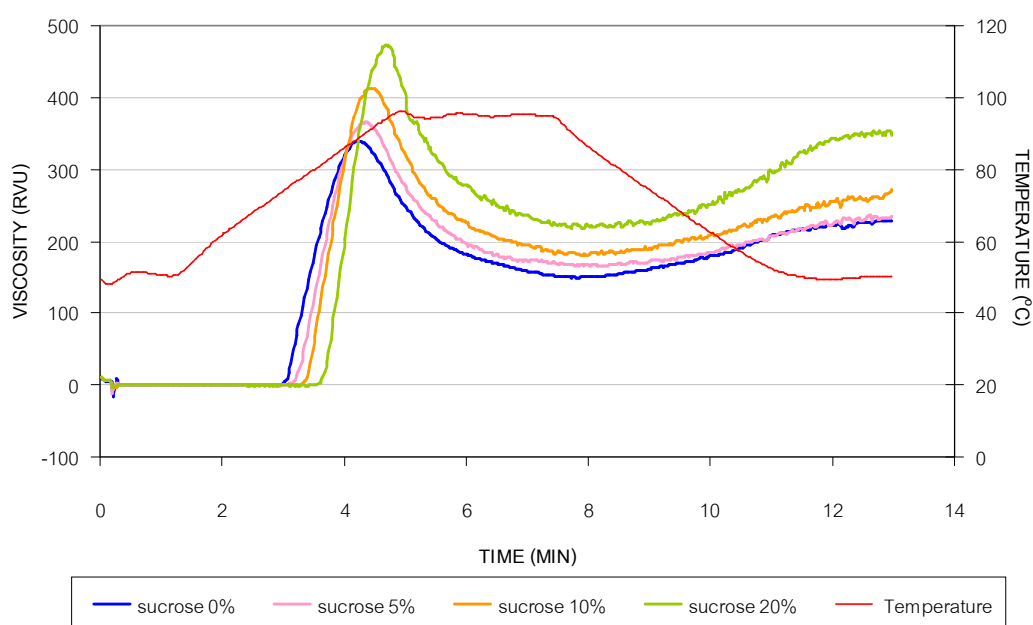


ผลและการวิจารณ์

1. ผลกระทบของน้ำตาลซูโครสต่อความหนืดของแป้งมันสำปะหลังและแป้งดัดแปร

1.1 แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนในสถานะที่มีน้ำตาลซูโครส 3 ระดับ ความเข้มข้น คือร้อยละ 5, 10 และ 20 โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่าค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุดขณะร้อน ความหนืดสุดท้าย และอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้น ในระบบที่เป็นการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) ดังแสดงในตารางที่ 15 และภาพที่ 19 แต่จะไม่มีผลแตกต่างกันในระบบที่เป็นการเติมน้ำตาลเพิ่ม (ระบบที่ 2) ยกเว้นอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับระบบที่มีการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) ดังแสดงในตารางที่ 16 และภาพที่ 20

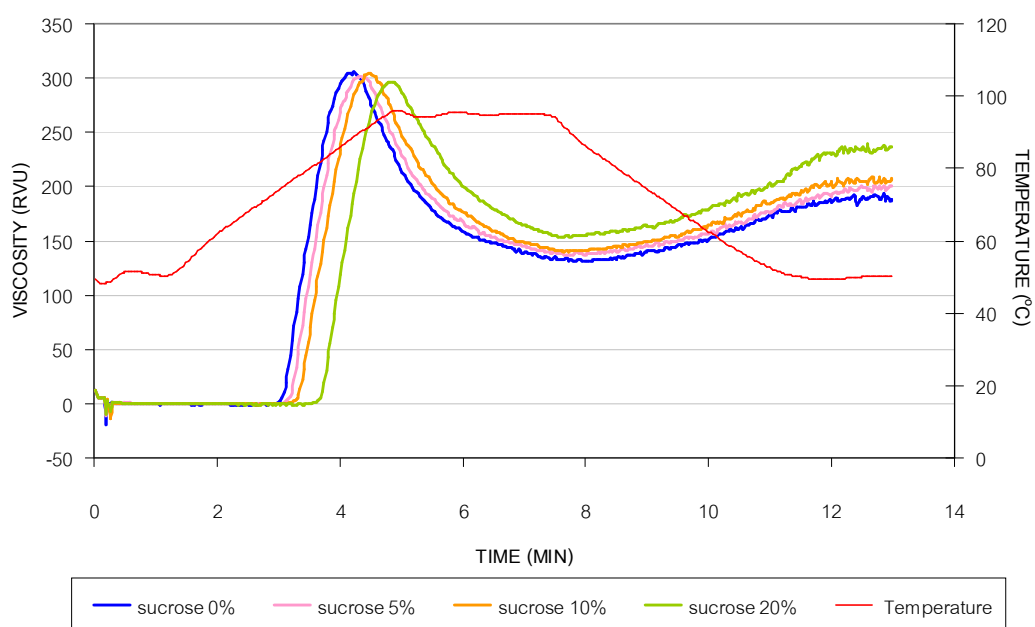


ภาพที่ 19 ลักษณะความหนืดของแป้งมันสำปะหลังในระบบที่เติมน้ำตาลแทนที่น้ำ

ตารางที่ 15 ผลกระทบของน้ำตาลซูโครส ต่อลักษณะความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง ในระบบที่เติมน้ำตาลแทนที่น้ำ

	sucrose 0%	sucrose 5%	sucrose 10%	sucrose 20%
Peak Viscosity (RVU)	339 ± 7^a	368 ± 9^b	415 ± 6^c	476 ± 8^d
Trough (RVU)	150 ± 3^a	164 ± 5^b	179 ± 2^c	215 ± 4^d
Breakdown (RVU)	189 ± 4^a	204 ± 5^b	236 ± 5^c	261 ± 7^d
Final Viscosity (RVU)	230 ± 6^a	234 ± 6^a	270 ± 3^b	350 ± 11^c
Setback (RVU)	$80 \pm 3^{a,b}$	70 ± 11^a	91 ± 5^b	135 ± 7^c
Peak Time (min)	4.2 ± 0.0^a	4.4 ± 0.1^b	4.4 ± 0.1^b	4.7 ± 0.0^c
Pasting Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	73.2 ± 0.1^a	75.4 ± 1.0^b	76.9 ± 0.7^c	80.1 ± 0.7^d

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 20 ลักษณะความหนืดของแป้งมันสำปะหลังในระบบที่เติมน้ำตาลเพิ่ม

ตารางที่ 16 ผลกระทบของน้ำตาลซูโครส ต่อลักษณะความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง ในระบบที่เติมน้ำตาลเพิ่ม

	sucrose 0%	sucrose 5%	sucrose 10%	sucrose 20%
Peak Viscosity (RVU)	306 ± 1 ^b	304 ± 4 ^b	304 ± 4 ^b	297 ± 3 ^a
Trough (RVU)	135 ± 8 ^a	136 ± 1 ^a	140 ± 2 ^a	153 ± 3 ^b
Breakdown (RVU)	171 ± 7 ^b	168 ± 4 ^b	164 ± 3 ^b	144 ± 2 ^a
Final Viscosity (RVU)	192 ± 6 ^a	202 ± 4 ^{a,b}	208 ± 6 ^b	235 ± 6 ^c
Setback (RVU)	57 ± 2 ^a	66 ± 3 ^b	68 ± 5 ^b	82 ± 4 ^c
Peak Time (min)	4.3 ± 0.2 ^a	4.3 ± 0.1 ^a	4.5 ± 0.0 ^a	4.8 ± 0.1 ^b
Pasting Temperature (°C)	73.8 ± 0.3 ^a	74.9 ± 0.2 ^b	76.3 ± 0.1 ^c	80.5 ± 0.0 ^d

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อทำการวิเคราะห์ความหนืดของสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 0-20 โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ พบว่ามีค่าน้อยมากหรือไม่มีความหนืด ดังภาพที่ 21 ดังนั้นความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไปของน้ำแป้งที่เติมน้ำตาลจึงไม่ได้เกิดจากความหนืดของน้ำตาล แต่การเติมน้ำตาลลงไปในระบบจะส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบอื่นเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่จะเปลี่ยนแปลงในลักษณะใดขึ้นอยู่กับลักษณะการเติม โดยที่การเติมน้ำตาลแบบแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) จะส่งผลให้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในระบบลดลง แต่ปริมาณแป้งคงเดิม และการเติมน้ำตาลแบบเติมเพิ่ม (ระบบที่ 2) จะส่งผลให้ปริมาณแป้งและน้ำในภาชนะซึ่งใช้บรรจุตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ความหนืดลดลง แต่อัตราส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำยังคงที่ ดังแสดงในตารางที่ 17

จากข้อมูลในตารางที่ 17 พบว่าอัตราส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำของตัวอย่างที่เติมน้ำตาลแทนที่น้ำมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.1015 เป็น 0.1302 สอดคล้องกับผลของความหนืดที่เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้การเติมน้ำตาลยังทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลงได้อีกทางหนึ่งด้วย ทำให้อัตราส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำอิสระยังเพิ่มขึ้นและมีความแตกต่างมากขึ้นอย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งนอกเหนือจากอัตราส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำที่อาจจะส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้นได้เช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้การศึกษาระบบการเติมแบบที่ 2 ซึ่งเป็นระบบการเติมแบบเติมเพิ่มจึงได้ถูก

นำมาใช้ในการพิสูจน์ โดยการควบคุมอัตราส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำให้เท่ากันทุกตัวอย่างที่ศึกษา โดยมีค่าเท่ากับ 0.1015 เท่ากับตัวอย่างที่ไม่เติมน้ำตาลของระบบการเติมน้ำตาลแบบแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) นอกจากนี้ปริมาณซึ่งมีผลต่อความหนืดที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง RVA (Dang and Bason, 2001) ยังถูกควบคุมให้มีค่าคงที่ เท่ากับ 25 มิลลิลิตร



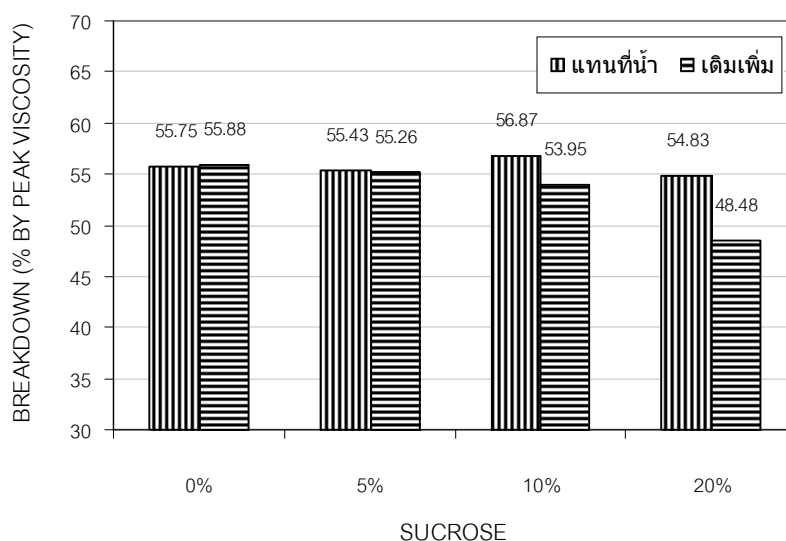
ภาพที่ 21 ความหนืดของสารละลายน้ำตาล

ตารางที่ 17 ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง น้ำตาล และน้ำ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความหนืด

	แป้ง (g)	น้ำตาล (g)	น้ำ (g)	แป้ง:น้ำ
ระบบเติมแทนที่น้ำ				
น้ำตาล 0%	2.58	0.00	25.42	0.1015
น้ำตาล 5%	2.58	1.40	24.02	0.1074
น้ำตาล 10%	2.58	2.80	22.62	0.1141
น้ำตาล 20%	2.58	5.60	19.82	0.1302
ระบบเติมเพิ่ม				
น้ำตาล 0%	2.34	0.00	23.04	0.1015
น้ำตาล 5%	2.26	1.29	23.61	0.1015
น้ำตาล 10%	2.20	2.65	24.29	0.1015
น้ำตาล 20%	1.95	5.30	24.54	0.1015

ในระบบการเติมน้ำตาลแบบเติมเพิ่ม (ระบบที่ 2) น้ำแข็งแสดงความหนืดที่เปลี่ยนแปลงน้อยมากถึงแม้ปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้ปัจจัยหลักที่ทำให้ความหนืดของน้ำแข็งเพิ่มขึ้นจากการเติมน้ำตาลแบบแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) จึงควรที่เกิดจากอัตราส่วนระหว่างแข็งต่อน้ำ แต่น้ำตาลซึ่งมีสมบัติเป็นสารดูดความชื้นมากกว่าแข็ง (นิธิยา, 2545) สามารถสร้างพันธะกับน้ำได้ก่อนด้วยอัตราส่วนระหว่างโมเลกุลน้ำตาลซูโครสต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 4.6 (Botlan and Desbois, 1995) ทำให้ปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w) ในระบบลดลง (Spies and Hoseney, 1982) อัตราส่วนระหว่างแข็งต่อน้ำอิสระจึงสูงขึ้นตามปริมาณน้ำตาลที่มากขึ้น แม้ว่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณแข็งต่อปริมาณน้ำเมื่อก่อนเติมน้ำตาลจะเท่ากัน ความหนืดโดยรวมของตัวอย่างจึงควรที่จะสูงขึ้นถึงแม้จะไม่มากนักเนื่องจากเป็นระบบที่มีน้ำมากจนเกินไป แสดงว่าต้องมีปัจจัยอื่นอีกที่ทำให้ความหนืดของระบบลดลงเกิดขึ้นชัดเจนกับความหนืดที่ควรเพิ่มขึ้นของระบบ ทำให้ความหนืดโดยรวมของระบบคงที่

ระบบการเติมน้ำตาลแบบเติมเพิ่ม (ระบบที่ 2) แสดงความหนืดลดลงเล็กน้อยเมื่อเติมน้ำตาลร้อยละ 20 เนื่องจากการเติมน้ำตาลลงไปนั้น น้ำตาลจะเข้าไปจับกับแข็งในส่วนออสโมติกของเม็ดแข็ง ทำให้แข็งพองตัวได้อย่างจำกัด (Spies and Hoseney, 1982) อีกทั้งความสามารถที่น้ำตาลจะจับกับน้ำก็จะลดลงด้วยเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้น ความหนืดสูงสุดโดยรวมของผลิตภัณฑ์จึงมีค่าลดลง ซึ่งจะปรากฏชัดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้น กรณีนี้ ค่า Breakdown ควรลดลงเมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น และจากผลการทดลองพบว่าระบบที่เติมน้ำตาลแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) ค่า Breakdown มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ระบบที่เติมน้ำตาลเพิ่ม (ระบบที่ 2) ค่า Breakdown มีค่าคงที่เมื่อเติมน้ำตาลร้อยละ 0, 5 และ 10 โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ และมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเติมน้ำตาลร้อยละ 20 โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อคำนวณเป็นร้อยละเทียบกับความหนืดสูงสุด ค่า Breakdown กลับแสดงค่าใกล้เคียงกันทุกตัวอย่างที่เติมน้ำตาลในระบบที่เติมน้ำตาลแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) และมีแนวโน้มลดลงในระบบที่เติมน้ำตาลเพิ่ม (ระบบที่ 2) ดังภาพที่ 22 แสดงว่าปัจจัยที่ทำให้ความหนืดของระบบลดลงเกิดจากการที่น้ำตาลเข้าไปจับกับแข็งทำให้แข็งพองตัวได้น้อย และความสามารถในการจับกันของน้ำตาลกับน้ำลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้น



ภาพที่ 22 ค่า Breakdown เทียบกับความหนืดสูงสุดของแป้งมันสำปะหลังเมื่อเติมน้ำตาล

ปัจจัยเรื่องปริมาณของแป้งในตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ของระบบที่เติมน้ำตาลเพิ่ม (ระบบที่ 2) มีปริมาณลดลงในตัวอย่างที่มีการเติมน้ำตาลเพิ่มขึ้น อาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ความหนืดของแป้งในระบบการเติมน้ำตาลเพิ่ม (ระบบที่ 2) ไม่เพิ่มขึ้นเท่ากับระบบที่เติมน้ำตาลแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) เนื่องจากปัจจัยนี้ทำให้ความหนืดลดลง แต่ความหนืดของระบบโดยรวมมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เนื่องจากน้ำตาลอาจทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อชดเชยกับการที่ความหนืดลดลงจากการที่มีปริมาณแป้งลดลงแล้วทำให้ความหนืดของระบบโดยรวมคงที่ ซึ่งหากเป็นไปตามกรณีนี้จะสรุปได้ว่าน้ำตาลมีอิทธิพลทำให้ความหนืดของแป้งเพิ่มขึ้น ซึ่งขัดแย้งกับข้อสรุปข้างต้น แต่จากงานวิจัยของ สุจิตรา (2550) พบว่าการเติมน้ำตาลลงในน้ำแป้งโดยไม่คำนึงถึงปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป (ปริมาณของแป้งและน้ำเท่าเดิม) มีผลต่อความหนืดของผลิตภัณฑ์เพียงเล็กน้อย โดยแสดงแนวโน้มลดลงที่ปริมาณน้ำตาลสูง เช่นเดียวกับผลการทดลองที่ได้จากชุดการเติมน้ำตาลเพิ่ม (ระบบที่ 2) แสดงว่าปัจจัยเรื่องปริมาณของแป้งไม่ใช่ปัจจัยหลัก อีกทั้งยังช่วยสนับสนุนข้อสันนิษฐานที่ว่าน้ำตาลมีผลทำให้ความหนืดของแป้งลดลง เนื่องจากปริมาณจะเพิ่มขึ้นเมื่อเติมน้ำตาล ปัจจัยเรื่องปริมาณทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น แต่น้ำตาลทำให้ความหนืดของระบบลดลง ซึ่งเมื่อรวมทั้งสองปัจจัยเข้าด้วยกันแล้วความหนืดโดยรวมของระบบจึงคงที่ โดยปัจจัยเรื่องปริมาณได้รับการสนับสนุนจากการเปรียบเทียบความหนืดของตัวอย่างที่ไม่เติมน้ำตาลในระบบการเติมแทนที่น้ำ (I) ซึ่งแสดงค่าความหนืดสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมน้ำตาลของระบบการเติมน้ำตาลเพิ่ม (ระบบที่ 2) ที่มีปริมาณน้อยกว่า โดยมีความเข้มข้นของแป้งต่อน้ำเท่ากัน

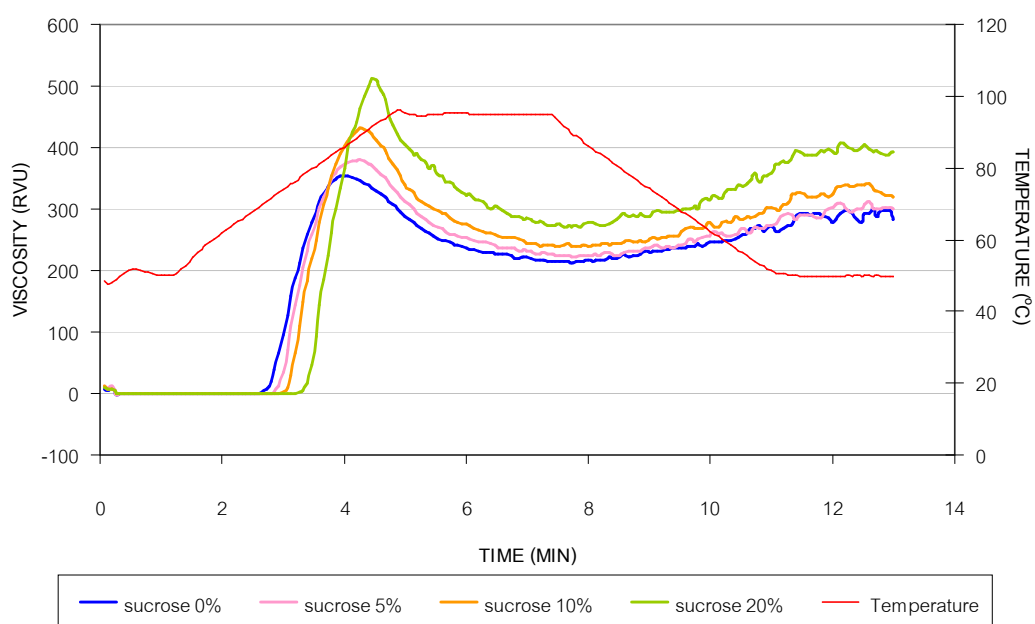
จากข้อมูลข้างต้นจึงสรุปได้ว่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไปจากการเติมน้ำตาล เกิดจาก 2 ส่วน คือ ส่วนที่ทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น และส่วนที่ทำให้ความหนืดของระบบลดลง โดยที่ส่วนที่ทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำอิสระในระบบที่เพิ่มขึ้นจากการถูกแทนที่ด้วยน้ำตาลของน้ำ และจากการที่น้ำตาลเข้าจับกับน้ำทำให้มีปริมาณน้ำอิสระลดลง ขณะที่ส่วนที่ทำให้ความหนืดของระบบลดลง ได้แก่ การที่น้ำตาลเข้าไปจับกับแป้ง ทำให้แป้งพองตัวได้น้อยลง ซึ่งความหนืดโดยรวมของระบบจะเป็นทิศทางใดขึ้นอยู่กับว่าส่วนใดเกิดขึ้นมากกว่ากัน หากการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่เกิดจากอัตราส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำอิสระเพิ่มขึ้นสูงมาก ความหนืดโดยรวมของผลิตภัณฑ์ก็จะสูงขึ้น ดังปรากฏในระบบการเติมน้ำตาลแบบแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) แต่หากควบคุมอัตราส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำให้คงที่ การเติมน้ำตาลก็จะส่งผลต่อความหนืดโดยรวมของผลิตภัณฑ์มีทิศทางไปในทางที่ค่อนข้างจะคงที่ในระบบที่มีปริมาณน้ำมาก จนเกินพอ และมีแนวโน้มที่จะทำให้ความหนืดโดยรวมของผลิตภัณฑ์ลดลงเมื่อเติมน้ำตาลในปริมาณที่ค่อนข้างสูงหรือเป็นระบบที่มีปริมาณน้ำจำกัด ดังปรากฏในระบบการเติมน้ำตาลแบบเติมเพิ่ม (ระบบที่ 2)

ความหนืดสุดท้าย เวลาที่เกิดความหนืดสูงสุด และอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นทุกค่า เมื่อปริมาณของน้ำตาลที่เติมเพิ่มขึ้นทั้งสองระบบที่ทำการศึกษา ซึ่งการที่อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการแข่งขันกันสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำระหว่างน้ำตาลกับแป้ง ทำให้ปริมาณน้ำอิสระในระบบลดลง ดังได้กล่าวมาแล้ว ส่งผลให้ต้องใช้อุณหภูมิในการเจลาไทไนซ์แป้งสูงขึ้น การสร้างพันธะของน้ำตาลยังทำให้สมบัติการเป็นพลาสติกไซเซอรัของน้ำลดลง (Chungcharoen and Lund, 1987) ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาตรอิสระของตัวทำละลายร่วมระหว่างน้ำกับน้ำตาลที่ลดลง และทำให้น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของตัวทำละลายร่วมเพิ่มขึ้น การเคลื่อนตัวของโมเลกุลในเม็ดย่างจึงลดลง รวมทั้งการพองตัวของเม็ดย่างที่เกิดช้า ทำให้ต้องใช้อุณหภูมิและพลังงานที่สูงขึ้นเพื่อทำลายโครงสร้างผลึกของอะมิโลเพกทินภายในเม็ดย่าง (Spies and Hoseneey, 1982)

จากการที่เม็ดย่างพองตัวได้ช้าเมื่อมีน้ำตาล (Spies and Hoseneey, 1982; Alejandra Krüger *et al.*, 2003; Madoka Hirashima, Rheo Takahashi and Katsuyoshi Nishinari, 2005) จึงส่งผลให้เม็ดย่างแตกช้าลง ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่หลุดออกมาจึงได้รับแรงเฉือนในเวลาที่ไม่เท่ากัน โดยในตัวอย่างที่มีการเติมน้ำตาลมากกว่าจะมีเวลาที่ส่วนประกอบต่างๆ เหล่านั้นได้รับผลกระทบจากแรงเฉือนน้อยกว่า ดังนั้นค่าความหนืดที่ปรากฏภายหลังจากเม็ดย่างแตกของตัวอย่างที่มีน้ำตาลมากกว่าจึงมีค่ามากกว่า ส่งผลให้ค่าความหนืดขณะร้อน และความหนืดสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้น

1.2 แป้งแอซีเทด

แป้งแอซีเทดแสดงผลเช่นเดียวกันกับแป้งมันสำปะหลังในทั้งสองระบบ คือมีความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุดขณะร้อน ความหนืดสุดท้าย เวลาที่เกิดความหนืดสูงสุด และอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้นในระบบการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) ดังตารางที่ 18 และภาพที่ 23 และมีค่าความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุดขณะร้อน ใกล้เคียงกันในระบบการเติมน้ำตาลเพิ่ม (ระบบที่ 2) ดังตารางที่ 19 และภาพที่ 24 ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันกับแป้งมันสำปะหลัง สรุปได้ว่าน้ำตาลมีผลทางอ้อมต่อการเพิ่มขึ้นของความหนืดในระบบการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) โดยทำให้อัตราส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำเพิ่มขึ้น และมีผลทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์ในระบบการเติมน้ำตาลเพิ่ม (ระบบที่ 2) เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และมีแนวโน้มที่จะลดลงที่ความเข้มข้นของน้ำตาลสูง ขณะที่ค่า Breakdown ที่ปรากฏและที่ได้จากการคำนวณเป็นร้อยละเทียบกับความหนืดสูงสุด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระบบที่เป็นการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) ซึ่งอาจจะเป็นผลจากการที่ถึงแม้ว่าการที่น้ำตาลจับกับแป้งจะทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้น แต่ปริมาณน้ำตาลที่สามารถเข้าจับกับแป้งแอซีเทดอาจไม่เท่ากับแป้งมันสำปะหลัง รวมถึงการเปลี่ยนแปลงจากสาเหตุนี้ยังน้อยกว่าการที่มีปริมาณน้ำอิสระในระบบลดลงมาก ค่า Breakdown ที่ปรากฏจึงแสดงผลต่างจากแป้งมันสำปะหลัง และมีแนวโน้มลดลงในระบบที่เป็นการเติมน้ำตาลเพิ่ม (ระบบที่ 2) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำน้อย ดังภาพที่ 25

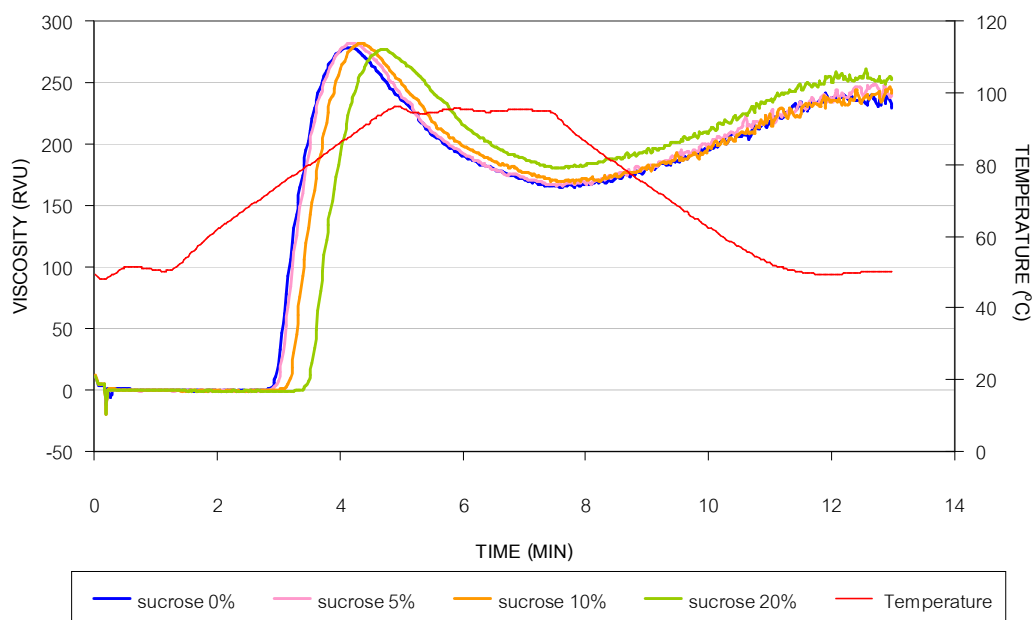


ภาพที่ 23 ลักษณะความหนืดของแป้งแอซีเทดในระบบการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ

ตารางที่ 18 ผลกระทบของน้ำตาลซูโครส ต่อลักษณะความหนืดของแป้งแอชีเทด ในระบบการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ

	sucrose 0%	sucrose 5%	sucrose 10%	sucrose 20%
Peak Viscosity (RVU)	352 ± 7^a	380 ± 2^b	431 ± 5^c	514 ± 9^d
Trough (RVU)	207 ± 9^a	221 ± 1^b	237 ± 7^c	268 ± 5^d
Breakdown (RVU)	144 ± 2^a	159 ± 1^b	194 ± 4^c	246 ± 9^d
Final Viscosity (RVU)	284 ± 1^a	300 ± 4^a	320 ± 16^b	392 ± 7^c
Setback (RVU)	77 ± 11^a	80 ± 6^a	83 ± 8^a	124 ± 5^b
Peak Time (min)	4.0 ± 0.1^a	4.3 ± 0.0^b	4.3 ± 0.0^b	4.5 ± 0.0^c
Pasting Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	70.5 ± 1.2^a	71.6 ± 0.1^a	73.2 ± 0.1^b	77.2 ± 0.0^c

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

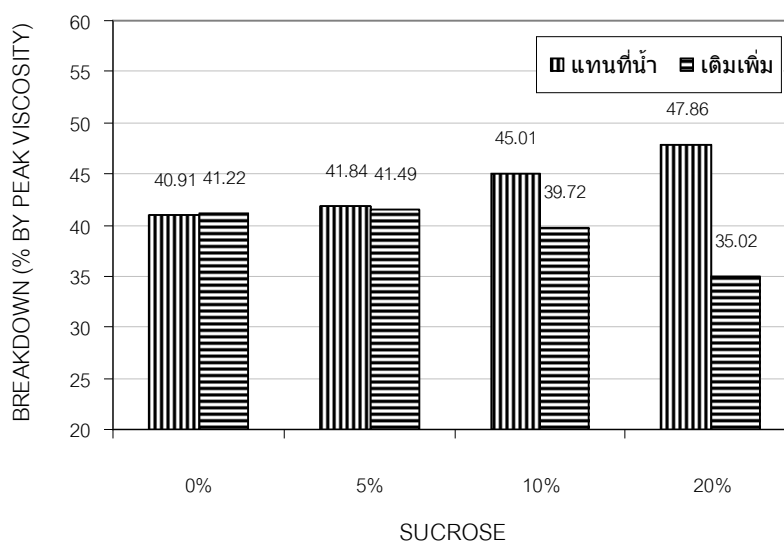


ภาพที่ 24 ลักษณะความหนืดของแป้งแอชีเทดในระบบการเติมน้ำตาลเพิ่ม

ตารางที่ 19 ผลกระทบของน้ำตาลซูโครส ต่อลักษณะความหนืดของแป้งแอชีเทต ในระบบการเติมน้ำตาลเพิ่ม

	sucrose 0%	sucrose 5%	sucrose 10%	sucrose 20%
Peak Viscosity (RVU)	279 ± 6 ^a	282 ± 8 ^a	282 ± 2 ^a	277 ± 3 ^a
Trough (RVU)	164 ± 3 ^a	165 ± 3 ^a	169 ± 4 ^a	180 ± 3 ^b
Breakdown (RVU)	115 ± 6 ^b	117 ± 5 ^b	112 ± 5 ^b	97 ± 1 ^a
Final Viscosity (RVU)	227 ± 2 ^a	242 ± 6 ^b	240 ± 3 ^c	252 ± 3 ^d
Setback (RVU)	63 ± 4 ^a	77 ± 8 ^b	70 ± 6 ^{a,b}	72 ± 2 ^{a,b}
Peak Time (min)	4.1 ± 0.1 ^a	4.2 ± 0.0 ^a	4.4 ± 0.2 ^b	4.7 ± 0.0 ^c
Pasting Temperature (°C)	71.5 ± 0.0 ^a	72.7 ± 0.6 ^b	74.7 ± 0.3 ^c	78.3 ± 0.1 ^d

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



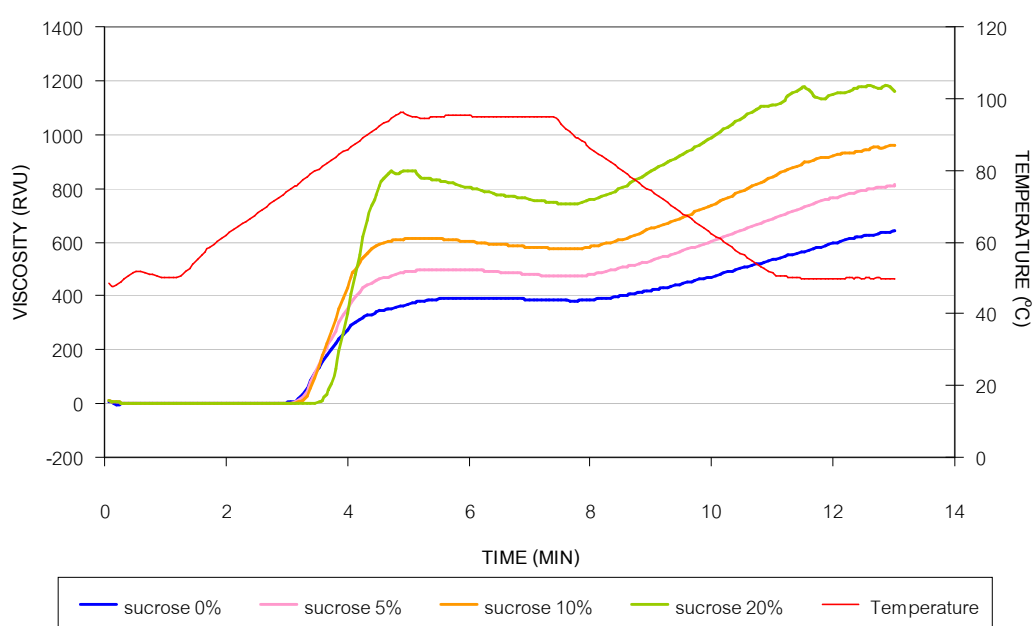
ภาพที่ 25 ค่า Breakdown เทียบกับความหนืดสูงสุดของแป้งแอชีเทตเมื่อเติมน้ำตาล

อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งแอชีเทตในระบบการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลังเนื่องจากการตัดแปรงแป้ง แต่มีการเปลี่ยนแปลงของ

อุณหภูมิใกล้เคียงกันเมื่อเติมน้ำตาลความเข้มข้นเดียวกันลงไปในระบบ โดยที่แป้งแอชเทตมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็น 1.1, 2.7 และ 6.7 องศาเซลเซียส เมื่อเติมน้ำตาลแทนที่น้ำความเข้มข้นร้อยละ 5, 10 และ 20 ตามลำดับ ในขณะที่แป้งมันสำปะหลังมีการเปลี่ยนแปลงไป 2.2, 3.7 และ 6.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และในระบบการเติมน้ำตาลเพิ่ม (ระบบที่ 2) แป้งแอชเทตมีอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป 1.2, 3.2 และ 6.8 องศาเซลเซียส แป้งมันสำปะหลังเปลี่ยนแปลงไป 1.1, 2.5 และ 6.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

1.3 แป้งครอสลิง

แป้งครอสลิงแสดงความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นในระบบการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) เช่นเดียวกันกับแป้งมันสำปะหลังและแป้งแอชเทต เมื่อปริมาณน้ำตาลที่เติมสูงขึ้น และในระบบการเติมน้ำตาลเพิ่ม (ระบบที่ 2) ก็แสดงความหนืดที่ใกล้เคียงกันในทุกปริมาณของน้ำตาลที่เติม แสดงดังตารางที่ 20 และ 21 และภาพที่ 26 และ 27 ค่า Breakdown มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสำหรับระบบการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) เช่นเดียวกันกับแป้งแอชเทต แต่เป็นร้อยละของการเปลี่ยนแปลงสูงกว่าเนื่องจากแป้งครอสลิงเป็นแป้งที่มีค่า Breakdown น้อย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหรือเท่ากับแป้งชนิดอื่นก็จะแสดงค่าเป็นร้อยละต่อ Breakdown เริ่มต้นสูงกว่า และเปลี่ยนแปลงไม่มากนักสำหรับระบบที่เป็นการเติมน้ำตาลเพิ่ม (ระบบที่ 2) เช่นเดียวกับแป้งชนิดอื่น ดังภาพที่ 28

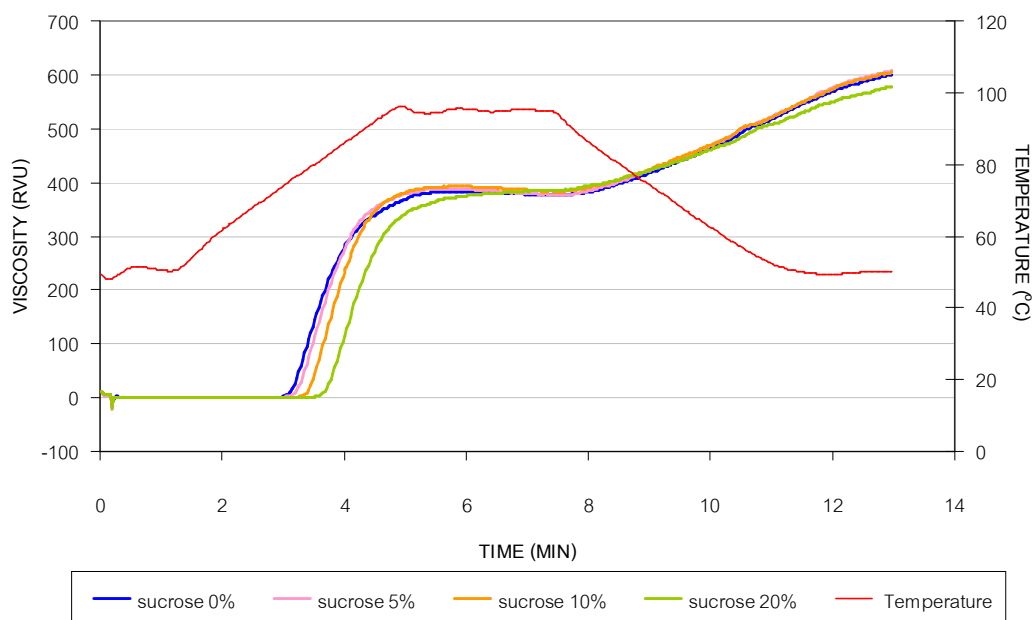


ภาพที่ 26 ลักษณะความหนืดของแป้งครอสลิงในระบบการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ

ตารางที่ 20 ผลกระทบของน้ำตาลซูโครส ต่อลักษณะความหนืดของแป้งครอสลิง ในระบบการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ

	sucrose 0%	sucrose 5%	sucrose 10%	sucrose 20%
Peak Viscosity (RVU)	392 ± 2 ^a	500 ± 8 ^b	616 ± 8 ^c	885 ± 21 ^d
Trough (RVU)	380 ± 3 ^a	473 ± 6 ^b	572 ± 3 ^c	742 ± 67 ^d
Breakdown (RVU)	12 ± 2 ^a	27 ± 2 ^a	44 ± 5 ^a	143 ± 49 ^b
Final Viscosity (RVU)	645 ± 5 ^a	813 ± 12 ^b	959 ± 23 ^c	1,162 ± 96 ^d
Setback (RVU)	265 ± 6 ^a	340 ± 6 ^b	386 ± 19 ^{b,c}	420 ± 50 ^c
Peak Time (min)	5.9 ± 0.1 ^d	5.5 ± 0.2 ^c	5.2 ± 0.1 ^b	4.9 ± 0.2 ^a
Pasting Temperature (°C)	73.9 ± 0.3 ^a	74.5 ± 0.4 ^a	75.4 ± 0.5 ^b	79.6 ± 0.0 ^c

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

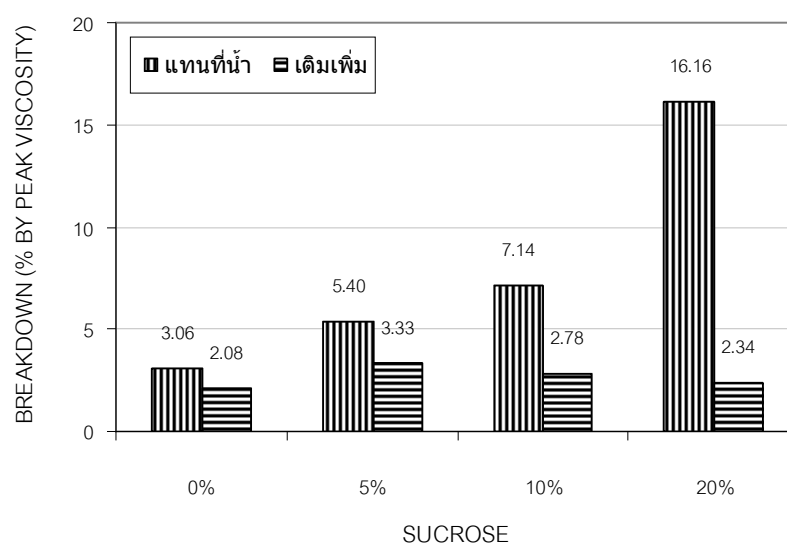


ภาพที่ 27 ลักษณะความหนืดของแป้งครอสลิงในระบบการเติมน้ำตาลเพิ่ม

ตารางที่ 21 ผลกระทบของน้ำตาลซูโครส ต่อลักษณะความหนืดของแป้งครอสลิง ในระบบการเติมน้ำตาลเพิ่ม

	sucrose 0%	sucrose 5%	sucrose 10%	sucrose 20%
Peak Viscosity (RVU)	384 ± 3^a	$390 \pm 4^{a,b}$	396 ± 6^b	384 ± 2^a
Trough (RVU)	376 ± 5^a	377 ± 2^a	386 ± 6^b	375 ± 0^a
Breakdown (RVU)	8 ± 3^a	13 ± 2^b	$11 \pm 3^{a,b}$	$9 \pm 2^{a,b}$
Final Viscosity (RVU)	600 ± 4^b	607 ± 5^b	605 ± 4^b	577 ± 3^a
Setback (RVU)	225 ± 8^b	230 ± 3^b	219 ± 8^b	202 ± 3^a
Peak Time (min)	5.7 ± 0.3^a	5.7 ± 0.2^a	5.9 ± 0.1^a	6.9 ± 0.0^b
Pasting Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	73.8 ± 0.3^a	74.7 ± 0.4^b	76.8 ± 0.5^c	79.7 ± 0.0^d

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



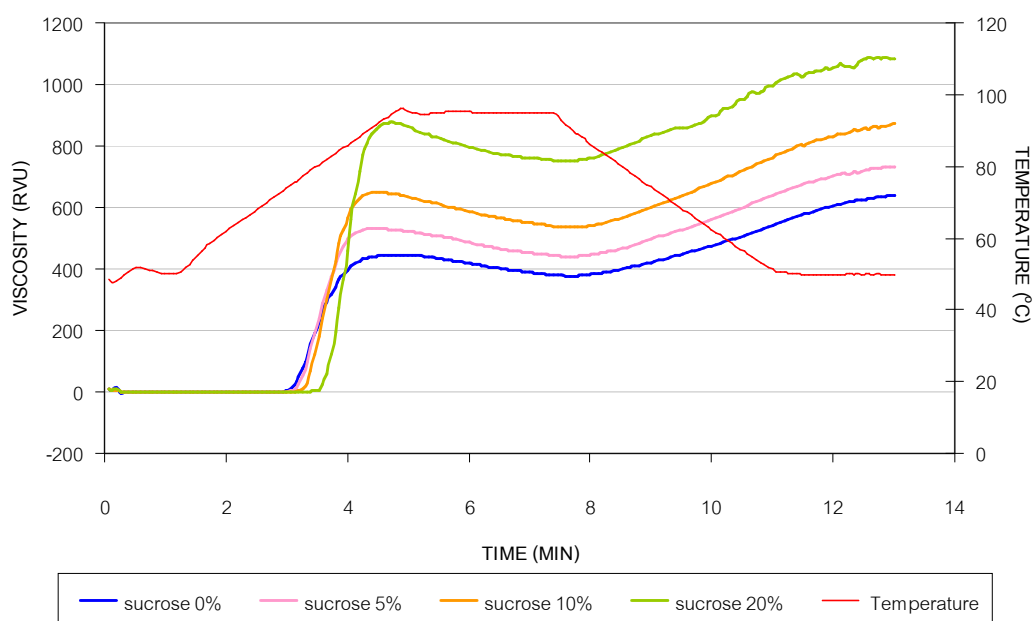
ภาพที่ 28 ค่า Breakdown เทียบกับความหนืดสูงสุดของแป้งครอสลิงเมื่อเติมน้ำตาล

1.4 แป้งแอซีเทต-ครอสลิง

แป้งแอซีเทต-ครอสลิงได้รับผลกระทบทางด้านความหนืดจากการเติมน้ำตาลเช่นเดียวกันกับแป้งทั้งสามชนิดข้างต้น คือมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นในระบบการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) ดังตารางที่ 22 และภาพที่ 29 และมีความหนืดค่อนข้างคงที่ในระบบการเติมน้ำตาลเพิ่ม (ระบบที่ 2) ดังตารางที่ 23 และภาพที่ 30

อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งสองระบบเช่นเดียวกันกับแป้งชนิดอื่นเมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น โดยมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปเป็น 1.1, 2.5 และ 5.7 องศาเซลเซียส เมื่อปริมาณของน้ำตาลที่เดิมเป็นร้อยละ 5, 10 และ 20 โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ สำหรับระบบการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) มีค่าใกล้เคียงกับแป้งแอซีเทตเมื่อเติมน้ำตาลร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ โดยที่แป้งแอซีเทตมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็น 1.1 และ 2.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่อเติมน้ำตาลร้อยละ 20 โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ เท่ากับแป้งครอสลิง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไป 5.7 องศาเซลเซียส

ค่า Breakdown เมื่อคิดเป็นร้อยละเทียบกับความหนืดสูงสุดของผลิตภัณฑ์ในระบบการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงแรกเช่นเดียวกับแป้งดัดแปรชนิดอื่น แต่มีการลดลงในภายหลัง ซึ่งน่าจะเป็นผลจากการที่น้ำตาลมีความสามารถเข้าจับกับแป้งดัดแปรแต่ละชนิดได้ไม่เท่ากัน ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักเมื่อเติมน้ำตาลไม่เกินร้อยละ 10 ในระบบที่เป็นการเติมน้ำตาลเพิ่ม (ระบบที่ 2) และแสดงแนวโน้มลดลงเมื่อเติมน้ำตาลร้อยละ 20 โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ ดังภาพที่ 31

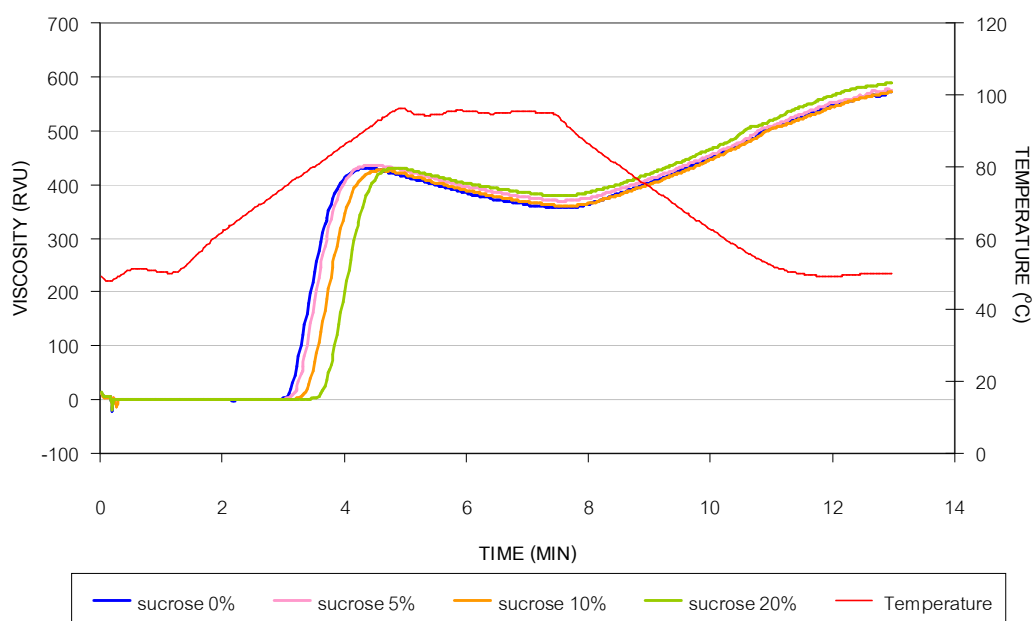


ภาพที่ 29 ลักษณะความหนืดของแป้งแอซีเทด-คอสลิงในระบบการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ

ตารางที่ 22 ผลกระทบของน้ำตาลซูโครส ต่อลักษณะความหนืดของแป้งแอซีเทด-คอสลิง ในระบบการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ

	sucrose 0%	sucrose 5%	sucrose 10%	sucrose 20%
Peak Viscosity (RVU)	439 ± 9 ^a	531 ± 4 ^b	648 ± 0 ^c	876 ± 9 ^d
Trough (RVU)	372 ± 9 ^a	440 ± 8 ^b	536 ± 0 ^c	750 ± 3 ^d
Breakdown (RVU)	67 ± 3 ^a	91 ± 6 ^b	113 ± 0 ^c	127 ± 6 ^d
Final Viscosity (RVU)	629 ± 16 ^a	734 ± 9 ^b	875 ± 0 ^c	1,085 ± 58 ^d
Setback (RVU)	258 ± 9 ^a	294 ± 2 ^{a,b}	340 ± 0 ^b	336 ± 55 ^b
Peak Time (min)	4.7 ± 0.1 ^b	4.4 ± 0.1 ^a	4.5 ± 0.0 ^a	4.8 ± 0.0 ^b
Pasting Temperature (°C)	72.9 ± 0.9 ^a	74.0 ± 0.0 ^b	75.4 ± 0.5 ^c	78.6 ± 0.4 ^d

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

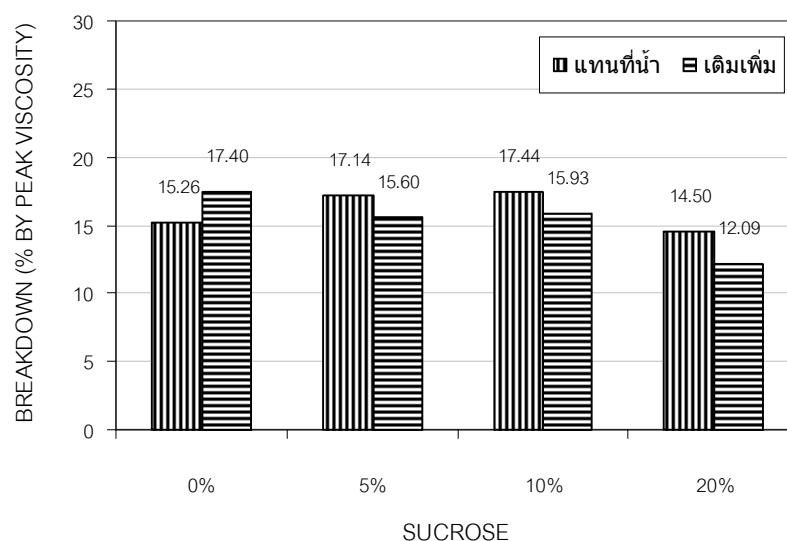


ภาพที่ 30 ลักษณะความหนืดของแป้งแอซีเทด-คอสลิงในระบบการเติมน้ำตาลเพิ่ม

ตารางที่ 23 ผลกระทบของน้ำตาลซูโครส ต่อลักษณะความหนืดของแป้งแอซีเทด-คอสลิง ในระบบการเติมน้ำตาลเพิ่ม

	sucrose 0%	sucrose 5%	sucrose 10%	sucrose 20%
Peak Viscosity (RVU)	$431 \pm 3^{a,b}$	436 ± 5^b	427 ± 4^a	$430 \pm 4^{a,b}$
Trough (RVU)	356 ± 3^a	368 ± 4^b	360 ± 4^a	377 ± 6^c
Breakdown (RVU)	75 ± 1^c	68 ± 1^b	68 ± 4^b	52 ± 2^a
Final Viscosity (RVU)	572 ± 8^a	575 ± 4^a	573 ± 7^a	589 ± 2^b
Setback (RVU)	216 ± 4^a	206 ± 3^a	213 ± 11^a	211 ± 4^a
Peak Time (min)	4.4 ± 0.0^a	4.5 ± 0.2^a	4.5 ± 0.1^a	4.9 ± 0.2^b
Pasting Temperature (°C)	73.3 ± 0.2^a	74.5 ± 0.2^b	75.9 ± 0.3^c	79.9 ± 0.6^d

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 31 ค่า Breakdown เทียบกับความหนืดสูงสุดของแป้งแอซีเทต-คอสลิงเมื่อเติมน้ำตาล

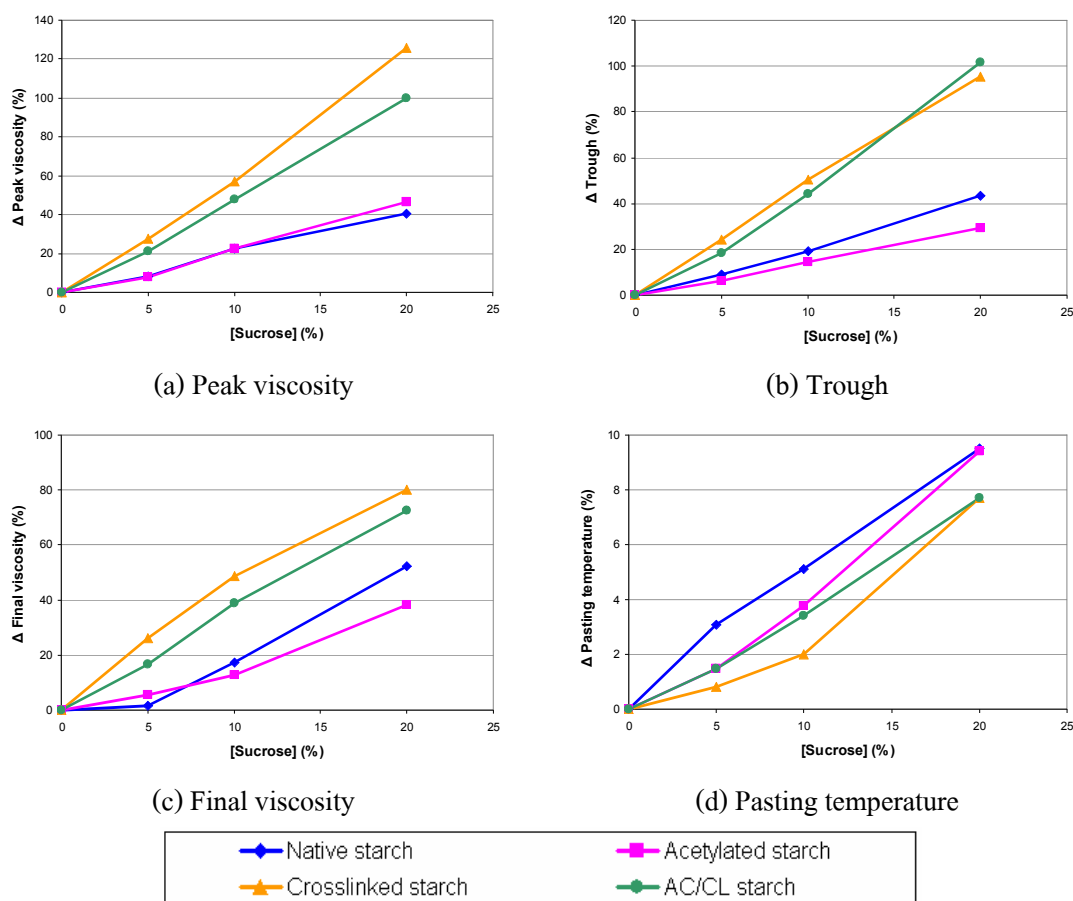
สำหรับระบบการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) แป้งทุกชนิดให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น เมื่อคิดเป็นร้อยละการเปลี่ยนแปลงเทียบกับความหนืดสูงสุดของตัวอย่างที่ไม่เติมน้ำตาล (sucrose 0%) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งแอซีเทต และกลุ่มของแป้งที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก คือ แป้ง คอสลิง และแป้งแอซีเทต-คอสลิง ดังแสดงในภาพที่ 32 (a) โดยที่กลุ่มของแป้งที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากจะเป็นกลุ่มที่มีความหนืดสูง พองตัวได้มาก และมีแนวโน้มที่น้ำตาลจะสามารถเข้าไปจับกับแป้งได้มากกว่า เมื่อเทียบกับกลุ่มของแป้งที่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยสูตรที่ใช้คำนวณร้อยละของการเปลี่ยนแปลงความหนืดสูงสุดเทียบกับความหนืดสูงสุดของตัวอย่างที่ไม่เติมน้ำตาล คือ

$$\text{ร้อยละการเปลี่ยนแปลง (\%)} = \frac{100 \times (\text{ความหนืดเมื่อเติมน้ำตาล} - \text{ความหนืดเมื่อไม่เติมน้ำตาล})}{\text{ความหนืดเมื่อไม่เติมน้ำตาล}}$$

ค่าความหนืดต่ำสุดขณะร้อนของแป้งทั้ง 4 ชนิดที่ทำการศึกษาก็ได้รับผลกระทบจากการเติมน้ำตาล แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มเช่นเดียวกันกับความหนืดสูงสุด คือกลุ่มที่มีการเปลี่ยนแปลงปานกลาง ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งแอซีเทต และกลุ่มของแป้งที่ได้รับผลกระทบค่อนข้างมาก คือ แป้งคอสลิง และแป้งแอซีเทต-คอสลิง ดังภาพที่ 32 (b)

ค่าความหนืดสุดท้ายของแป้งครอสลิง และแป้งแอซิเทต-ครอสลิงยังคงเป็นกลุ่มที่ได้รับผลกระทบจากการเติมน้ำตาลแทนที่น้ำเมื่อคิดเป็นร้อยละเทียบกับชุดที่ไม่เติมน้ำตาลค่อนข้างสูง เช่นเดียวกันกับค่าความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุดขณะร้อน ในขณะที่กลุ่มของแป้งที่ได้รับผลกระทบปานกลาง คือ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งแอซิเทต เช่นเดียวกัน ดังภาพที่ 32 (c)

แป้งทั้ง 4 ชนิด มีอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันทั้งหมด เมื่อมีการเติมน้ำตาลลงไปแทนที่น้ำ ดังภาพที่ 32 (d)



ภาพที่ 32 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงสมบัติความหนืดของแป้งแต่ละชนิด เมื่อเติมน้ำตาลแทนที่น้ำ เทียบกับตัวอย่างที่ไม่เติมน้ำตาล

2. ผลกระทบของเกลือต่อความหนืดของแป้งดัดแปร

2.1 แป้งมันสำปะหลัง

ผลของการศึกษาผลกระทบของเกลือต่อความหนืดของแป้งมันสำปะหลังในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) และระบบการเติมเกลือเพิ่ม (ระบบที่ 2) พบว่าในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่แตกต่างจากการเติมน้ำตาล กล่าวคือ ค่าความหนืดสูงสุดจะมีค่าลดลงเมื่อมีการเติมเกลือในช่วงแรก และค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำเพิ่มขึ้นจากการเติมเกลือ ดังตารางที่ 24 และภาพที่ 33 แต่ความหนืดสูงสุดมีค่าค่อนข้างคงที่สำหรับระบบการเติมเกลือเพิ่ม (ระบบที่ 2) เช่นเดียวกับการเติมน้ำตาล ดังตารางที่ 25 และภาพที่ 34 ซึ่งต่างจากรายงานของ Sudhakar *et al.* (1994) ที่ทำการทดลองกับสตาร์ชข้าวโพด และพบว่าสารละลายสตาร์ชข้าวโพดความเข้มข้นร้อยละ 5 ที่เติมเกลือลงไปร้อยละ 0.5, 1 และ 2 ให้ค่าความหนืดจากเครื่อง Brabender viscograph เพิ่มขึ้นตามปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้น

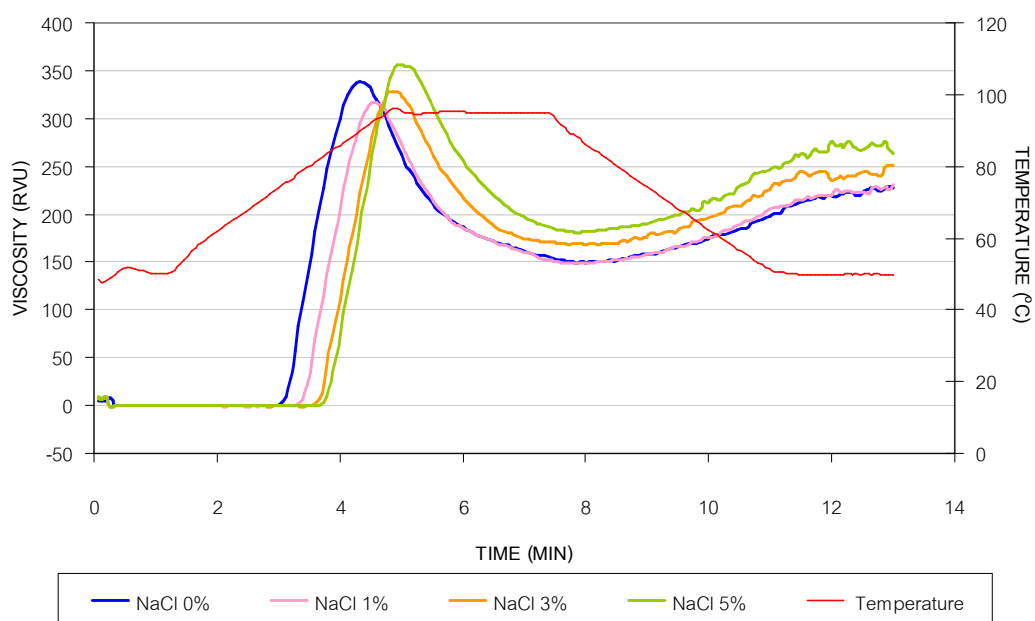
ความหนืดสูงสุดของแป้งมันสำปะหลังเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเติมเกลือในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) แต่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักสำหรับระบบการเติมเกลือเพิ่ม (ระบบที่ 2) ตัวอย่างที่ไม่มีการเติมเกลือของทั้งสองระบบซึ่งมีความเข้มข้นเท่ากัน แสดงความหนืดสูงสุดที่แตกต่างกันเช่นเดียวกับการศึกษาผลกระทบจากการเติมน้ำตาล คือ มีค่าเท่ากับ 339 RVU ในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) และมีค่าเท่ากับ 306 RVU ในระบบการเติมเกลือเพิ่ม (ระบบที่ 2) แต่ปัจจัยเรื่องปริมาณของแป้งที่มีอยู่ในระบบยังไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจนว่าเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างเมื่อมีการเติมเกลือลงในระบบ เนื่องจากปริมาณของแป้งในของผสมปริมาตร 25 มิลลิลิตรจะลดลงเมื่อปริมาณของเกลือสูงขึ้นในระบบการเติมเกลือเพิ่ม (ระบบที่ 2) ความหนืดที่เกิดจากแป้งจึงควรที่จะมีค่าลดลง แต่ความหนืดสูงสุดของตัวอย่างกลับแสดงค่าที่ค่อนข้างคงที่ ดังนั้นการเติมเกลือจึงน่าจะทำให้ตัวอย่างมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเมื่อชดเชยกับความหนืดจากปริมาณแป้งที่ลดลงแล้ว ความหนืดของตัวอย่างจึงมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่ในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) กลับแสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณแป้งที่มีอยู่ในระบบคงที่ การเติมเกลือกลับทำให้ความหนืดลดลงในช่วงแรก แล้วเพิ่มขึ้นเมื่อถึงความเข้มข้นของเกลือระดับหนึ่ง สมมติฐานที่ว่าเกลือทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นจึงยังไม่สามารถนำมาใช้อธิบายได้ด้วยข้อมูลเพียงเท่านี้

ข้อสันนิษฐานประการหนึ่งที่จะนำมาใช้อธิบายการลดลงของความหนืดสูงสุดที่ความเข้มข้นของเกลือต่ำ คือ การที่เม็ดแป้งพองตัวได้น้อยลง เนื่องจากกรณีนี้ความหนืดสูงสุดมีค่าลดลง

และเวลาที่เกิดความหนืดสูงสุดจะมีค่าเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับผลการทดลอง ซึ่งเมื่อปริมาณเกลือเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดที่จะยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้งได้สูงสุดไปแล้ว ปัจจัยเรื่องการพองตัวของเม็ดแป้งจะคงที่ แต่ปัจจัยอื่นที่ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งน้อยกว่าความหนืดที่ลดลงจากการพองตัวได้น้อยลงร่วมกับปัจจัยอื่นที่ทำให้ความหนืดลดลง เช่น ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ที่ลดลง ในช่วงแรกยังคงดำเนินต่อไป ความหนืดสูงสุดที่ความเข้มข้นของเกลือสูงจึงเพิ่มขึ้น โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้ความหนืดโดยรวมของระบบมีค่าเพิ่มขึ้น คือ อัตราส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำ

สำหรับระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) เมื่อความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้น ค่า Breakdown แสดงแนวโน้มลดลง ตรงกันข้ามกับการเติมน้ำตาล เช่นเดียวกับระบบการเติมเกลือเพิ่ม (ระบบที่ 2) ดังภาพที่ 35 แสดงว่าการเติมเกลือช่วยให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งการที่เม็ดแป้งแข็งแรงและพองตัวได้น้อยลงจะส่งผลให้ความหนืดของแป้งลดลง ซึ่งในช่วงแรกของการเติมเกลือความหนืดที่เพิ่มจากการที่อัตราส่วนระหว่างแป้งกับน้ำเพิ่มขึ้นยังคงมีไม่มาก ผลของการที่เม็ดแป้งพองตัวได้น้อยลงซึ่งทำให้ความหนืดลดลงจึงปรากฏเด่นชัดมากกว่า ความหนืดโดยรวมของระบบจึงลดลง แต่เมื่อเติมเกลือเพิ่มสูงขึ้น ปัจจัยเรื่องการพองตัวได้สิ้นสุดไปแล้ว ดังจะเห็นได้จากค่า Breakdown ของตัวอย่างที่เติมเกลือร้อยละ 3 และร้อยละ 5 โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ มีค่าใกล้เคียงกันมาก ในขณะที่อัตราส่วนระหว่างแป้งต่อน้ำซึ่งเพิ่มขึ้นในอัตราที่เพิ่มขึ้นเมื่อเติมเกลือแบบแทนที่น้ำจะยิ่งปรากฏผลชัดขึ้น ค่าความหนืดโดยรวมของระบบเมื่อเติมเกลือปริมาณสูงจึงกลับเพิ่มขึ้น

อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเกลือเพิ่มสูงขึ้นทั้งสองระบบเช่นเดียวกันกับการเติมน้ำตาล แต่เกลือจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าน้ำตาลที่ความเข้มข้นเดียวกัน คือ เปลี่ยนจาก 73.2 องศาเซลเซียส เมื่อไม่มีการเติมเกลือ มาเป็น 82.3 องศาเซลเซียส เมื่อมีการเติมเกลือความเข้มข้นร้อยละ 5 สำหรับระบบการเติมแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) ในขณะที่การเติมน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 5 จะมีอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดเพียง 75.4 องศาเซลเซียส และมีการเปลี่ยนแปลงในระบบการเติมเกลือเพิ่ม (ระบบที่ 2) จาก 73.8 องศาเซลเซียส เป็น 82.1 องศาเซลเซียส สำหรับตัวอย่างควบคุมที่ไม่เติมเกลือ และตัวอย่างที่เติมเกลือความเข้มข้นร้อยละ 5 ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างที่มีการเติมน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 5 มีอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด เท่ากับ 74.9 องศาเซลเซียส

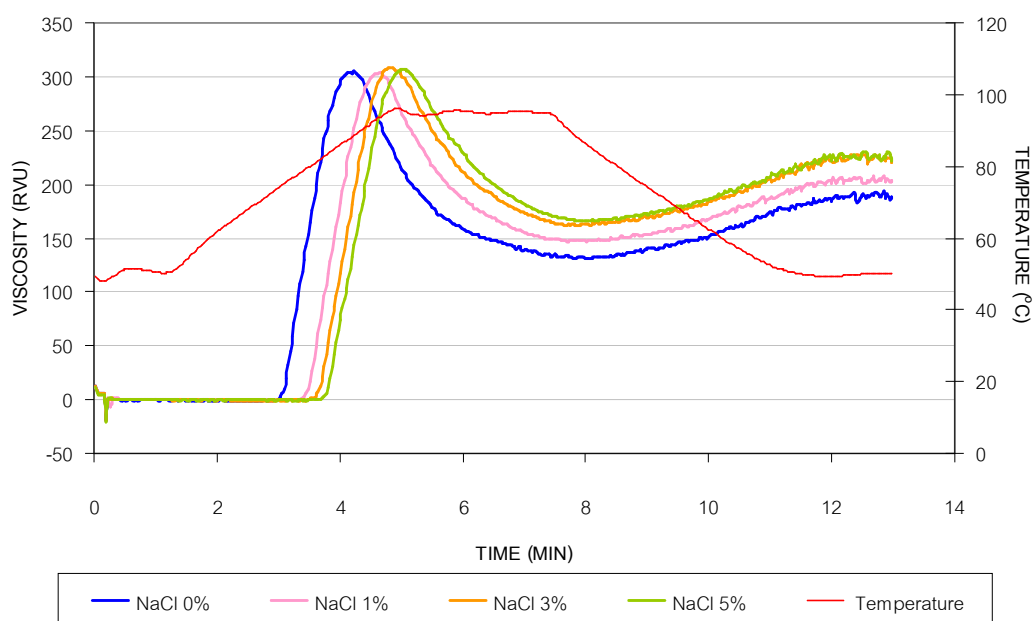


ภาพที่ 33 ลักษณะความหนืดของแป้งมันสำปะหลังในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ

ตารางที่ 24 ผลกระทบของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อลักษณะความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง ในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ

	NaCl 0%	NaCl 1%	NaCl 3%	NaCl 5%
Peak Viscosity (RVU)	339 ± 7^b	319 ± 10^a	$329 \pm 7^{a,b}$	361 ± 4^c
Trough (RVU)	150 ± 3^a	148 ± 4^a	168 ± 2^b	180 ± 3^c
Breakdown (RVU)	189 ± 4^c	$170 \pm 9^{a,b}$	162 ± 5^a	$180 \pm 2^{b,c}$
Final Viscosity (RVU)	230 ± 6^a	231 ± 3^a	251 ± 1^b	264 ± 12^b
Setback (RVU)	80 ± 3^a	82 ± 1^a	84 ± 3^a	84 ± 11^a
Peak Time (min)	4.2 ± 0.0^a	4.6 ± 0.0^b	4.8 ± 0.1^c	5.0 ± 0.1^d
Pasting Temperature (°C)	73.2 ± 0.1^a	77.8 ± 0.5^b	80.3 ± 0.0^c	82.3 ± 0.4^d

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

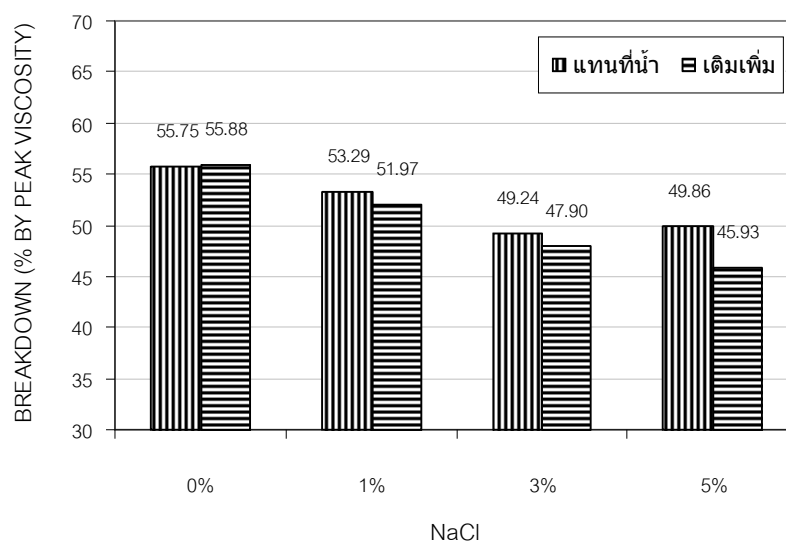


ภาพที่ 34 ลักษณะความหนืดของแป้งมันสำปะหลังในระบบการเติมเกลือเพิ่ม

ตารางที่ 25 ผลกระทบของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ต่อลักษณะความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง ในระบบการเติมเกลือเพิ่ม

	NaCl 0%	NaCl 1%	NaCl 3%	NaCl 5%
Peak Viscosity (RVU)	306 ± 1 ^a	304 ± 3 ^a	309 ± 1 ^a	307 ± 9 ^a
Trough (RVU)	135 ± 8 ^a	145 ± 2 ^b	161 ± 2 ^c	166 ± 4 ^c
Breakdown (RVU)	171 ± 7 ^c	158 ± 2 ^b	148 ± 2 ^a	141 ± 6 ^a
Final Viscosity (RVU)	192 ± 6 ^a	201 ± 3 ^a	220 ± 3 ^b	222 ± 9 ^b
Setback (RVU)	57 ± 2 ^a	56 ± 1 ^a	59 ± 2 ^a	56 ± 6 ^a
Peak Time (min)	4.3 ± 0.2 ^a	4.6 ± 0.1 ^b	4.8 ± 0.1 ^c	5.0 ± 0.0 ^d
Pasting Temperature (°C)	73.8 ± 0.3 ^a	78.1 ± 0.2 ^b	80.4 ± 0.8 ^c	82.1 ± 0.0 ^d

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 35 ค่า Breakdown เทียบกับความหนืดสูงสุดของแป้งมันสำปะหลังเมื่อเติมเกลือ

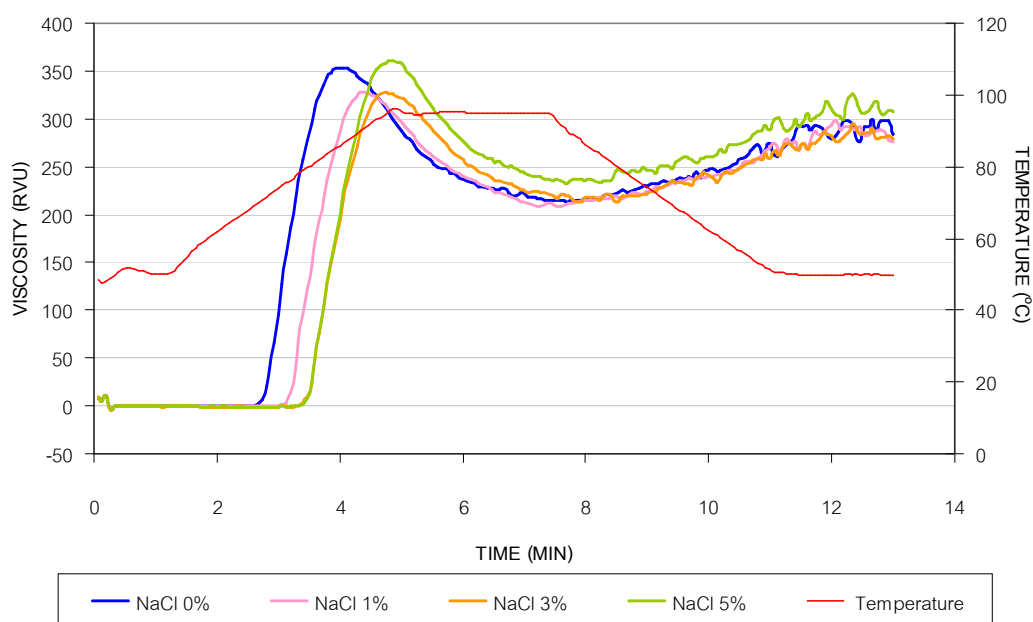
2.2 แป้งแอชีเทต

แป้งแอชีเทตแสดงแนวโน้มเช่นเดียวกับแป้งมันสำปะหลังทุกประการ เมื่อมีการเติมเกลือลงไปในระบบทั้งสองระบบ โดยแสดงค่าความหนืดสูงสุดลดลงในช่วงแรกของการเติมเกลือ และกลับเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณเกลือเพิ่มสูงขึ้น สำหรับระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) และมีความหนืดที่ค่อนข้างคงที่สำหรับระบบการเติมเกลือเพิ่ม (ระบบที่ 2) ดังตารางที่ 26, 27 และภาพที่ 36, 37 แต่การเปลี่ยนแปลงความหนืดสูงสุดของแป้งแอชีเทตมีค่าน้อยกว่าแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นเกลือเท่ากัน เช่น ที่ความเข้มข้นของเกลือร้อยละ 5 โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ แป้งแอชีเทตมีความหนืดสูงสุดเปลี่ยนแปลงไปจากตัวอย่างที่ไม่มีการเติมเกลือ จาก 352 RVU เป็น 362 RVU คิดเป็นร้อยละ 2.84 ในขณะที่แป้งมันสำปะหลังมีความหนืดสูงสุดเพิ่มจาก 339 RVU เป็น 361 RVU คิดเป็นร้อยละ 6.49 สำหรับระบบเติมเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) เป็นต้น

อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดมีการเปลี่ยนแปลงที่สูงกว่าการเติมน้ำตาลที่ความเข้มข้นเดียวกันเช่นเดียวกับแป้งมันสำปะหลัง แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบการเติมทั้งสอง แป้งแอชีเทตกลับแสดงผลที่แตกต่างกันมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง คือ อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดของตัวอย่างในระบบการเติมเกลือเพิ่ม (ระบบที่ 2) จะมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่เติมเกลือความเข้มข้นเดียวกันในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) คือ มีอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความ

หนืดเป็น 70.5, 74.6, 78.3 และ 78.6 องศาเซลเซียส เมื่อมีการเติมเกลือแทนที่น้ำร้อยละ 0, 1, 3 และ 5 โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ และมีค่าเท่ากับ 71.5, 75.6, 77.7 และ 79.3 องศาเซลเซียส ในระบบการเติมเกลือเพิ่ม (ระบบที่ 2) ในขณะที่แป้งมันสำปะหลังแสดงอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดใกล้เคียงกัน ที่ความเข้มข้นของเกลือเท่ากันในระบบการเติมทั้งสองระบบ คือ มีอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดเป็น 73.2, 77.8, 80.3 และ 82.3 องศาเซลเซียส สำหรับระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) และมีอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดเป็น 73.8, 78.1, 80.4 และ 82.1 องศาเซลเซียส สำหรับระบบการเติมเกลือเพิ่ม (ระบบที่ 2)

เมื่อดูแป้งมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเกลือ จากค่า Breakdown ที่ลดลงทั้งในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) และระบบการเติมเกลือเพิ่ม (ระบบที่ 2) แต่จะเริ่มคงที่เมื่อเติมเกลือสูงกว่าร้อยละ 3 โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ ในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) ซึ่งมีผลทำให้ความหนืดของระบบลดลงในช่วงแรกและกลับเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเกลือสูงขึ้นเช่นเดียวกับที่ปรากฏในแป้งแอซีเทต ดังภาพที่ 38

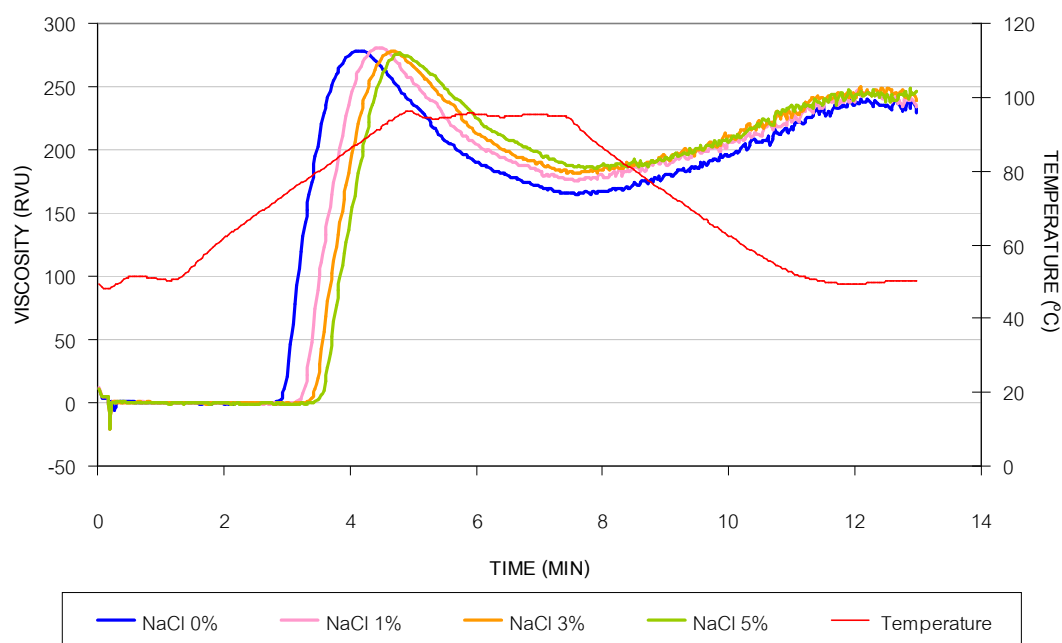


ภาพที่ 36 ลักษณะความหนืดของแป้งแอซีเทตในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ

ตารางที่ 26 ผลกระทบของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อลักษณะความหนืดของแป้งแอซีเทด ในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ

	NaCl 0%	NaCl 1%	NaCl 3%	NaCl 5%
Peak Viscosity (RVU)	352 ± 7^b	328 ± 7^a	329 ± 0^a	362 ± 4^b
Trough (RVU)	207 ± 9^a	207 ± 7^a	213 ± 2^a	231 ± 7^b
Breakdown (RVU)	144 ± 2^d	121 ± 0^b	116 ± 2^a	130 ± 3^c
Final Viscosity (RVU)	284 ± 1^a	276 ± 7^a	280 ± 4^a	307 ± 5^b
Setback (RVU)	77 ± 11^a	69 ± 13^a	68 ± 1^a	76 ± 12^a
Peak Time (min)	4.0 ± 0.1^a	4.4 ± 0.0^b	4.8 ± 0.1^c	4.8 ± 0.0^c
Pasting Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	70.5 ± 1.2^a	74.6 ± 0.5^b	78.3 ± 0.9^c	78.6 ± 1.0^c

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

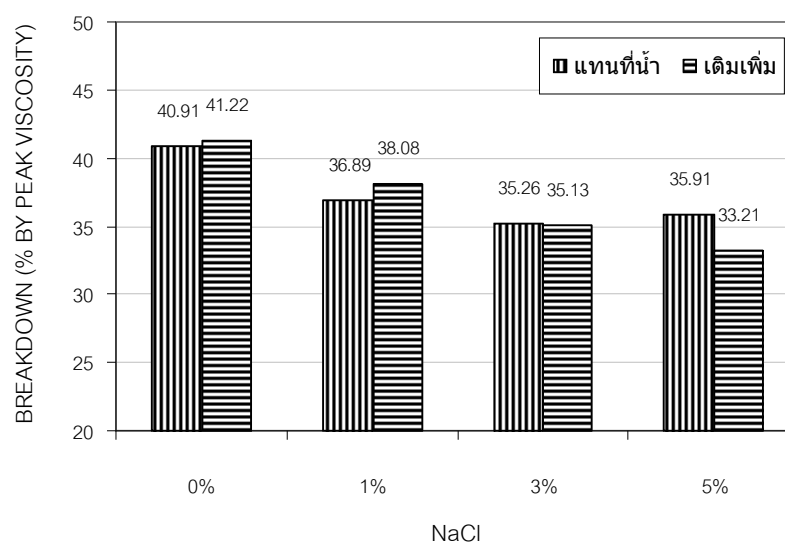


ภาพที่ 37 ลักษณะความหนืดของแป้งแอซีเทดในระบบการเติมเกลือเพิ่ม

ตารางที่ 27 ผลกระทบของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ต่อลักษณะความหนืดของแป้งแอชีเทต ในระบบการเติมเกลือเพิ่ม

	NaCl 0%	NaCl 1%	NaCl 3%	NaCl 5%
Peak Viscosity (RVU)	279 ± 6^a	281 ± 2^a	279 ± 5^a	277 ± 5^a
Trough (RVU)	164 ± 3^a	175 ± 2^b	$181 \pm 4^{b,c}$	184 ± 5^c
Breakdown (RVU)	115 ± 6^c	107 ± 1^b	98 ± 2^a	92 ± 1^a
Final Viscosity (RVU)	227 ± 2^a	$235 \pm 6^{a,b}$	$239 \pm 2^{b,c}$	246 ± 7^c
Setback (RVU)	63 ± 4^a	60 ± 5^a	59 ± 4^a	62 ± 3^a
Peak Time (min)	4.1 ± 0.1^a	4.5 ± 0.1^b	4.7 ± 0.1^c	4.8 ± 0.0^d
Pasting Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	71.5 ± 0.0^a	75.6 ± 0.5^b	77.7 ± 0.3^c	79.3 ± 0.3^d

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

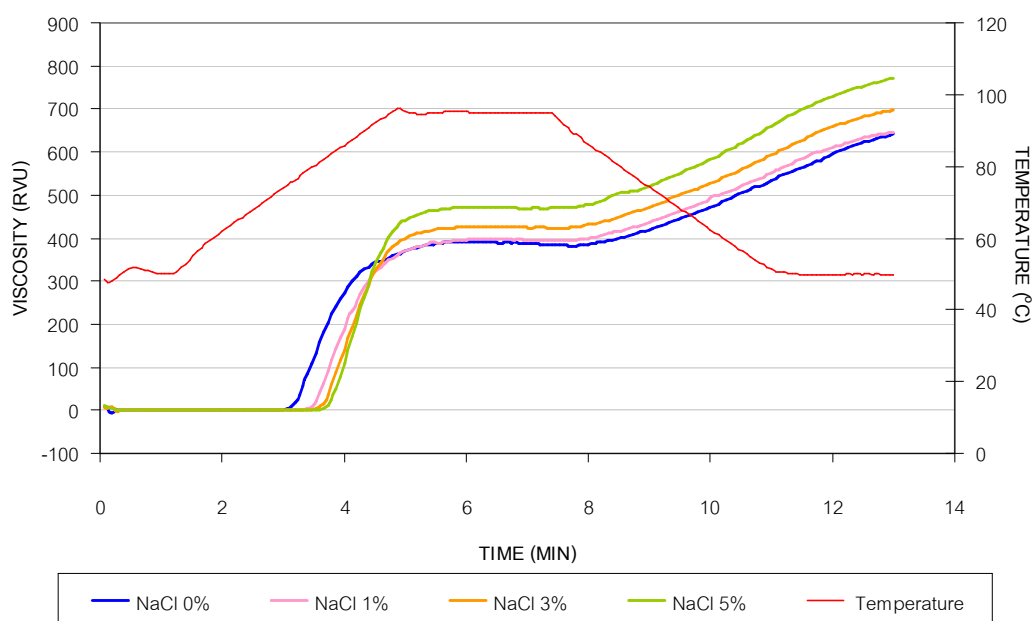


ภาพที่ 38 ค่า Breakdown เทียบกับความหนืดสูงสุดของแป้งแอชีเทตเมื่อเติมเกลือ

2.3 แป้งครอสติง

แป้งครอสติงแสดงค่าความหนืดสูงสุดเมื่อเติมเกลือร้อยละ 0-5 โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ แตกต่างจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งแอซีเทต คือ มีแนวโน้มของความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมเกลือในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) ดังตารางที่ 28 และภาพที่ 39 แต่มีค่าความหนืดสูงสุดค่อนข้างคงที่ในระบบการเติมเกลือเพิ่ม (ระบบที่ 2) เช่นเดียวกับแป้งมันสำปะหลังและแป้งแอซีเทต ดังตารางที่ 29 และภาพที่ 40 โดยที่ระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) มีค่าความหนืดสูงสุด เท่ากับ 392, 398, 427 และ 472 RVU เมื่อเติมเกลือความเข้มข้นร้อยละ 0, 1, 3 และ 5 ตามลำดับ และมีค่าเท่ากับ 384, 382, 378 และ 379 RVU ตามลำดับ สำหรับการเติมเกลือในระบบการเติมเกลือเพิ่ม เนื่องจากแป้งครอสติงเป็นแป้งที่พองตัวได้น้อย จากการที่มีพันธะโควาเลนต์ที่ช่วยเสริมโครงสร้างของเม็ดแป้งไว้มีความแข็งแรงมากขึ้น ผลจากการที่เกลือทำให้เม็ดแป้งสามารถพองตัวได้น้อยลงซึ่งปรากฏชัดในแป้งมันสำปะหลัง และแป้งแอซีเทตจึงไม่เห็นเด่นชัดกับแป้งครอสติง ความหนืดของแป้งในระบบที่เป็นการเติมเกลือแบบแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) จึงมีค่าสูงขึ้นจากการที่อัตราส่วนระหว่างแป้งกับน้ำเพิ่มขึ้น และมีค่าคงที่สำหรับแป้งในระบบที่เป็นการเติมเกลือแบบเติมเพิ่ม (ระบบที่ 2) ซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างแป้งกับน้ำคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับค่า Breakdown ที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักดังภาพที่ 41

อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดยังคงแสดงแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมเกลือลงไปในระบบทั้งสองระบบ เช่นเดียวกันกับแป้งมันสำปะหลังและแป้งแอซีเทต โดยที่อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดของระบบการเติมเกลือเพิ่ม (ระบบที่ 2) โดยรวมจะมีค่าสูงกว่าระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) เล็กน้อย เช่นเดียวกันกับแป้งแอซีเทต

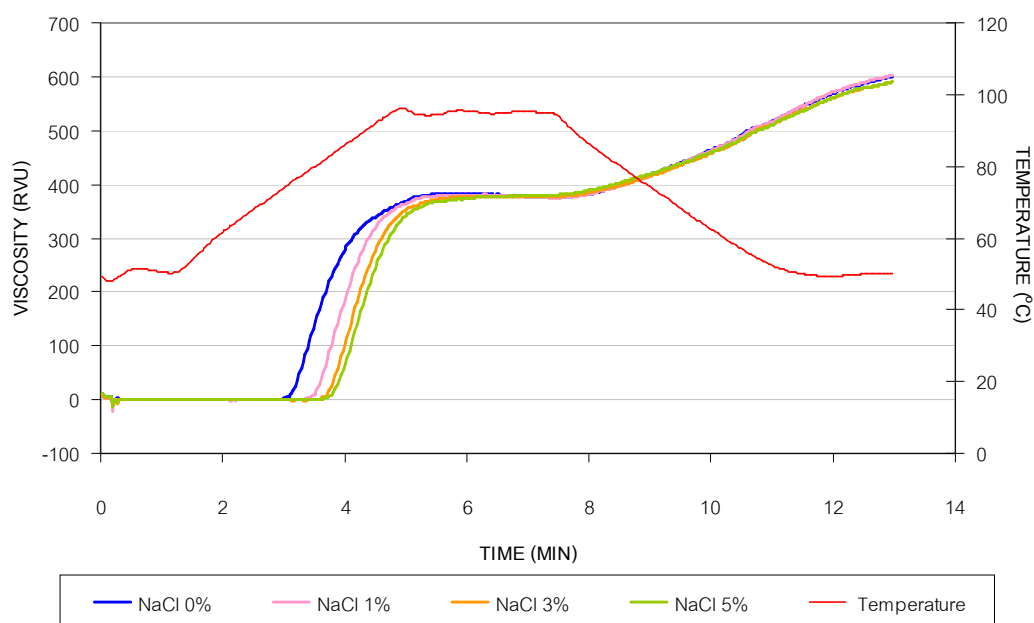


ภาพที่ 39 ลักษณะความหนืดของแป้งครอสลิงในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ

ตารางที่ 28 ผลกระทบของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อลักษณะความหนืดของแป้งครอสลิง ในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ

	NaCl 0%	NaCl 1%	NaCl 3%	NaCl 5%
Peak Viscosity (RVU)	392 ± 2^a	398 ± 3^a	427 ± 6^b	472 ± 1^c
Trough (RVU)	380 ± 3^a	393 ± 3^b	423 ± 6^c	468 ± 0^d
Breakdown (RVU)	12 ± 2^b	5 ± 0^a	4 ± 0^a	5 ± 1^a
Final Viscosity (RVU)	645 ± 5^a	647 ± 8^a	697 ± 7^b	772 ± 4^c
Setback (RVU)	265 ± 6^b	254 ± 5^a	274 ± 3^c	304 ± 4^d
Peak Time (min)	5.9 ± 0.1^a	6.3 ± 0.1^b	6.2 ± 0.1^b	$6.1 \pm 0.2^{a,b}$
Pasting Temperature (°C)	73.9 ± 0.3^a	77.5 ± 0.5^b	79.6 ± 0.8^c	80.1 ± 0.4^c

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

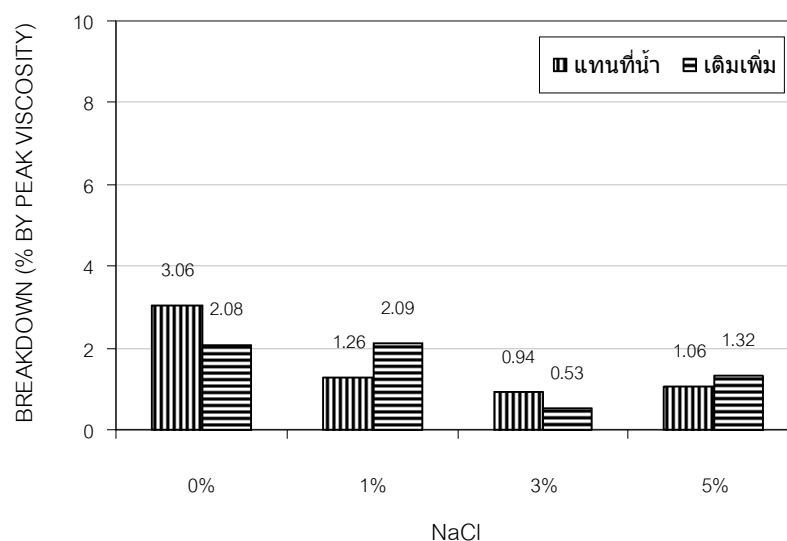


ภาพที่ 40 ลักษณะความหนืดของแป้งครอสลิงในระบบการเติมเกลือเพิ่ม

ตารางที่ 29 ผลกระทบของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ต่อลักษณะความหนืดของแป้งครอสลิง ในระบบการเติมเกลือเพิ่ม

	NaCl 0%	NaCl 1%	NaCl 3%	NaCl 5%
Peak Viscosity (RVU)	384 ± 3^a	382 ± 2^a	378 ± 2^a	379 ± 7^a
Trough (RVU)	376 ± 5^a	374 ± 2^a	376 ± 2^a	374 ± 7^a
Breakdown (RVU)	8 ± 3^b	8 ± 4^b	2 ± 0^a	$5 \pm 1^{a,b}$
Final Viscosity (RVU)	600 ± 4^a	602 ± 6^a	591 ± 3^a	590 ± 12^a
Setback (RVU)	225 ± 8^a	228 ± 5^a	216 ± 5^a	217 ± 5^a
Peak Time (min)	5.7 ± 0.3^a	6.0 ± 0.4^a	6.7 ± 0.4^b	6.9 ± 0.1^b
Pasting Temperature (°C)	73.8 ± 0.3^a	78.1 ± 0.6^b	80.3 ± 0.2^c	81.5 ± 0.6^d

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

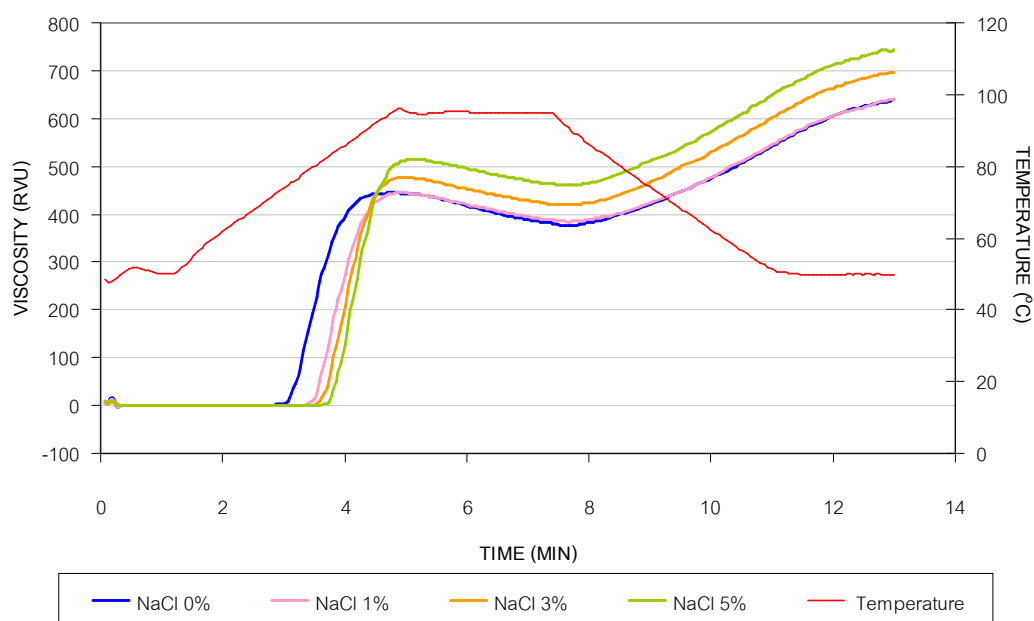


ภาพที่ 41 ค่า Breakdown เทียบกับความหนืดสูงสุดของแป้งครอสลิงเมื่อเติมเกลือ

2.4 แป้งแอซีเทต-ครอสลิง

แป้งแอซีเทต-ครอสลิงแสดงแนวโน้มของความหนืดสูงสุดเมื่อมีการเติมเกลือเช่นเดียวกับแป้งครอสลิงทั้งสองระบบ คือ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเกลือที่เติมเพิ่มขึ้น สำหรับระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) ดังตารางที่ 30 และภาพที่ 42 และมีค่าค่อนข้างคงที่ สำหรับระบบการเติมเกลือเพิ่ม (ระบบที่ 2) ดังตารางที่ 31 และภาพที่ 43 และค่า Breakdown มีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมเกลือเพิ่มขึ้นทั้งสองระบบ ดังภาพที่ 44

อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่อเติมเกลือลงในระบบทั้งสองระบบ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับแป้งชนิดอื่น โดยมีค่าเท่ากับ 72.9, 77.7, 79.1 และ 80.6 องศาเซลเซียส เมื่อเติมเกลือร้อยละ 0, 1, 3 และ 5 โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ สำหรับระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) และมีค่าเท่ากับ 73.3, 77.0, 79.9 และ 81.6 องศาเซลเซียส สำหรับระบบการเติมเกลือเพิ่ม

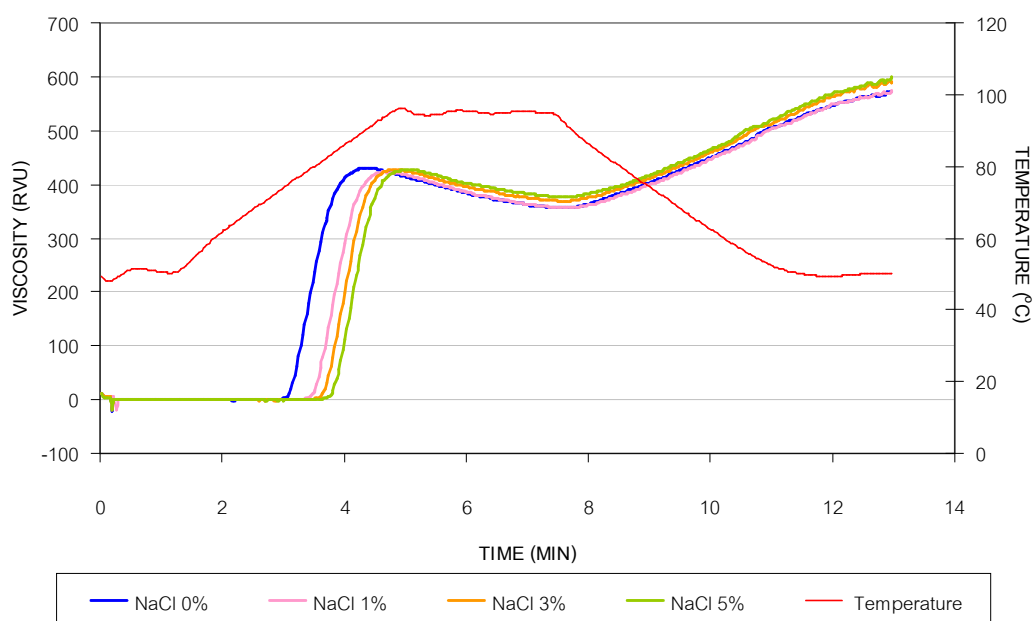


ภาพที่ 42 ลักษณะความหนืดของแป้งแอซีเทต-คอสติงในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ

ตารางที่ 30 ผลกระทบของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อลักษณะความหนืดของแป้งแอซีเทต-คอสติงในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำ

	NaCl 0%	NaCl 1%	NaCl 3%	NaCl 5%
Peak Viscosity (RVU)	439 ± 9 ^a	446 ± 1 ^a	477 ± 8 ^b	515 ± 10 ^c
Trough (RVU)	372 ± 9 ^a	385 ± 7 ^a	419 ± 8 ^b	461 ± 12 ^c
Breakdown (RVU)	67 ± 3 ^b	61 ± 6 ^{a,b}	58 ± 1 ^a	54 ± 4 ^a
Final Viscosity (RVU)	629 ± 16 ^a	642 ± 3 ^a	696 ± 12 ^b	744 ± 18 ^c
Setback (RVU)	258 ± 9 ^a	257 ± 4 ^a	277 ± 5 ^b	283 ± 7 ^b
Peak Time (min)	4.7 ± 0.1 ^a	4.9 ± 0.0 ^b	4.9 ± 0.1 ^b	5.2 ± 0.1 ^c
Pasting Temperature (°C)	72.9 ± 1.0 ^a	77.7 ± 0.5 ^b	79.1 ± 0.5 ^c	80.6 ± 0.5 ^d

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

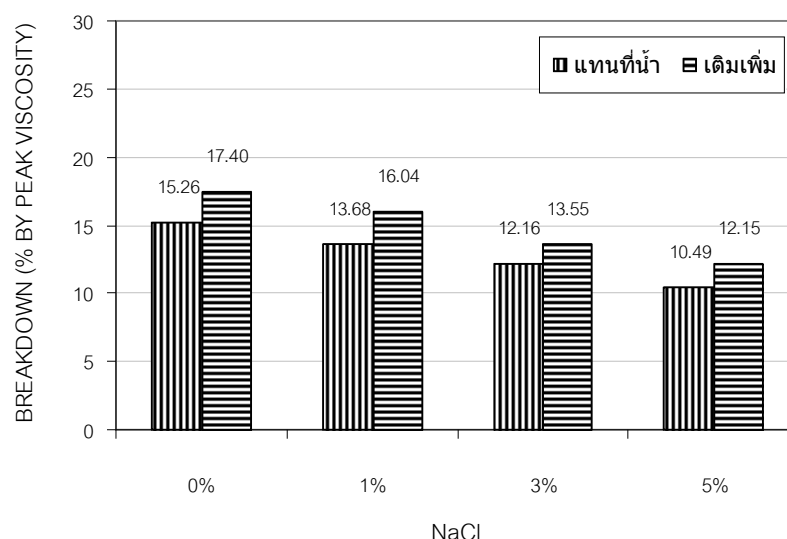


ภาพที่ 43 ลักษณะความหนืดของแป้งแอซีเทต-คอสติงในระบบการเติมเกลือเพิ่ม

ตารางที่ 31 ผลกระทบของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ต่อลักษณะความหนืดของแป้งแอซีเทต-คอสติงในระบบการเติมเกลือเพิ่ม

	NaCl 0%	NaCl 1%	NaCl 3%	NaCl 5%
Peak Viscosity (RVU)	431 ± 3^a	424 ± 6^a	428 ± 4^a	428 ± 6^a
Trough (RVU)	356 ± 3^a	356 ± 7^a	369 ± 5^b	376 ± 4^b
Breakdown (RVU)	75 ± 1^d	68 ± 2^c	58 ± 1^b	52 ± 3^a
Final Viscosity (RVU)	572 ± 8^a	574 ± 10^a	589 ± 3^b	599 ± 2^b
Setback (RVU)	216 ± 4^a	219 ± 4^a	220 ± 4^a	222 ± 4^a
Peak Time (min)	4.4 ± 0.0^a	4.6 ± 0.1^b	4.8 ± 0.1^c	5.0 ± 0.1^d
Pasting Temperature (°C)	73.3 ± 0.2^a	77.0 ± 0.4^b	79.9 ± 0.2^c	81.6 ± 0.2^d

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



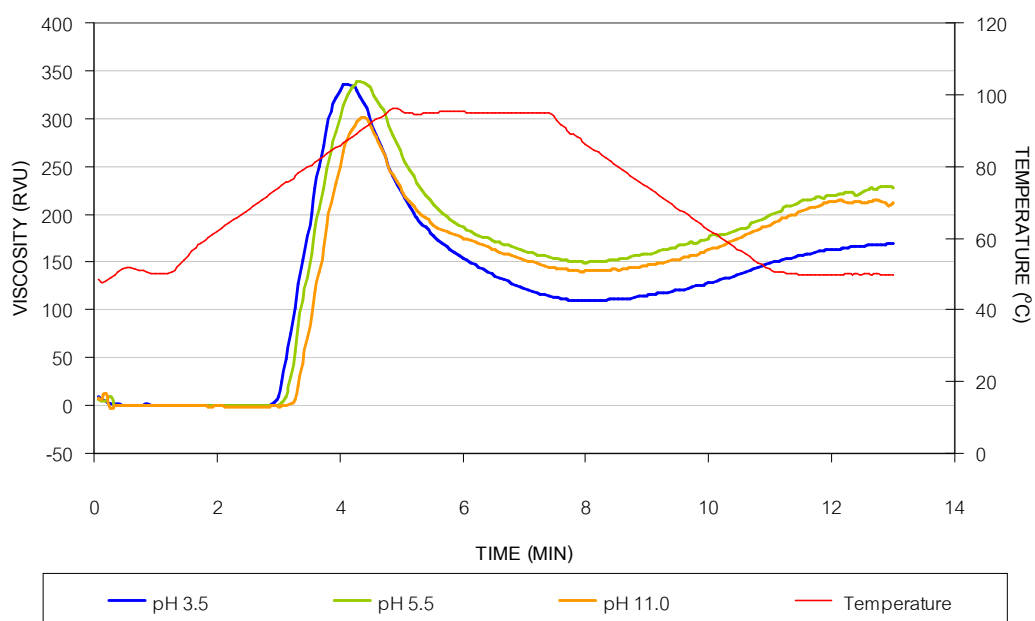
ภาพที่ 44 ค่า Breakdown เทียบกับความหนืดสูงสุดของแป้งแอซีเทต-โครสลิงเมื่อเดิมเกลือ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชนิดของแป้ง พบว่าแป้งทุกชนิดมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดสูงสุด และค่าการคั่นตัวน้อยมาก เมื่อมีการเติมเกลือลงไปในระบบการเติมเกลือเพิ่ม (ระบบที่ 2) เช่นเดียวกับการเติมน้ำตาลซูโครส แป้งมันสำปะหลัง และแป้งแอซีเทต แสดงแนวโน้มของความหนืดเช่นเดียวกันในทุกค่าความหนืดที่ทำการศึกษาเมื่อเติมเกลือแบบแทนที่น้ำ (ระบบที่ 1) คือ ลดลงเมื่อเติมเกลือปริมาณต่ำ แล้วกลับเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเกลือสูงขึ้น แต่แป้งโครสลิงและแป้งแอซีเทต-โครสลิง แสดงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อเติมเกลือในทุกจุดที่ทำการศึกษา ขณะที่ค่า Breakdown มีแนวโน้มเช่นเดียวกันในแป้งทุกชนิดคือมีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อปริมาณเกลือที่เติมเพิ่มขึ้น

3. ผลกระทบจากความเป็นกรด-ด่างต่อความหนืดของแป้งดัดแปร

จากผลการศึกษาผลกระทบของความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งดัดแปร ที่ไม่ปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ปรับสภาวะเป็นกรด (pH 3.5) และปรับสภาวะเป็นด่าง (pH 11) พบว่าความหนืดของแป้งที่ไม่ปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่าง มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับความหนืดของแป้งที่ปรับสภาวะเป็นกรด และปรับสภาวะเป็นด่างในทุกชนิดของแป้งที่ทำการศึกษา ยกเว้นแป้ง โครสลิงที่มีความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นด่าง

แป้งมันสำปะหลังเมื่ออยู่ในสภาวะของความเป็นกรด-ด่างที่ไม่ใช่สภาวะปกติจะมีค่าความหนืดสูงสุดลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 334, 339 และ 304 RVU ในสภาวะที่เป็นกรด สภาวะปกติที่ไม่มี การปรับความเป็นกรด-ด่าง และสภาวะที่เป็นด่าง ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Mali *et al.* (2003) ที่ศึกษาด้วยเครื่อง Brabender viscograph พบว่าแป้งเปียกจากแป้งมันเทศมีความหนืดสูงใน สภาวะที่เป็นกลางถึงเป็นกรดเล็กน้อย แนวโน้มเช่นนี้อาจจะเนื่องมาจากเมื่อแป้งอยู่ในสภาวะกรด และมีความร้อน โมเลกุลของแป้งจะเกิดการสลายตัว มีขนาดเล็กลง ความหนืดจึงลดลง ในขณะที่ เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นด่าง เม็ดแป้งสามารถพองตัวได้ง่าย และมีความแข็งแรงน้อยลง เมื่อมีแรงกวน จึงทำให้เม็ดแป้งแตกตัว ความหนืดจึงลดลง ความหนืดต่ำสุดขณะร้อนลดลงมากเมื่ออยู่ในสภาวะที่ เป็นกรด แต่ไม่แตกต่างกันในสภาวะปกติ และสภาวะที่เป็นด่าง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 108, 150 และ 142 RVU ตามลำดับ ส่วนค่า Breakdown แสดงให้เห็นถึงความทนทานของเม็ดแป้งในสภาวะที่เป็นด่าง ซึ่งเป็นสภาวะที่มีค่า Breakdown ต่ำที่สุด และมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดเพิ่มขึ้น หรืออีก นัยหนึ่งคือในสภาวะที่เป็นกรดและมีความร้อน เม็ดแป้งมีความแข็งแรงทนทานลดลงเช่นเดียวกับ กรณีของความหนืดสูงสุดนั่นเอง โดยมีค่าเท่ากับ 227, 189 และ 162 RVU ค่าความหนืดสุดท้าย และ ค่าการคืนตัวแสดงผลเช่นเดียวกันกับค่าความหนืดสูงสุด คือมีค่าลดลงเมื่อถูกปรับให้อยู่ในสภาวะที่ ต่างไปจากปกติ มีค่าเท่ากับ 167, 230 และ 215 RVU สำหรับความหนืดสุดท้าย และ 60, 80 และ 73 RVU สำหรับค่าการคืนตัว แสดงดังตารางที่ 32 และภาพที่ 45 ซึ่งการที่แป้งในสภาวะที่เป็นกรด แสดงค่าการคืนตัวลดลงเกิดขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของแป้งมีสายโซ่สั้นขึ้น จากการถูกย่อยด้วยกรด (Wang *et al.*, 2000)



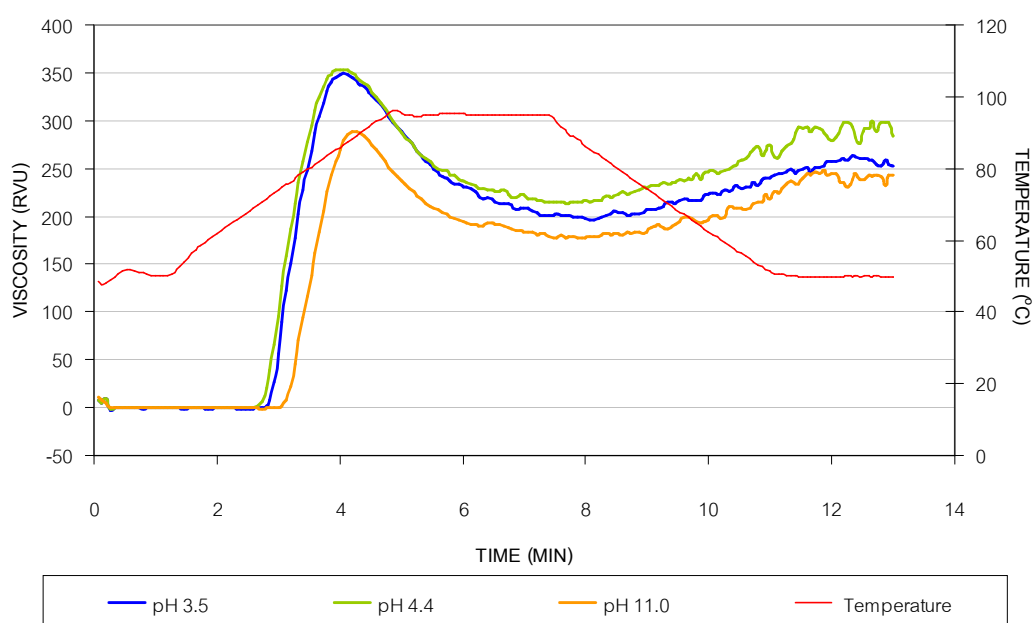
ภาพที่ 45 ลักษณะความหนืดของแป้งมันสำปะหลังในสภาวะที่มีการปรับความเป็นกรด-ด่างเป็นกรด (pH 3.5) ด่าง (pH 11.0) และสภาวะปกติที่ไม่มีการปรับความเป็นกรด-ด่าง (pH 5.5)

ตารางที่ 32 ผลกระทบของความเป็นกรด-ด่างต่อความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง

	pH 3.5	pH as is	pH 11.0
Peak Viscosity (RVU)	334 ± 8^b	339 ± 7^b	304 ± 6^a
Trough (RVU)	108 ± 5^a	150 ± 3^c	142 ± 3^b
Breakdown (RVU)	227 ± 3^c	189 ± 4^b	162 ± 3^a
Final Viscosity (RVU)	167 ± 8^a	230 ± 6^c	215 ± 7^b
Setback (RVU)	60 ± 3^a	80 ± 3^c	73 ± 4^b
Peak Time (min)	4.1 ± 0.0^a	4.2 ± 0.0^a	4.3 ± 0.1^b
Pasting Temperature (°C)	72.6 ± 0.5^a	73.2 ± 0.1^a	76.1 ± 0.5^b

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
pH as is ของตัวอย่างนี้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.5

แป้งแอซีเตดเป็นแป้งที่ดัดแปรเพื่อเพิ่มหมู่แอซีเตดเข้าไปแทนที่ในหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งดิบ โดยเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ทำให้ได้พันธะเอสเทอร์ระหว่างหมู่แอซีเตดและหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้ง หมู่แอซีเตดนี้จะช่วยให้เม็ดแป้งพองตัวได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตามพันธะเอสเทอร์ระหว่างหมู่แอซีเตดและหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งจะไม่เสถียรเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นด่าง (Deesterification) ความหนืดของแป้งจึงลดลง โดยที่ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งชนิดนี้มีค่าเท่ากับ 350, 352 และ 290 RVU เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด สภาวะปกติ และสภาวะที่เป็นด่างตามลำดับ ความหนืดต่ำสุดขณะร้อนมีค่าลดลงเมื่ออยู่ในสภาวะที่ต่างไปจากปกติเช่นเดียวกันกับแป้งมันสำปะหลัง มีค่าเท่ากับ 194, 207 และ 176 RVU ในขณะที่ค่า Breakdown มีค่าลดลงจาก 156 RVU เป็น 144 RVU และ 114 RVU เมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดสุดท้ายและค่าการคืนตัวลดลงเมื่อถูกปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่างให้ต่างไปจากปกติ โดยที่ค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 248, 284 และ 242 RVU ค่าการคืนตัวมีค่าเท่ากับ 54, 77 และ 65 RVU ดังตารางที่ 33 และภาพที่ 46



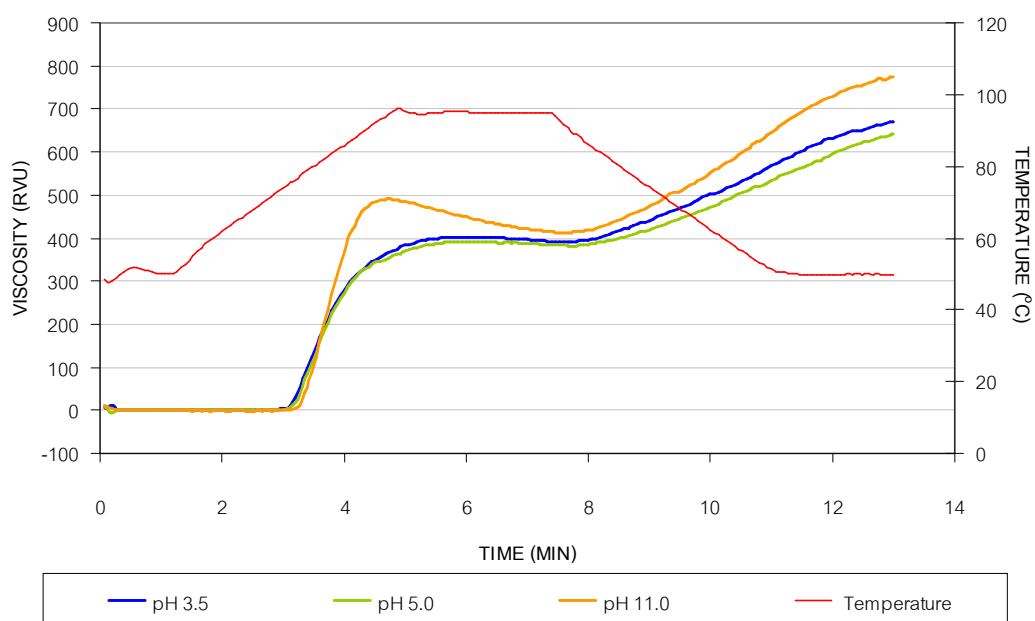
ภาพที่ 46 ลักษณะความหนืดของแป้งแอซีเตดในสภาวะที่มีการปรับความเป็นกรด-ด่างเป็นกรด (pH 3.5) ด่าง (pH 11.0) และสภาวะปกติที่ไม่มีการปรับความเป็นกรด-ด่าง (pH 4.4)

ตารางที่ 33 ผลกระทบของความเป็นกรด-ด่างต่อความหนืดของแป้งแอซีเทด

	pH 3.5	pH as is	pH 11.0
Peak Viscosity (RVU)	350 ± 5^b	352 ± 7^b	290 ± 5^a
Trough (RVU)	194 ± 8^b	207 ± 9^b	176 ± 2^a
Breakdown (RVU)	156 ± 13^b	144 ± 2^b	114 ± 7^a
Final Viscosity (RVU)	248 ± 16^a	284 ± 1^b	242 ± 5^a
Setback (RVU)	54 ± 8^a	77 ± 11^b	$65 \pm 3^{a,b}$
Peak Time (min)	4.0 ± 0.0^a	4.0 ± 0.1^a	4.2 ± 0.0^b
Pasting Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	70.8 ± 0.0^a	70.5 ± 1.2^a	74.6 ± 0.5^b

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
pH as is ของตัวอย่างนี้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.4

แป้งครอสลิงให้ผลที่แตกต่างไปจากแป้งชนิดอื่น เมื่ออยู่ในสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่ต่างไปจากปกติ คือความหนืดสูงสุดของแป้งครอสลิงจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นด่างเพิ่มขึ้น ในขณะที่แป้งชนิดอื่นลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 405, 392 และ 489 RVU เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด สภาวะปกติ และสภาวะที่เป็นด่าง ค่า Breakdown มีค่าน้อยที่สุดเมื่ออยู่ในสภาวะปกติ และเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเท่ากับ 14, 12 และ 78 RVU ในขณะที่ค่าความหนืดสุดท้ายและค่าการคืนตัวก็ยังคงแสดงผลที่แตกต่างไปจากแป้งชนิดอื่นอีกด้วยเช่นกัน คือมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อถูกปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่างให้ต่างไปจากปกติ โดยที่ความหนืดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 670, 645 และ 775 RVU และค่าการคืนตัวมีค่าเท่ากับ 278, 265 และ 364 RVU ดังตารางที่ 34 และภาพที่ 47



ภาพที่ 47 ลักษณะความหนืดของแป้งครอสลิงในสภาวะที่มีการปรับความเป็นกรด-ด่างเป็นกรด (pH 3.5) ด่าง (pH 11.0) และสภาวะปกติที่ไม่มีการปรับความเป็นกรด-ด่าง (pH 5.0)

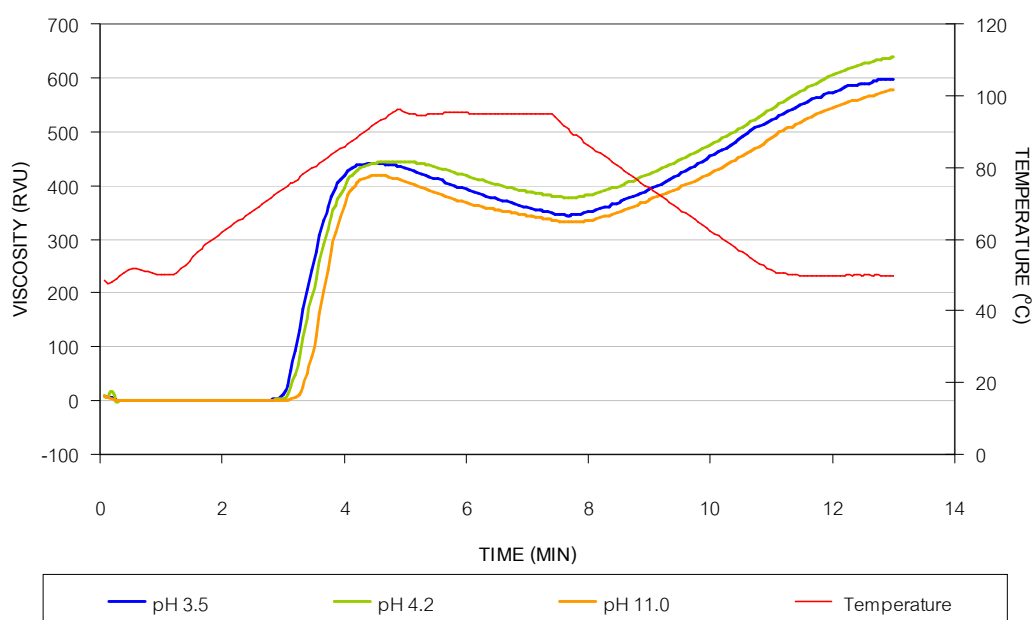
ตารางที่ 34 ผลกระทบของความเป็นกรด-ด่างต่อความหนืดของแป้งครอสลิง

	pH 3.5	pH as is	pH 11.0
Peak Viscosity (RVU)	405 ± 5^b	392 ± 2^a	489 ± 9
Trough (RVU)	392 ± 2^b	380 ± 3^a	411 ± 5
Breakdown (RVU)	14 ± 6^a	12 ± 2^a	78 ± 4^b
Final Viscosity (RVU)	670 ± 8^b	645 ± 5^a	775 ± 6
Setback (RVU)	278 ± 9^a	265 ± 6^a	364 ± 11^b
Peak Time (min)	6.0 ± 0.4^b	5.9 ± 0.1^b	4.6 ± 0.1^a
Pasting Temperature (°C)	73.5 ± 0.5^a	73.9 ± 0.3^a	75.1 ± 0.5^b

หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

pH as is ของตัวอย่างนี้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.0

ค่าความหนืดสำหรับแป้งแอซีเทต-โครสลิงเมื่ออยู่ในสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างไปจากปกติจะมีค่าลดลง ทั้งความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดต่ำสุดขณะร้อน ความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัว ยกเว้นค่า Breakdown ที่มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ความหนืดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 443, 439 และ 420 RVU ความหนืดต่ำสุดขณะร้อนเท่ากับ 350, 372 และ 323 RVU ค่า Breakdown เท่ากับ 93, 67 และ 97 RVU ความหนืดสุดท้ายเท่ากับ 603, 629 และ 579 RVU และค่าการคืนตัวเท่ากับ 254, 258 และ 257 RVU เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด สภาวะปกติ และสภาวะที่เป็นด่าง ตามลำดับ ดังตารางที่ 35 และภาพที่ 48



ภาพที่ 48 ลักษณะความหนืดของแป้งแอซีเทต-โครสลิงในสภาวะที่มีการปรับความเป็นกรด-ด่างเป็นกรด (pH 3.5) ด่าง (pH 11.0) และสภาวะปกติที่ไม่มีการปรับความเป็นกรด-ด่าง (pH 4.2)

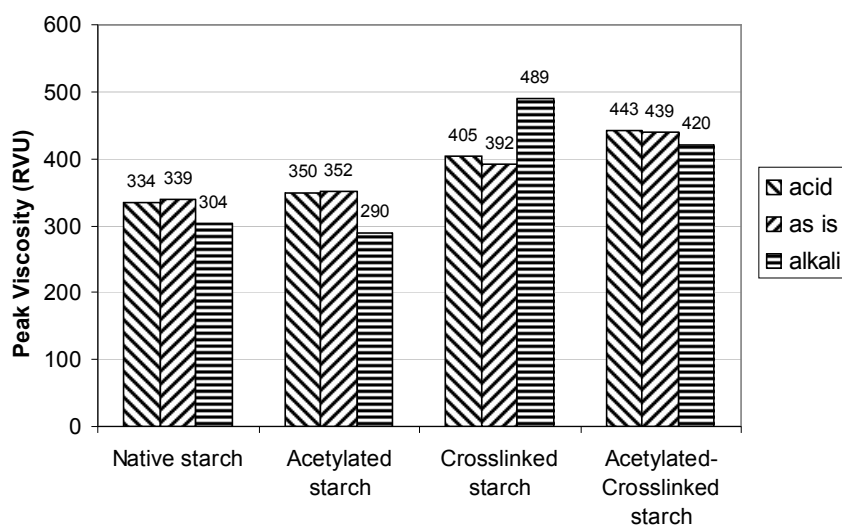
ตารางที่ 35 ผลกระทบของความเป็นกรด-ด่างต่อความหนืดของแป้งแอซีเทต-โครสลิง

	pH 3.5	pH as is	pH 11.0
Peak Viscosity (RVU)	443 ± 3^b	439 ± 9^b	420 ± 1^a
Trough (RVU)	350 ± 9^b	372 ± 9^b	323 ± 16^a
Breakdown (RVU)	93 ± 6^b	67 ± 3^a	97 ± 16^b
Final Viscosity (RVU)	603 ± 14^a	629 ± 16^b	579 ± 4^a
Setback (RVU)	254 ± 6^a	258 ± 9^a	257 ± 17^a
Peak Time (min)	4.5 ± 0.0^a	4.7 ± 0.1^b	4.5 ± 0.0^a
Pasting Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	72.1 ± 0.5^a	$72.9 \pm 1.0^{a,b}$	74.9 ± 1.7^b

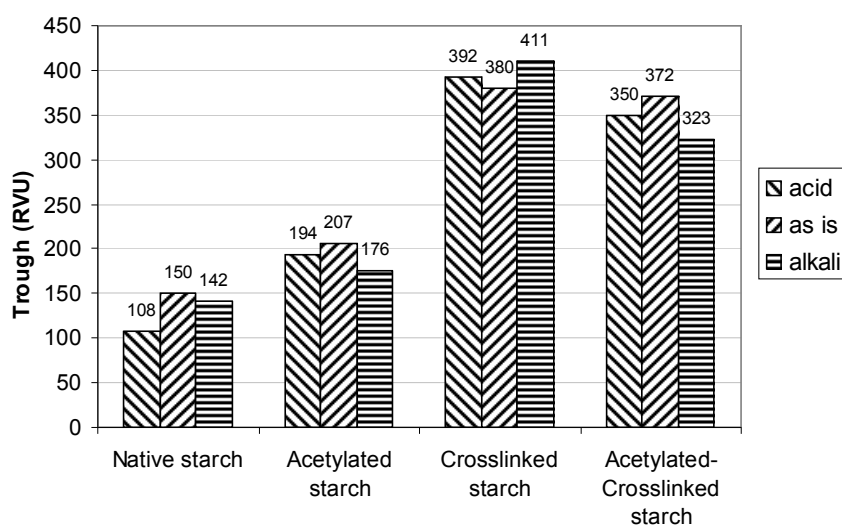
หมายเหตุ a,b,c... ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันในแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

pH as is ของตัวอย่างนี้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.2

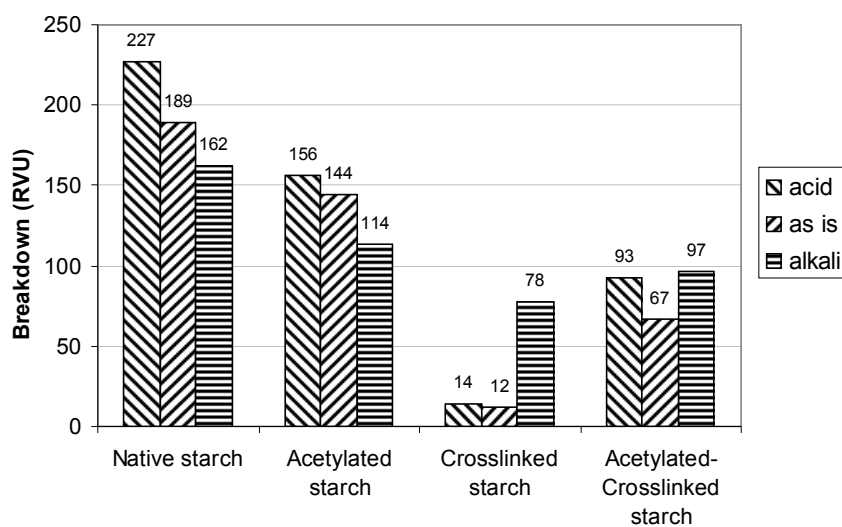
เมื่อพิจารณาถึงชนิดของแป้งพบว่าความหนืดสูงสุดของแป้งแต่ละชนิดมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของแป้งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะความเป็นกรด-ด่าง โดยทั่วไปแล้วในสภาวะเดียวกันแป้งชนิดหนึ่งถ้ามีความหนืดน้อยกว่าแป้งอีกชนิดหนึ่ง แป้งชนิดนั้นก็ยังคงมีความหนืดน้อยกว่าแป้งอีกชนิดหนึ่งเช่นเดิมถ้าแป้งทั้งสองชนิดได้รับการปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่างไปอยู่ยังสภาวะใหม่ซึ่งเป็นสภาวะเดียวกัน แต่ก็มิได้เป็นเช่นนั้นเสมอไป ตัวอย่างเช่น แป้งโครสลิงเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด หรือสภาวะปกติจะมีค่าความหนืดสูงสุดต่ำกว่าแป้งแอซีเทต-โครสลิง แต่เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นด่าง แป้งโครสลิงกลับมีความหนืดสูงสุดสูงกว่าแป้งแอซีเทต-โครสลิง เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าแป้งโครสลิงแสดงแนวโน้มของความหนืดที่แตกต่างไปจากแป้งชนิดอื่นในบางค่าของความหนืดที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุดขณะร้อน ความหนืดสุดท้าย และค่าการคืนตัว ซึ่งแป้งชนิดอื่นจะแสดงแนวโน้มที่ลดลง ในขณะที่แป้งโครสลิงกลับมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อสภาวะความเป็นกรด-ด่างถูกปรับให้เปลี่ยนแปลงไปจากปกติ ดังภาพที่ 49-



as is คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างในสภาวะปกติซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.5, 4.4, 5.0 และ 4.2 สำหรับแป้งมัน
 ลำปะหลัง แป้งแอซีเทต แป้งครอสลิง และแป้งแอซีเทต-ครอสลิง ตามลำดับ
 ภาพที่ 49 ความหนืดสูงสุดของแป้งแต่ละชนิดเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด สภาวะปกติ และสภาวะ
 ที่เป็นด่าง



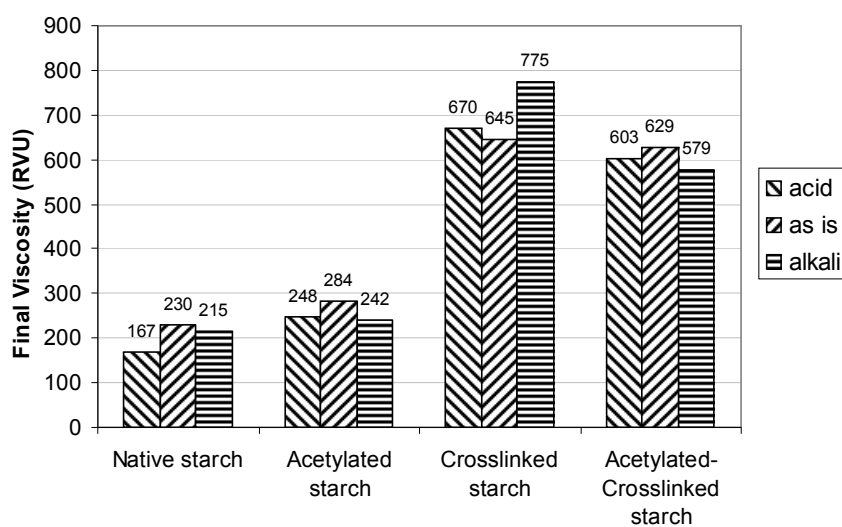
as is คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างในสภาวะปกติซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.5, 4.4, 5.0 และ 4.2 สำหรับแป้งมัน
 ลำปะหลัง แป้งแอซีเทต แป้งครอสลิง และแป้งแอซีเทต-ครอสลิง ตามลำดับ
 ภาพที่ 50 ความหนืดต่ำสุดขณะร้อนของแป้งแต่ละชนิดเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด สภาวะปกติ
 และสภาวะที่เป็นด่าง



as is คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างในสภาวะปกติซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.5, 4.4, 5.0 และ 4.2 สำหรับแป้งมัน

สำปะหลัง แป้งแอซีเทต แป้งครอสลิง และแป้งแอซีเทต-ครอสลิง ตามลำดับ

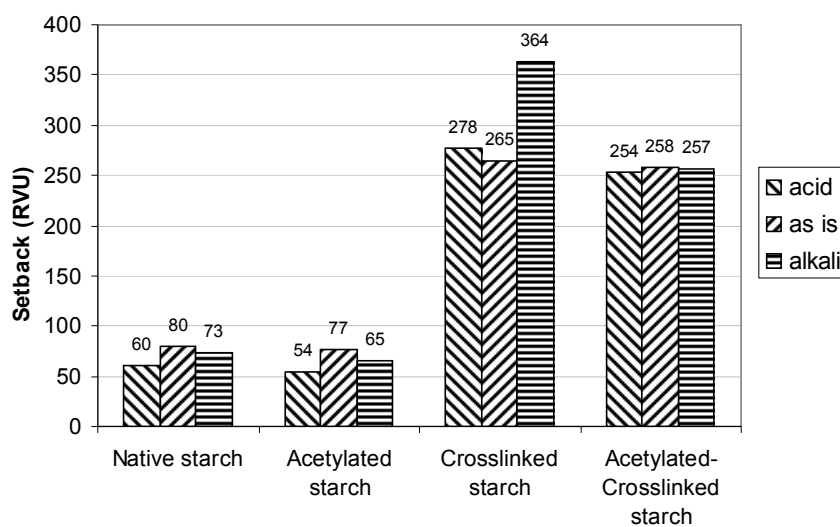
ภาพที่ 51 ค่า Breakdown ของแป้งแต่ละชนิดเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด สภาวะปกติ และสภาวะที่เป็นด่าง



