสดงถึงลักษณะของตัวอย่างที่มีความเหนียวและต้องใช้แรงในการถอนหัววัดออกจากตัวอย่าง พบว่าค่าที่ได้มีค่าน้อยมากทั้งในระบบที่มีและไม่มีซูโครส

ตารางที่ 7 ผลของซูโครสต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแคปไซ-คาร์ราจีแนน

TS/KCAR	ซูโครส (%)	สมบัติด้านเนื้อสัมผัส					
		Hardness1 (N)	Hardness2 (N)	Cohesiveness (-)	Springiness index	Gumminess (N)	Adhesiveness (Nm)
10/0	0	0.44 ± 0.13	0.42 ± 0.08	0.12 ± 0.06	0.77 ± 0.22	0.08 ± 0.03	0.00 ± 0.00
9.5/0.5		0.48 ± 0.11	0.35 ± 0.07	0.16 ± 0.09	0.68 ± 0.13	0.06 ± 0.03	0.00 ± 0.00
9/1		1.64 ± 0.34	1.07 ± 0.23	0.32 ± 0.06	1.26 ± 0.35	0.54 ± 0.18	0.00 ± 0.00
10/0	10	0.50 ± 0.10	0.46 ± 0.11	0.49 ± 0.10	0.83 ± 0.06	0.15 ± 0.10	0.00 ± 0.00
9.5/0.5		0.75 ± 0.25	0.67 ± 0.19	0.48 ± 0.23	0.77 ± 0.17	0.46 ± 0.17	0.00 ± 0.00
9/1		3.27 ± 0.44	2.39 ± 0.31	0.29 ± 0.04	1.15 ± 0.21	0.95 ± 0.13	0.00 ± 0.00
10/0	20	0.61 ± 0.12	0.57 ± 0.13	0.76 ± 0.16	0.89 ± 0.08	0.24 ± 0.23	0.00 ± 0.00
9.5/0.5		1.13 ± 0.18	1.06 ± 0.16	0.48 ± 0.17	0.87 ± 0.08	0.54 ± 0.17	0.00 ± 0.00
9/1		4.24 ± 0.41	3.23 ± 0.36	0.34 ± 0.08	0.93 ± 0.17	1.43 ± 0.33	0.00 ± 0.00
10/0	30	0.54 ± 0.11	0.49 ± 0.09	1.13 ± 0.77	0.91 ± 0.05	0.40 ± 0.09	0.00 ± 0.00
9.5/0.5		1.90 ± 0.57	1.66 ± 0.46	0.39 ± 0.17	0.81 ± 0.09	0.73 ± 0.22	0.00 ± 0.00
9/1		6.47 ± 0.51	3.67 ± 0.61	0.25 ± 0.05	1.1 ± 0.44	0.01 ± 0.00	0.00 ± 0.00

ตารางที่ 8 ผลของซูโครสต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและไฮดรอกซีคาร์ราจีแนน

TS/KCAR	ซูโครส (%)	สมบัติด้านเนื้อสัมผัส					
		Hardness1 (N)	Hardness2 (N)	Cohesiveness (-)	Springiness index	Gumminess (N)	Adhesiveness (Nm)
10/0	0	0.44 ± 0.13	0.42 ± 0.08	0.12 ± 0.06	0.77 ± 0.22	0.08 ± 0.03	0.00 ± 0.00
9.5/0.5		0.14 ± 0.02	0.15 ± 0.02	1.02 ± 0.47	0.62 ± 0.21	0.33 ± 0.07	0.00 ± 0.00
9/1		0.11 ± 0.04	0.11 ± 0.04	2.13 ± 1.65	0.65 ± 0.20	0.32 ± 0.14	0.00 ± 0.00
10/0	10	0.50 ± 0.10	0.46 ± 0.11	0.49 ± 0.10	0.83 ± 0.06	0.15 ± 0.10	0.00 ± 0.00
9.5/0.5		0.18 ± 0.02	0.21 ± 0.01	6.97 ± 0.81	0.10 ± 0.03	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
9/1		0.13 ± 0.02	0.16 ± 0.02	7.22 ± 1.48	0.09 ± 0.00	0.00 ± 0.01	0.00 ± 0.00
10/0	20	0.61 ± 0.12	0.57 ± 0.13	0.76 ± 0.16	0.89 ± 0.08	0.24 ± 0.23	0.00 ± 0.00
9.5/0.5		0.15 ± 0.04	0.16 ± 0.04	6.04 ± 0.94	0.14 ± 0.08	0.01 ± 0.01	0.00 ± 0.00
9/1		0.16 ± 0.00	0.16 ± 0.02	7.10 ± 1.13	0.83 ± 0.36	0.01 ± 0.01	0.00 ± 0.00
10/0	30	0.54 ± 0.11	0.49 ± 0.09	1.13 ± 0.77	0.91 ± 0.05	0.40 ± 0.09	0.00 ± 0.00
9.5/0.5		0.48 ± 0.14	0.44 ± 0.12	8.26 ± 1.25	0.60 ± 0.23	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
9/1		0.46 ± 0.15	0.44 ± 0.15	8.34 ± 0.72	0.37 ± 0.16	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00



ภาพที่ 17 ผลของซูโครสต่อค่า hardness ของตัวอย่างสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนนที่อัตราส่วนต่างๆ และมีความเข้มข้นรวมของพอลิแซคคาไรด์ 5%, (a) แคปปา-คาร์ราจีแนน และ (b) ไอออตตา-คาร์ราจีแนน

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของคาร์ราจีแนน เกลือ และซูโครส ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง โดยศึกษาที่อัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังต่อคาร์ราจีแนนเท่ากับ 10/0, 9.5/0.5 และ 9/1 ชนิดของคาร์ราจีแนนที่ศึกษา 2 ชนิด คือ แคปปา-คาร์ราจีแนน และไอโอตา-คาร์ราจีแนน เกลือที่ศึกษามี 3 ชนิด คือ NaCl, KCl และ CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 0, 0.5 และ 1% ส่วนซูโครสศึกษาที่ความเข้มข้น 0, 10, 20 และ 30% พบว่า ชนิดของคาร์ราจีแนนมีผลในการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ของแป้งมันสำปะหลังได้แก่ สมบัติเพสติงในด้านต่างๆ ค่ากำลังการพองตัว ความหนืด สมบัติวิสโคอิลาสติก สมบัติทางด้านเนื้อสัมผัส และความคงตัวต่อการคืนรูปจากการแช่เยือกแข็ง การเติมเกลือชนิดต่างๆ มีผลในการเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของสารผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและคาร์ราจีแนน โดยเกลือบางชนิดจะมีผลช่วยเพิ่มความแข็งของเจล การเติมซูโครสมีผลให้อุณหภูมิในการเพสต์ของทุกตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้น และยังทำให้สมบัติเพสติงและสมบัติด้านเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป