บทที่ 4
ผลการทดลอง และวิจารณ์

4.1. ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด water activity ปริมาณกาก ปริมาณโปรตีน/ไนโตรเจน ปริมาณเถ้า ปริมาณกรด และ pH ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

ส่วนประกอบทางเคมี	พันธุ์		
	กล้วยน้ำว้า	กล้วยหอมทอง	กล้วยไข่
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (ร้อยละ)	25.4 ^{a}±0.99	21.9 ^{b}±1.03	22.1 ^{b}±0.84
ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	74.1 ^{a}±0.11	77.3 ^{b}±0.17	76.5 ^{c}±0.18
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	19.4 ^{a}±0.14	16.7 ^{b}±0.99	17.2 ^{b}±0.53
Water activity	0.95 ^{a}±0.0	0.97 ^{b}±0.00	0.97 ^{b}±0.00
ปริมาณกาก (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.25 ^{a}±0.03	0.18 ^{b}±0.01	0.38 ^{c}±0.10
ปริมาณโปรตีน/ไนโตรเจน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	2.34 ^{a}±0.15	2.48 ^{a}±0.17	3.05 ^{b}±0.29
ปริมาณเถ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.87 ^{a}±0.15	0.99 ^{a}±0.35	1.63 ^{b}±0.19
ปริมาณกรด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	1.86 ^{a}±0.08	1.2 ^{b}±0.87	1.2 ^{b}±0.56
pH	4.30 ^{a}±0.03	4.50 ^{b}±0.02	4.50 ^{b}±0.04

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
อักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าส่วนประกอบทางเคมีของกล้วยสุกแต่ละพันธุ์มีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากมีสายพันธุ์ และแหล่งที่ปลูกต่างกัน (Turner, 1997) นอกจากนี้ส่วนประกอบของแข็งที่พบมากที่สุดในกล้วยสุกทั้งสามพันธุ์ คือ น้ำตาล โดยกล้วยน้ำว้ามีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมากที่สุด คือ ร้อยละ 19.43 โดยน้ำหนักกล้วยสุก ส่วนกล้วยหอมทอง และกล้วยไข่มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดใกล้เคียงกัน คือ กล้วยหอมทองมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 16.7 โดยน้ำหนัก และกล้วยไข่มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเป็นร้อยละ 17.2 โดยน้ำหนัก สำหรับส่วนประกอบของแข็งอื่นๆ นั้นจะเห็นว่าน้อยมาก คือ เมื่อรวมกันแล้วมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของกล้วยสุกในทุกๆ พันธุ์ อีกทั้งการกวนในการทดลองนี้เป็นเพียงการให้ความร้อนเพื่อลดปริมาณความชื้นของวัตถุดิบลงเท่านั้น ไม่มีการเติมส่วนผสมอื่นนอกจากเพคติน ด้วยเหตุนี้ผู้ทดลองจึงทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์เพียง 3 ชนิด เท่านั้นคือ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และ water activity เนื่องจากโครงสร้างทางวิสโคอิลาสติคของกล้วยกวนนั้น น่าจะเกิดจากส่วนประกอบที่มากที่สุดดังกล่าว ส่วน water activity นั้นอาจใช่เป็นเกณฑ์ในการอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสมบัติวิสโคอิลาสติคที่เกิดขึ้นได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2. ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์

สำหรับการแสดงผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์นั้น ในที่นี้ได้แสดงเฉพาะส่วนประกอบที่คาดว่ามีผลต่อสมบัติวิสโคอิลาสติคของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเป็นส่วนประกอบที่มีปริมาณมากในผลิตภัณฑ์ ดังได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และ water activity โดยแยกแสดงตามสายพันธุ์ของกล้วย ดังนี้

4.2.1. ส่วนประกอบทางเคมีของกล้วยน้ำว้ากวน

ตารางที่ 4.2 ส่วนประกอบทางเคมีของกล้วยน้ำว้ากวนที่เติมเพคตินปริมาณต่างกัน 4 ระดับ

ส่วนประกอบทางเคมี (%w/w, wet basis)	Control	1%Pectin	2%Pectin	3%Pectin
ปริมาณความชื้น	$35.5^{a} \pm 0.16$	$37.5^{b} \pm 0.44$	$37.9^{b} \pm 0.09$	$36.2^{a} \pm 0.24$
Water Activity	$0.84^{ab} \pm 0.00$	$0.84^{b} \pm 0.00$	$0.84^{a} \pm 0.00$	$0.82^{c} \pm 0.00$
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	$47.4^{a} \pm 0.93$	$47.0^{a} \pm 1.88$	$37.4^{b} \pm 0.60$	$38.4^{b} \pm 0.00$

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
อักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยกล้วยน้ำว้ากวนที่เติมเพคตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนักมีปริมาณความชื้นมากที่สุด คือ ร้อยละ 37.97 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับกล้วยน้ำว้ากวนในระดับควบคุม ซึ่งมีปริมาณความชื้นน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 35.48 ซึ่งไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ เนื่องจากการทดลองนี้มุ่งเน้นให้ปริมาณความชื้น และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ในทุกๆหน่วยทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้คาดว่าปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นคาดว่าเกิดจากความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศแต่ละวัน ทำให้อัตราการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ระหว่างการทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องต่างกันจึงเป็นผลให้น้ำในผลิตภัณฑ์เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่ต่างกัน นอกจากนี้ เพคตินซึ่งจัดเป็นของแข็งในผลิตภัณฑ์ยังมี reflective index ซึ่งในที่นี้คาดว่าเป็นสาเหตุหนึ่งของการบิดเบือนค่า reflective index ที่แท้จริงของปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ ทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์บิดเบือน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ไปจากความเป็นจริง เป็นผลให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ในแต่ละหน่วยทดลองไม่เท่ากัน และเนื่องจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในกล้วยน้ำว้ากวนที่เติมเพคตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำตาลในกล้วยน้ำว้ากวนระดับควบคุม ส่วนแนวโน้มของ water activity นั้น โดยรวมไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

สำหรับผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของกล้วยไข่กวนนั้น ให้ผลคล้ายกันกับส่วนประกอบทางเคมีของกล้วยน้ำว้ากวน ดังนี้

4.2.2. ส่วนประกอบทางเคมีของกล้วยไข่กวน

ตารางที่ 4.3 ส่วนประกอบทางเคมีของกล้วยไข่กวนที่เติมเพคตินปริมาณต่างกัน 4 ระดับ

ส่วนประกอบทางเคมี (%w/w, wet basis)	Control	1%Pectin	2%Pectin	3%Pectin
ปริมาณความชื้น	$33.4^{a} \pm 0.57$	$33.7^{a} \pm 0.38$	$35.2^{b} \pm 0.20$	$31.5^{c} \pm 0.32$
Water Activity	$0.81^{a} \pm 0.00$	$0.81^{b} \pm 0.00$	$0.82^{c} \pm 0.00$	$0.79^{d} \pm 0.00$
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	$54.1^{a} \pm 0.00$	$49.9^{b} \pm 1.33$	$48.8^{b} \pm 0.51$	$48.8^{c} \pm 0.99$

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
อักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของกล้วยไข่กวน พบว่าปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเพคติน โดยมีค่ามากที่สุด คือ ร้อยละ 35.15 ในกล้วยไข่กวนที่เติมเพคตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเทียบกับกล้วยไข่กวนในระดับควบคุม และเช่นกันกับกล้วยน้ำว้ากวน ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเทียบกับกล้วยไข่กวนในระดับควบคุมเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นเมื่อมีการเติมเพคติน

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของกล้วยกวนทั้ง 2 พันธุ์ คือ กล้วยน้ำว้ากวน และกล้วยไข่กวน ซึ่งไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ คือ ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเพคติน ทำให้เกิดข้อสันนิษฐานว่า การทิ้งให้กล้วยกวนเย็นลงที่อุณหภูมิห้องอาจมีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เนื่องจากความแปรปรวนของความชื้นสัมพัทธ์ตามสภาพอากาศในแต่ละวัน เป็นผลให้ปริมาณความชื้นของกล้วยกวนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเกิดความแตกต่างทางสถิติของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณความชื้นในกล้วยกวนทุกๆ พันธุ์ และทั้ง 4 ระดับการเติมเพคติน อีกทั้งปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดที่วัดจาก hand refractometer นั้นไม่ละเอียดเพียงพอต่อการใช้อ้างอิงคุณสมบัติที่เหมือนกันสำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติวิสโคอิลาสติคจากการเติมเพคติน ผู้ทดลองจึงได้ทำการเตรียมผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองกวนใน desiccators เพื่อหลีกเลี่ยงความแปรปรวนของสภาพอากาศดังกล่าว ทำให้ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของกล้วยหอมทองกวนมีแนวโน้มดีขึ้นดังจะแสดงในหัวข้อต่อไป

4.2.3. ส่วนประกอบทางเคมีของกล้วยหอมทองกวน

ตารางที่ 4.4 ส่วนประกอบทางเคมีของกล้วยหอมทองกวนที่เติมเพคตินปริมาณต่างกัน 4 ระดับ

ส่วนประกอบทางเคมี (%w/w, wet basis)	Control	1%Pectin	2%Pectin	3%Pectin
ปริมาณความชื้น	$32.0^{a} \pm 0.30$	$30.7^{a} \pm 4.02$	$33.5^{a} \pm 0.27$	$33.9^{a} \pm 0.56$
Water Activity	$0.75^{a} \pm 0.00$	$0.76^{a} \pm 0.00$	$0.76^{a} \pm 0.00$	$0.77^{a} \pm 0.00$
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด	$46.9^{a} \pm 0.27$	$47.9^{a} \pm 0.21$	$46.0^{a} \pm 1.74$	$45.7^{a} \pm 1.66$

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
อักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

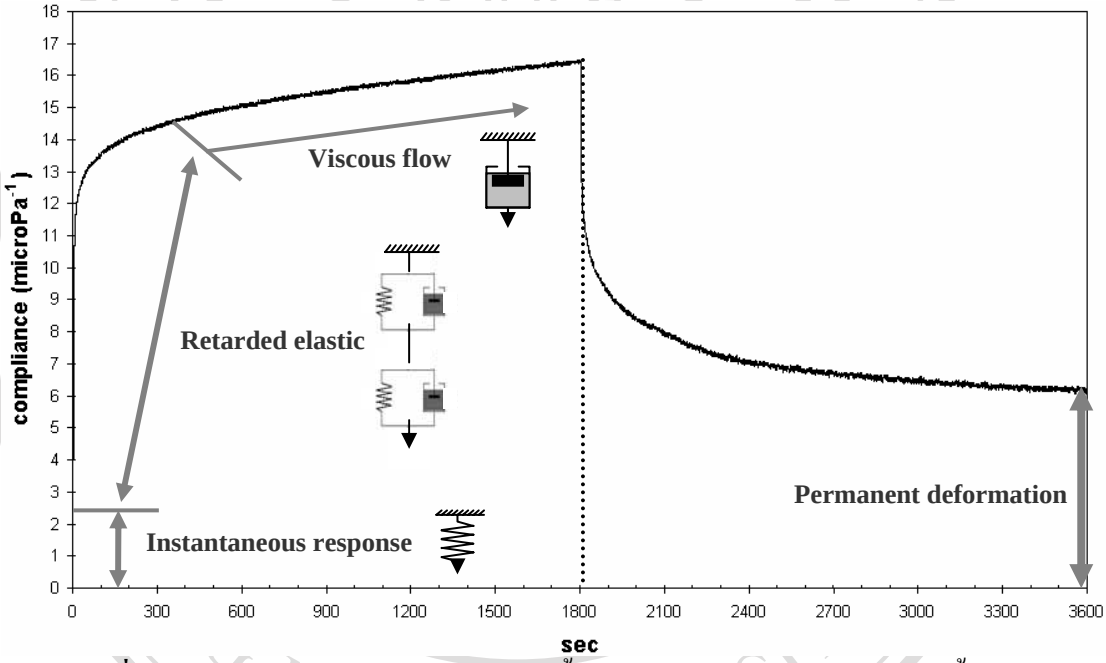
จากผลการวิเคราะห์พบว่าเบื้องต้นปริมาณเพคตินที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยมีค่ามากที่สุดในผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองกวนที่เติมเพคตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก คือ ร้อยละ 33.89 แต่การเพิ่มขึ้นนี้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ สำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดแล้ว มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในกล้วยหอมทองกวนแต่ละหน่วยทดลองเช่นกัน

จึงอาจสรุปได้ว่าความแปรปรวนของความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศมีผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์รวมถึงความแปรปรวนของส่วนประกอบทางเคมีอื่นๆ ด้วยเช่นกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางวิสโคอิลาสติค

ผลการทดสอบ creep แสดงให้เห็นว่า กล้วยกวนทุกหน่วยทดลองสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลอง 6 องค์ประกอบ ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลองของแมกซ์เวลล์ 1 ส่วน และแบบจำลองของโวค-เคลวิน 2 ส่วน ซึ่งในที่นี้ขอยกตัวอย่างเพียงตัวอย่างเดียว คือ กล้วยน้ำว้ากวนที่เติมเพคตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ผลการทดลองเป็นดังนี้



รูปที่ 4.1 : ผลการทดสอบ creep ของกล้วยน้ำว้ากวน เติมเพคตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

จะเห็นว่าเส้นโค้งในส่วนของ creep (0-1800 วินาที) แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วน instantaneous response (การตอบสนองของสปริงเดี่ยวในแบบจำลองของแมกซ์เวลล์) ส่วน retarded elastic (การตอบสนองของแบบจำลองของโวค-เคลวินทั้งสอง) และส่วนของ viscous flow (การตอบสนองของลูกสูบเดี่ยวในแบบจำลองของแมกซ์เวลล์)

เมื่อพิจารณาตามแบบจำลอง 6 องค์ประกอบ (แบบจำลองของแมกซ์เวลล์ 1 ส่วน และแบบจำลองของโวค-เคลวิน 2 ส่วน) ดังกล่าวจะได้สมการของเส้นโค้งของ creep เป็นดังนี้

$$J = 2.55\times10^{-6} + 1.05\times10^{-6}[1-e^{-t/8.32}] + 1.40\times10^{-6}[1-e^{-t/210.41}] + t / 8.55\times10^{8} \quad \text{..... (4.1)}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นั่นคือ มีค่าคงที่ต่างๆ ของสมการเป็นดังนี้

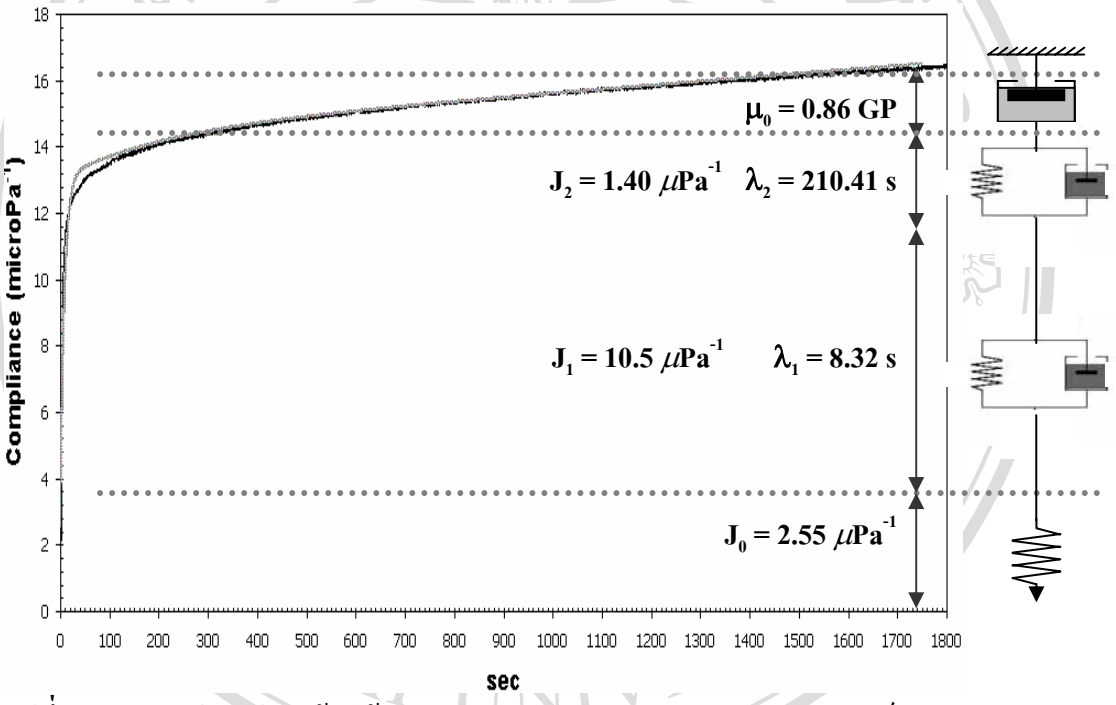
$$J_0 = 2.55\ \mu Pa^{-1}$$

$$J_1 = 10.5\ \mu Pa^{-1},\ \lambda_1 = 8.32 \quad s$$

$$J_2 = 1.40\ \mu Pa^{-1},\ \lambda_2 = 210.41\ s$$

และ $\mu_0 = 0.86\ GP$

เส้นโค้งของ creep จากสมการดังกล่าว เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง เป็นดังนี้



รูปที่ 4.2 : การเปรียบเทียบเส้นโค้งของ creep ตามสมการของแบบจำลอง 6 องค์ประกอบ และผลการทดลองจริง เมื่อ ▬ คือ เส้นโค้งตามสมการของแบบจำลอง และ ▬ คือ ผลการทดลอง

จะเห็นได้ว่า เส้นโค้งของ creep ทั้งจากสมการ และจากผลการทดลองจริงมีความสอดคล้อง และใกล้เคียงกัน จึงอาจกล่าวได้ว่า แบบจำลอง 6 องค์ประกอบ สามารถใช้ทำนายสมบัติทางวิสโคอิลาสติคของกล้วยกวนหน่วยทดลองนี้ได้ และเช่นเดียวกันกับกล้วยกวนในหน่วยทดลองอื่นๆ ที่สามารถอธิบายและทำนายสมบัติทางวิสโคอิลาสติคได้ด้วยแบบจำลองนี้เช่นกัน (ดูรายละเอียดของวิธีการวิเคราะห์ creep curve ได้ในภาคผนวก ข และผลการวิเคราะห์ creep curve กล้วยกวนหน่วยทดลองอื่น ๆ ใน ภาคผนวก ค)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากส่วนของ creep แล้วจากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าเมื่อทำการถอนแรง (ณ เวลา 1800 วินาที) เส้นโค้งเกิดการเปลี่ยนแปลงในทันที คือ ดิ่งลงจากจุดสุดท้ายของ creep อย่างฉับพลัน จากนั้นจึงแสดงการไหลตามเวลา และไหลด้วยอัตราเร็วลดลงเรื่อยๆ สังเกตได้จากความชันของเส้นโค้งส่วนนี้ค่อยๆ ลดลงจนเกือบคงที่ ลักษณะเช่นนี้ คือ ลักษณะของการคืนรูป (Demans, 1976) และ ณ เวลาสุดท้ายของการทดสอบ เส้นโค้งดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการผิดรูปถาวร คือ ไม่เกิดการคืนรูปสู่จุดเริ่มต้น (ความเครียดเป็น 0) (Ward and Hadley, 1995)

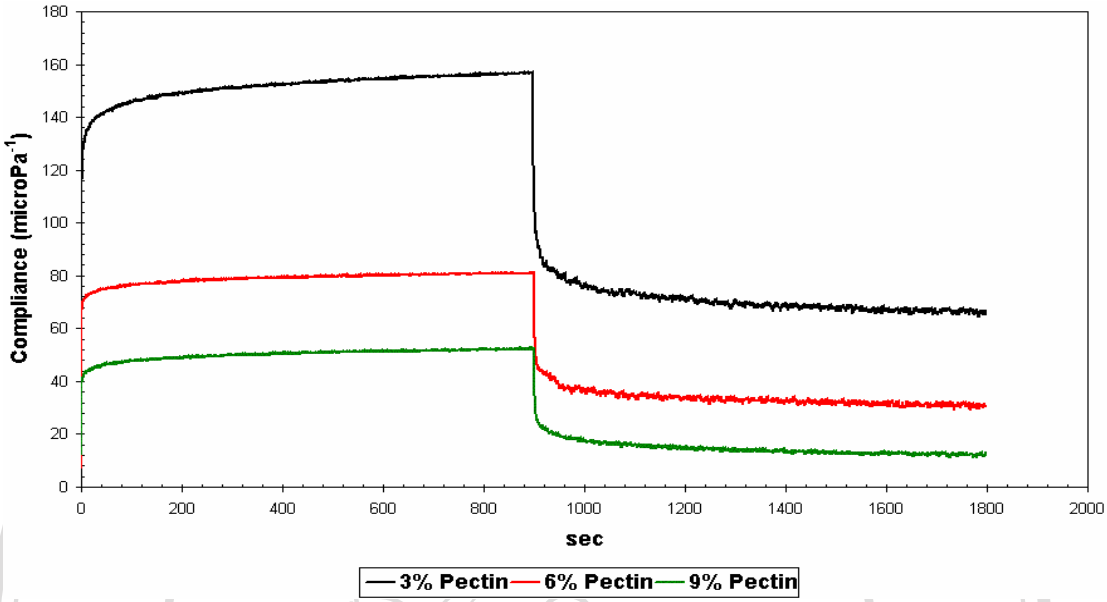
สำหรับการอธิบายสมบัติวิสโคอิลาสติค ผู้เขียนขออ้างอิงค่า "E" (อิลาสติคโมดูลัส) และ "μ" (คามหนืด) ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของความเป็นวิสโคอิลาสติคของกล้วยกวนในหน่วยทดลองต่างๆ เนื่องจาก E เป็นตัวแทนในการแสดงความเป็นอิลาสติคของวัสดุ และ μ เป็นตัวแทนในการแสดงสมบัติการไหล

นอกจากนี้ วัสดุแบบ 6 องค์ประกอบ ซึ่งมีคุณสมบัติร่วมระหว่างอิลาสติคและการไหล เมื่อทำการถอนแรงกด วัสดุจะแสดงสมบัติอิลาสติคด้วยการคืนรูป แต่เนื่องจากวัสดุมีสมบัติการไหลร่วมด้วยโดยเฉพาะส่วนที่เป็นลูกสูบเดี่ยวจากแบบจำลองแมกซ์เวลล์ ทำให้ไม่สามารถคืนรูปดังเดิมได้อย่างสมบูรณ์ และเกิดการผิดรูปถาวร (การผิดรูปถาวร) (ดังรูปที่4.1) การคืนรูป และการผิดรูปถาวรนี้ สามารถบ่งได้ถึงความเป็นอิลาสติค และการไหลของวัสดุเช่นกัน ดังนั้น การวิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติวิสโคอิลาสติคของวัสดุทดลองในหัวข้อต่อไปนี้ จึงประกอบด้วย ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของ อิลาสติคโมดูลัส (E_0: อิลาสติคโมดูลัส ของสปริงเดี่ยวจากแบบจำลองของแมกซ์เวลล์) ความหนืด (μ_0: ความหนืดของลูกสูบเดี่ยวจากแบบจำลองของแมกซ์เวลล์) และการผิดรูปถาวร (ความสูงของเส้นโค้งของ creep ณ เวลาสุดท้าย) เนื่องจากค่าคงที่ทั้งสาม แสดงการตอบสนองต่อการทดสอบ ที่สามารถอธิบายให้เห็นถึงคุณสมบัติของวัสดุทดลองได้ชัดเจน

4.3.1. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางวิสโคอิลาสติคของเจลเพคติน

การทดลองนี้มีขึ้นเพื่อศึกษาถึงแนวโน้มของผลของการเพิ่มขึ้นของปริมาณเพคตินต่อสมบัติวิสโคอิลาสติคของผลิตภัณฑ์ โดยใช้เจลที่เตรียมจากสารละลายที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด คือ น้ำตาล ตั้งแต่ร้อยละ 65 โดยน้ำหนักขึ้นไป โดยแปรผันปริมาณเพคติน คือ ร้อยละ 3 6 และ 9 โดยน้ำหนัก และมี pH 3.0 ซึ่งภาวะดังกล่าวเหมาะสมต่อการเกิด เจลของเพคติน ชนิด rapid set นี้ (Dumitriu, 1998) เจลทุกหน่วยทดลองมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดร้อยละ 75 (วัดด้วย hand refractometer) ผลการทดสอบเป็นดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.3: ผลการทดสอบ creep ในเจลเพคติน

จากผลดังกล่าว จะเห็นว่าเส้นโค้งของ creep ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น คือ เส้นโค้งของเจลที่มีปริมาณเพคตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนักมีความสูงมากที่สุด ความสูงของเส้นโค้งของ creep ลดลงเมื่อมีปริมาณเพคตินร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก และเส้นโค้งของเจลที่มีปริมาณเพคตินร้อยละ 9 โดยน้ำหนักมีความสูงน้อยที่สุด นั่นคือปริมาณเพคตินที่เพิ่มขึ้นมีผลเพิ่มสมบัติอิลาสติคของเจลอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้อิลาสติคโมดูลัส (E_0) ยังเพิ่มขึ้นอย่างเป็นลำดับตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเพคติน และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 อิลาสติคโมดูลัส (E_0) ความหนืด (μ_0) และ การผิดรูปถาวร ของเจลเพคติน

Viscoelasticity	3%Pectin	6%Pectin	9%Pectin
E_0 (MPa)	$0.02^{a} \pm 0.02$	$0.05^{b} \pm 0.01$	$0.06^{c} \pm 0.02$
μ_0 (GP)	$0.21^{a} \pm 0.38$	$0.28^{a} \pm 0.52$	$0.25^{a} \pm 0.20$
PD (μPa^{-1})	$66.0^{a} \pm 2.00$	$31.0^{b} \pm 1.20$	$12.2^{c} \pm 2.05$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หมายเหตุ :
- PD คือ การผิดรูปถาวร
- อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
  อักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพคติน กับ อิลาสติคโมดูลัส (E_0) ความหนืด (μ_0) และการผิดรูปถาวรของเจลเพคติน

Viscoelasticity	Equation	R^2
E_0 (Pa)	$E_0 = 2.12 \times 10^4 * pectin + 2.33 \times 10^4$	0.97
μ_0 (P)	$\mu_0 = 2.00 \times 10^7 * pectin + 7.00 \times 10^7$	0.64
PD (Pa^{-1})	$PD = -9.00 \times 10^{-6} * pectin + 9.00 \times 10^{-5}$	0.97

หมายเหตุ : - PD คือ การผิดรูปถาวร

การเพิ่มขึ้นของอิลาสติคโมดูลัสนั้นสอดคล้องกับความสูงของเส้นโค้งของ creep และการผิดรูปถาวร คือ ค่าอิลาสติคโมดูลัสมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.02 MPa เมื่อมีปริมาณเพคตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก และเกิดการผิดรูปถาวรมากที่สุด คือ 66.0 μPa^{-1} จากนั้นอิลาสติคโมดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อปริมาณเพคตินในเจลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก คือ 0.05 MPa และเช่นกัน การผิดรูปถาวรก็ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 31.0 μPa^{-1} เมื่อเทียบกับเจลที่ปริมาณเพคตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก และอิลาสติคโมดูลัสมีค่ามากที่สุด คือ 0.06 MPa ในเจลที่มีปริมาณเพคตินร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก และมีการผิดรูปถาวรน้อยที่สุด คือ 12.2 μPa^{-1} (ตารางที่ 4.5) ผลดังกล่าวทำให้ทราบว่าการเติมเพคตินควรมีผลเพิ่มสมบัติอิลาสติคในผลิตภัณฑ์กล้วยกวน ทั้งนี้ต้องมีภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของเพคตินเพื่อการก่อพันธะ และการเกิดจังค์ชันโซนที่สมบูรณ์ (นิธิยา, 2545)