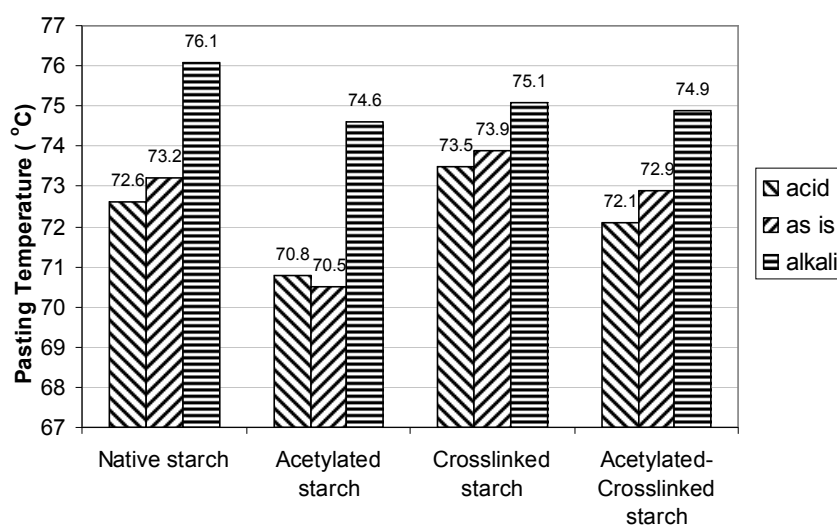
as is คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างในสภาวะปกติซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.5, 4.4, 5.0 และ 4.2 สำหรับแป้งมัน

สำปะหลัง แป้งแอซีเทต แป้งครอสลิง และแป้งแอซีเทต-ครอสลิง ตามลำดับ

ภาพที่ 52 ความหนืดสุดท้ายของแป้งแต่ละชนิดเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด สภาวะปกติ และสภาวะที่เป็นด่าง



as is คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างในสภาวะปกติซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.5, 4.4, 5.0 และ 4.2 สำหรับแป้งมัน
 ลำปะหลัง แป้งแอซีเทต แป้งครอสลิง และแป้งแอซีเทต-ครอสลิง ตามลำดับ
 ภาพที่ 53 การคืนตัวของแป้งแต่ละชนิดเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด สภาวะปกติ และสภาวะที่เป็นด่าง



as is คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างในสภาวะปกติซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.5, 4.4, 5.0 และ 4.2 สำหรับแป้งมัน
 ลำปะหลัง แป้งแอซีเทต แป้งครอสลิง และแป้งแอซีเทต-ครอสลิง ตามลำดับ
 ภาพที่ 54 อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งแต่ละชนิดเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด
 สภาวะปกติ และสภาวะที่เป็นด่าง

4. ผลกระทบจากอุณหภูมิในการทำให้สุกต่อความหนืดของแป้งดัดแปร

จากการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิในการทำให้สุกต่อความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งดัดแปรอีก 3 ชนิด โดยการให้ความร้อนแก่น้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก 3 อุณหภูมิ คือ 75, 95 และ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่า แป้งมันสำปะหลังจะมีความหนืดลดลงเมื่ออุณหภูมิในการทำให้สุกเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าความหนืดเท่ากับ 1,154; 1,033 และ 287 cP ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 36 ซึ่งเป็นผลจากเม็ดแป้งที่มีความแข็งแรงเพียงเล็กน้อยสามารถถูกทำลายได้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำให้สุก

แป้งแอชีเทตให้ค่าความหนืดใกล้เคียงกับแป้งมันสำปะหลังในทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 1,104; 1,083 และ 308 cP เมื่ออุณหภูมิในการทำให้สุกเป็น 75, 95 และ 121 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เม็ดแป้งของแป้งครอสลิงมีความแข็งแรงในระดับที่ค่อนข้างสูงซึ่งเป็นผลจากพันธะเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลของแป้ง ส่งผลให้เม็ดแป้งสามารถทนทานต่อสภาวะในการทำให้สุกได้มากขึ้น ค่าความหนืดที่ได้จึงไม่ลดลง ในขณะที่เดียวกันค่าความหนืดที่ได้กลับมีค่าสูงขึ้นอันเนื่องมาจากการที่เม็ดแป้งสามารถพองตัวได้เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากค่าความหนืดซึ่งมีค่าเท่ากับ 17, 54 และ 600 cP เมื่ออุณหภูมิในการทำให้สุกเป็น 75, 95 และ 121 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

แป้งแอชีเทต-ครอสลิงให้ผลเช่นเดียวกันกับแป้งครอสลิง คือมีค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นจากอิทธิพลของพันธะเชื่อมข้ามเมื่ออุณหภูมิในการทำให้สุกเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 43, 117 และ 796 cP เมื่ออุณหภูมิในการทำให้สุก เท่ากับ 75, 95 และ 121 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จากการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิในการทำให้สุกต่อความหนืดของแป้งทั้ง 4 ชนิดที่ทำการศึกษา พบว่าสามารถแยกออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มของแป้งที่เม็ดแป้งมีความแข็งแรง ค่าความหนืดมีค่าสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทำให้สุกเพิ่มขึ้น ได้แก่ แป้งครอสลิง และแป้งแอชีเทต-ครอสลิง และกลุ่มของแป้งที่เม็ดแป้งไม่ทนต่อกระบวนการหุงต้ม คือจะมีค่าความหนืดลดลงเมื่ออุณหภูมิในการทำให้สุกเพิ่มขึ้น ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งแอชีเทต

ตารางที่ 36 ผลของกระบวนการหุงต้มต่อลักษณะความหนืดของแป้งมันสำปะหลัง แป้งแอซีเทต แป้งโครสลิง และแป้งแอซีเทต-โครสลิง

Starch type	Viscosity (cP)*		
	75°C	95°C	121°C
Native starch	1,154	1,033	287
Acetylated starch	1,104	1,083	308
Crosslinked starch	17	54	600
Acetylated-Crosslinked starch	43	117	796

*เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Brookfield (ความเร็วรอบ = 60 rpm หรือ Shear rate = 20.40 s^{-1}) โดยใช้แป้งความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ทำให้สุกที่อุณหภูมิ 75, 95 และ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และวิเคราะห์ความหนืดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

สรุป

1. การเติมน้ำตาลซูโครสร้อยละ 5, 10 และ 20 โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ ลงไปในน้ำแป้ง มีผลทำให้ความหนืดสูงสุดของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป จากอย่างน้อย 2 ปัจจัย คือ อิทธิพลของน้ำตาลที่เข้าไปจับกับแป้ง และ/หรือ อัตราส่วนของแป้งต่อน้ำอิสระ ซึ่งเกิดจากการน้ำตาลเข้าไปจับกับน้ำ และ/หรือ การที่น้ำถูกแทนที่ด้วยน้ำตาล โดยการเติมในระบบที่เป็นการเติมน้ำตาลแบบแทนที่น้ำ จะส่งผลให้ความหนืดโดยรวมของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเติมในระบบที่เป็นการเติมน้ำตาลแบบเติมเพิ่มจะมีผลทำให้ความหนืดโดยรวมของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหรือไม่เปลี่ยนแปลง

2. การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยน้ำหนักรวมของผลิตภัณฑ์ มีผลต่อความหนืดสูงสุดของผลิตภัณฑ์เพียงเล็กน้อย ในระบบการเติมเกลือเพิ่ม ในแป้งทุกชนิดที่ทำการศึกษา แต่ทำให้ความหนืดสูงสุดของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นในระบบการเติมเกลือแทนที่น้ำสำหรับแป้งโครสลิงและแป้งแอซีเทต-โครสลิง ขณะที่แป้งมันสำปะหลังและแป้งแอซีเทตจะมีความหนืดสูงสุดลดลงในช่วงปริมาณของเกลือที่เติมต่ำ แล้วจึงกลับมีความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเกลือที่เติมเพิ่มขึ้น

3. สภาวะความเป็นกรด-ด่างที่ต่างไปจากปกติจะส่งผลให้ความหนืดสูงสุดลดลงในแปรงทุกชนิดที่ทำการศึกษา ยกเว้นแปรงครอสลิงที่มีความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อถูกปรับสภาวะให้เป็นด่าง

4. แปรงมันสำปะหลังและแปรงแอซิเทคมีความหนืดสูงสุดลดลงเมื่ออุณหภูมิในการทำให้สุกเพิ่มขึ้น แต่แปรงครอสลิงและแปรงแอซิเทค-ครอสลิงมีความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการทำให้สุกเป็น 75, 95 และ 121 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำให้สุกเท่ากับ 30 นาที

ข้อเสนอแนะ

1. ผลการศึกษาผลกระทบของน้ำตาลและเกลือนี้ครอบคลุมความเข้มข้นของน้ำตาลและเกลือที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป ดังแสดงในการตรวจเอกสารดังได้กล่าวมาแล้ว แต่อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของแป้งที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นเพียงความเข้มข้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ความหนืดให้เหมาะกับเครื่อง RVA ที่ใช้วิเคราะห์เท่านั้น ซึ่งเป็นระบบที่มีปริมาณน้ำมากเกินไป ดังนั้นหากมีการศึกษาเพิ่มเติม ปัจจัยเรื่องความเข้มข้นของแป้งจึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่น่าสนใจในการศึกษา โดยเฉพาะระบบที่มีน้ำในปริมาณจำกัด

2. ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา มีความสมบูรณ์เพียงพอระดับหนึ่งที่จะสรุปได้ว่าน้ำตาลมีผลต่อความหนืดของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการศึกษาลึกลงไปถึงระดับโครงสร้าง จึงเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจในการนำไปศึกษาต่อไป

3. ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มักจะมียอดประกอบของผลิตภัณฑ์มากกว่าปัจจัยต่าง ๆ ที่ได้เลือกมาทำการศึกษา ดังนั้นการนำผลการทดลองไปใช้ควรคำนึงถึงผลกระทบจากปัจจัยอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากปัจจัยที่ทำการศึกษาด้วย

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2535. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์แป้งคัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร.**

เอกสาร มอก. ที่ 1073-2535. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 11 หน้า.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. **เทคโนโลยีของแป้ง.** พิมพ์ครั้งที่ 2.

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 292 หน้า

นิธิยา รัตนานนท์. 2545. **เคมีอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 487 น.

ศิวาพร ศิวเวช. 2535. **วัตถุเจือปนในผลิตภัณฑ์อาหาร.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สราวุธ เข็นเอง. 2544. **การผลิตซอสกึ่งจากน้ำตาลมูก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,**
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

สุจิตรา วงษ์ประยูร. 2550. **ผลของน้ำตาลซูโครสและกลีโคไซด์ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ**
ของแป้งมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง. 2539. **เอกสารประกอบโครงการความ**
ร่วมมือและการถ่ายทอดเทคโนโลยีสำหรับพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง
(โครงการความร่วมมือรัฐบาลไทย-เบลเยียม) เรื่อง การวิเคราะห์ความหนืด (Viscosity
Determination). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อภิญญา มาระโพธิ์, 2536. **การใช้แป้งคัดแปรเป็นสารให้ความคงตัวในซอสมะเขือเทศ.** วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2540. **ข้าวสาลี : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** กรุงเทพฯ : บริษัท เท็กซ์ แอนด์
เจอร์นัล พับลิเคชัน จำกัด.

- Acquarone, V. M. and M. A. Rao. 2003. Influence of sucrose on the rheology and granule size of cross-linked waxy maize starch dispersions heated at two temperatures. **Carbohydrate Polymers** (51) : 451-458.
- Ahmad, F. B., and P. A. Williams. 1999. Effect of sugars on the thermal and rheological properties of sago starch. **Biopolymers** (50) : 401–412.
- Almeda-Dominguez, H. D., D. L. Suhendro and L. W. Rooney. 1997. Factors Affecting Rapid Visco Analyser Curves for the Determination of Maize Kernel Hardness. **Journal of Cereal Science** (25) : 93-102.
- Baker, L. A. and P. Rayas-Duarte. 1998. Retrogradation of amaranth starch at different storage temperature and the effects of salt and sugars. **Cereal Chemistry**. 75 (3): 308-314.
- Baltasar Vallès – Pàmies, F. Barclay, S. E. Hill, J. R. Mitchell, L. A. Paterson and J. M. V. Blanshard. 1997. The effect of low molecular weight additives on the viscosities of cassava starch. **Carbohydrate Polymers** (34): 31-38.
- Beynum, G. M. A. van, and J. A. Roles. 1985. **Starch Conversion Technology**. Marcel Dekker, Inc., New York. 326 p.
- Botlan, D. L. and P. Desbois. 1995. Starch retrogradation study in presence of sucrose by low-resolution nuclear magnetic resonance. **Cereal Chem.** 72(2): 191-193.
- Bourne, M. C. 2002. **Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement**. 2nd Ed. Academic Press. 427 p.
- Brautlecht, C. A. 1953. **Starch Its Sources, Production and Uses**. Reinhold Publishing Corporation. 408 p.

- Chungcharoen, A. and D. B. Lund. 1987. Influence of solutes and water on rice starch gelatinization. **Cereal Chemistry**. 64: 240-243.
- Jacobson, M. R. and J. N. BeMiller. 1998. Method for determining the rate and extent of accelerated starch retrogradation. **Cereal Chem.** 75 (1) : 22-29.
- Jannifer, D. and M. Bason. 2001. **RVA World**. Issue 18. 4 p.
- K. I. Al-Malah, M. O. J. Azzam and B. Abu-Jdayil. 2000. Effect of glucose concentration on the rheological properties of wheat-starch dispersions. **Food Hydrocolloids** (14): 491-496.
- Kelekci, N. N., S. Pascut and R. D. Waniska. 2003. The effects of storage temperature on the staling of wheat flour tortillas. **Journal of Cereal Science** (37) : 377-380.
- Kim, S. K. 1996. Instant Noodle Technology. **Cereal Foods World**. 41(4): 213-218.
- Leach, H. W. 1965. Gelatinization of starch. In R.L. Whistler, E.F. Paschall, J.N. Bemiller, and H.J. Roberts (Eds.). **Starch: Chemistry and Technology Vol I**. Academic Press, New York. pp. 289-307.
- Leach, H. W. , L. D. McCowen, and T. J. Schoch. 1959. Structure of the starch granule I. Swelling and solubility patturns of various starches. **Cereal Chem.** 36: 534-544.
- Maaurf, A. G., Y. B. Che Man, B. A. Asbi, A. H. Junainah and J. F. Kennedy. 2001. Gelatinisation of sago starch in the presence of sucrose and sodium chloride as assessed by differential scanning calorimetry. **Carbohydrate Polymers** (45) : 35-345.
- Mali, S., C. Ferrero, V. Redigonda, A.P. Beleia, M.V.E. Grossmann and N.E. Zaritzky. 2003. Influence of pH and hydrocolloids addition on yam (*Dioscorea alata*) starch pastes stability. **Lebensm.-Wiss. u.-Technol** (36) : 475–481.

- Madoka Hirashima, R. Takahashi and K. Nishinari. 2005. Changes in the viscoelasticity of maize starch pastes by adding sucrose at different stages. **Food Hydrocolloids** (19) : 777-784.
- Mandala, I. G., E. D. Palogou and A. E. Kostarpoulos. 2002. Influence of preparation and storage conditions on texture of xanthan-starch mixtures. **Journal of Food Engineering** (53) : 27-38.
- Nayouf, M., C. Loisel and J.L. doublier. 2003. Effect of thermomechanical treatment on the rheological properties of crosslinked waxy corn starch. **Journal of Food Engineering** (59) : 209-219.
- Nelles, E. M., J. Dewar, M. L. Bason and J. R. N. Taylor. 2000. Maize Starch Biphasic Pasting Curves. **Journal of Cereal Science** (31) : 287-294.
- Newport Scientific Pty, Ltd. 1995. **Operation Manual for the Series 4 Rapid Visco Analyser**. Australia. 93 p.
- Ratnajothi H. and S. Namal. 1996. Effect of sugars on the thermal and retrogradation properties of oat starches. **Journal of Food Biochemistry** (20): 65-83.
- Roberts, S. A. and R. E. Cameron. 2002. The effects of concentration and sodium hydroxide on the rheological properties of potato starch gelatinization. **Carbohydrate Polymers** (50) : 133-143.
- Rutenberg, M. W., and D. Solarek. 1984. Starch derivatives: Technology and uses. In R.L. Whistler, J.N. Bemiller, and E.F. Paschall (Eds.). **Starch: Chemistry and Technology**. 2nd Ed. Academic Press, Inc., Florida. pp. 311-388.
- Sanders, J.P.M. 1996. Starch manufacturing in the world. In **Advanced Post Academic Course on Tapioca Starch Technology**. Jan. 22-26 & Feb. 19-23, 1996. AIT Center, Bangkok.

Schoch, T. J., and F. C. Maywald. 1968. Preparation and properties of various legume starch. **Cereal Chem.** 45: 564-573.

Shelke, K. Dick, J. W., Holm, Y. F. and Loo, K. S. 1990. Chinese Wet Noodle Formulations for Chinese Noodle Manufacture. **J. of Cereal Sci.** 3: 379-387.

Shi, Y. -C. and P. A. Seib. 1992. The structure of four waxy starches related to gelatinization and retrogradation. **Carbohydrate Research.** 227: 131-145.

Shuey, W. C. and K. H. Tipples. 1982. **The amylograph handbook.** U.S.A.. 37 p.

Smith, R. J. 1979. **Food Carbohydrate.** The AVI Publishing Co., Westport, Connecticut. 416 p.

Spies, R. D. and R. C. Hoseney. 1982. Effect of sugars on starch gelatinization. **Cereal Chem.** 59(2): 128-131.

Sudhakar, V., R. S. Singhal and P. R. Kulkarni. 1995. Studies on starch-hydrocolloid interactions: effect of salts. **Food Chemistry** (53) : 405-408.

Swinkels, J. J. M. 1985a. Composition and properties of commercial native starches. **Starch/Starke.** 37: 1-5.

Swinkels, J. J. M. 1985b. Sources of starch, its chemistry and physics. In G.M.A. van Beynum, and J.A. Roles (Eds.). **Starch Conversion Technology.** Marcel Dekker, Inc., New York. pp. 15-45.

Tessler, M. M., and R. L. Billmers. 1996. Preparation of starch esters. **J. Env. Polym. Degrad.** 4 (2) : 85-89.

- van den Einde, R. M., C. Akkermans, A. J. van der Goot and R. M. Boom. 2004. Molecular breakdown of corn starch by thermal and mechanical effects. **Carbohydrate Polymers** (56) : 415-422.
- Wang, H. H., D. W. Sun, Q. Zeng and Y. Lu. 2000. Effect of pH, corn starch and phosphates on the pasting properties of rice flour. **Journal of Food Engineering** (46) : 133-138.
- Whistler, R. L., and J. R. Deniel. 1984. Molecular structure of starch. Pp. 153-178. *In* R. L. Whistler, J. N. BeMiller, and E. F. Paschall (Eds.). **Starch: Chemistry and Technology**. 2nd Ed. Academic Press, Inc., Florida.
- Yamin, F. F., L. Svendsen, and P. J. White. 1997. Thermal properties of corn starch extraction intermediates by differential scanning calorimetry. **Cereal Chem.** 74 (4): 407-411.
- Yousif, A. M., I. L. Batey, O. R. Larroque, B. Curtin, F. Bekes and H. C. Deeth. 2003. Effect of storage of adzuki bean (*Vigna angularis*) on starch and protein properties. **Lebensm-Wiss. U.-Technol** (36) : 601-607.
- Yuan, R. C. and D. B. Thompson. 1998. Freeze-thaw stability of three waxy maize starch pastes measured by centrifugation and calorimetry. **Cereal Chem.** 75 (4) : 571-573.