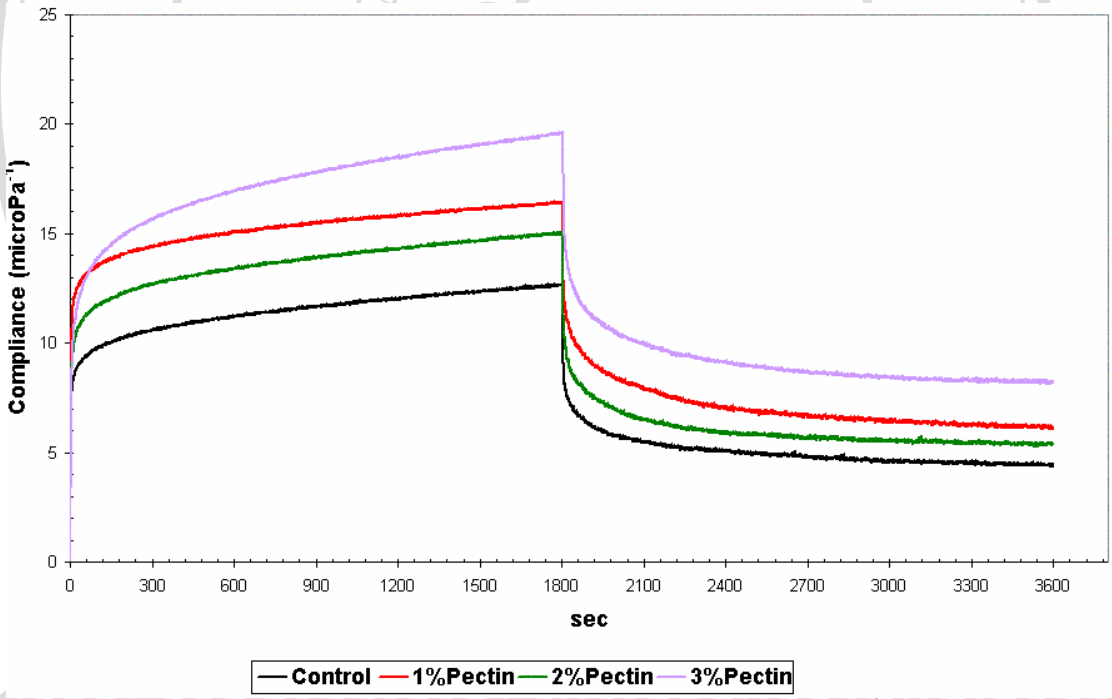
โดยการเติมเพคตินปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนักขึ้นไปสามารถมีผลเพิ่มสมบัติอิลาสติค (E_0) ของผลิตภัณฑ์ได้ถึงร้อยละ 97 และลดการเกิดการผิดรูปถาวรได้ถึงร้อยละ 97 (ตารางที่ 4.6) สำหรับความหนืดนั้น ในเบื้องต้นเพคตินมีผลเพิ่มความหนืดให้กับเจล แต่การเพิ่มขึ้นดังกล่าวไม่แสดงความแตกต่างทางสถิติในเจลทั้งสาม เนื่องจากเพคตินมีผลเพิ่มความหนืดให้กับผลิตภัณฑ์ได้เพียงร้อยละ 64 เท่านั้น ซึ่งถือว่ามีผลเพียงระดับปานกลาง (ตารางที่ 4.6) อีกทั้งเจลของสารจำพวก pectic substances นั้นจะแสดงสมบัติอิลาสติคมากกว่าการไหล (Alvarez and others, 1998) การเติมเพคตินจึงมีผลกับสมบัติอิลาสติคมากกว่าสมบัติการไหล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างไรก็ตามการทดลองนี้เป็นการทดลองเชิงอุดมคติ คือ ใช้เจลที่เตรียมจากเพคติน และน้ำตาลโดยตรงจึงให้ผลเป็นไปตามทฤษฎีทุกประการ แต่การทดสอบในอาหารนั้นมีส่วนประกอบอื่นๆ อีก เช่น กาก และโปรตีน ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความแปรปรวนกับการทดสอบ และบิดเบือนไปจากทฤษฎีได้

4.3.2. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางวิสโคอิลาสติคของกล้วยน้ำว้ากวนที่เติมเพคตินต่างกัน 4 ระดับ

การทดสอบ creep ในผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้ากวนที่เติมเพคตินต่างกัน 4 ระดับให้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.4 ดังนี้



รูปที่ 4.4 : แผนภาพเปรียบเทียบ creep compliance ของผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้ากวนที่เติมเพคตินต่างกัน 4 ระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 อิลาสติคโมดูลัส (E_0) ความหนืด (μ_0) และ การผิดรูปถาวร ของกล้วยน้ำว้ากวนที่เติมเพคตินต่างกัน 4 ระดับ

Viscoelasticity	Control	1%Pectin	2%Pectin	3%Pectin
E_0 (MPa)	$0.36^{a} \pm 0.07$	$0.39^{a} \pm 0.08$	$0.25^{b} \pm 0.03$	$0.24^{b} \pm 0.03$
μ_0 (GP)	$0.90^{a} \pm 0.05$	$0.86^{a} \pm 0.05$	$0.80^{a} \pm 0.03$	$0.52^{b} \pm 0.02$
PD (μPa^{-1})	$3.40^{a} \pm 45.1$	$6.20^{b} \pm 66.3$	$5.40^{b} \pm 47.4$	$8.20^{c} \pm 35.7$

หมายเหตุ : - PD คือ การผิดรูปถาวร

- อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพคตินกับอิลาสติคโมดูลัส (E_0) ความหนืด (μ_0) และการผิดรูปถาวรของกล้วยน้ำว้ากวน

Viscoelasticity	Equation	R^2
E_0 (Pa)	$E_0 = -4.79 \times 10^{4} * pectin + 3.83 \times 10^{5}$	0.69
μ_0 (P)	$\mu_0 = 1.00 \times 10^{8} * pectin + 9.00 \times 10^{-8}$	0.81
PD (Pa^{-1})	$PD = 1.00 \times 10^{-6} * pectin + 4.00 \times 10^{-6}$	0.78

หมายเหตุ : - PD คือ การผิดรูปถาวร

จากผลการทดลอง จะเห็นว่า เส้นโค้งของ creep มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณเพคตินในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น คือ กล้วยกวนระดับควบคุมให้ความสูงของเส้นโค้งของ creep น้อยที่สุด และมีความสูงเพิ่มขึ้นในกล้วยกวนที่เติมเพคตินร้อยละ 1 และ2 โดยน้ำหนัก และกล้วยกวนที่เติมเพคตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีความสูงมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้ากวนนี้เกิดการยุบตัวมากขึ้นเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น ซึ่งไม่เป็นไปตามทฤษฎีแต่การลดลงของเส้นโค้งของ creep นี้สัมพันธ์กับอิลาสติคโมดูลัส (E_0) คือ E_0 มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.7 นอกจากนี้ในตารางที่ 4.8 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพคตินกับค่าคงที่ต่างๆของแบบจำลอง จะพบว่า E_0 สัมพันธ์กับปริมาณเพคตินในเชิงลบ นั่นคือ เมื่อปริมาณเพคตินมี

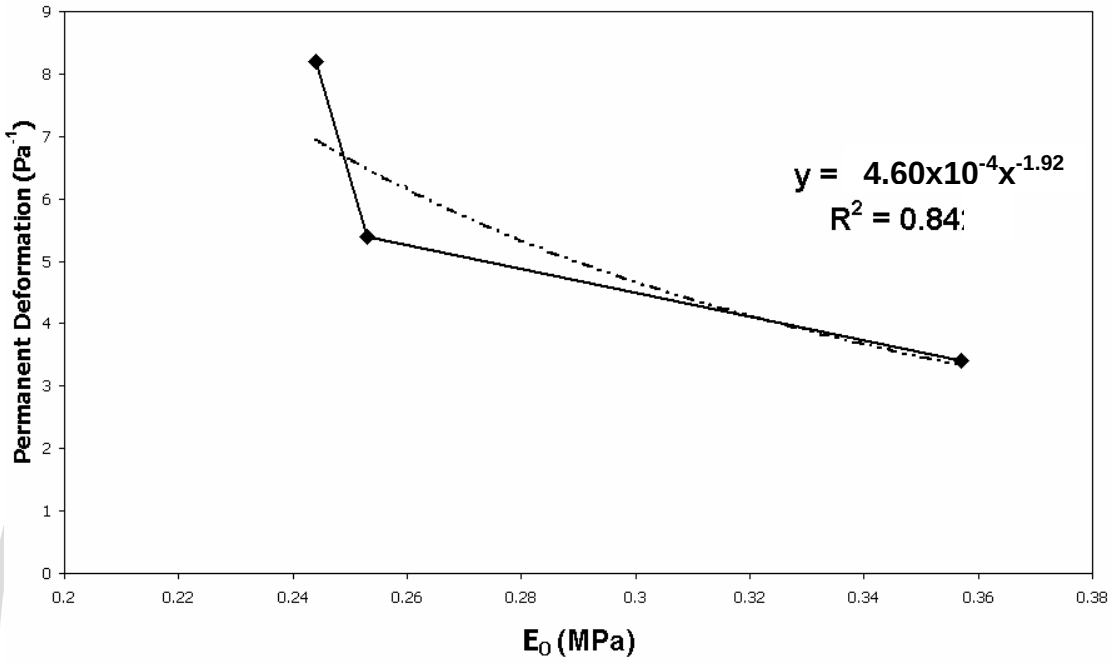
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่ามากขึ้น E_0 ย่อมมีค่าลดลง โดยมี $R^2 = 0.69$ นั่นคือ การเพิ่มปริมาณเพคตินมีผลต่อ E_0 เพียงร้อยละ 69 เท่านั้น ซึ่งถือว่ามีผลต่อ E_0 ในระดับปานกลาง

การลดลงของอิลาสติคโมดูลัส หมายถึง ผลิตภัณฑ์มีสมบัติอิลาสติคลดลง หรืออีกนัยหนึ่งคือ มีความแข็ง (ความยืดหยุ่น) น้อยลงนั่นเอง เมื่อออกแรงกดจึงเกิดการยุบตัวได้มากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณความชื้นซึ่งเป็นของเหลวในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นตามปริมาณเพคติน ทำให้สมบัติความเป็นอิลาสติคของผลิตภัณฑ์ลดลง ในที่นี้คาดว่ามีสาเหตุมาจากเพคตินเกิดเจลได้ไม่สมบูรณ์เป็นเพียงการก่อเจลด้วยพันธะอย่างอ่อนเท่านั้น (Oakenfull, 1991) เนื่องจากส่วนผสมของวัตถุดิบก่อนการกวนไม่อยู่ในภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดเจล หรือการก่อจังค์ชันโซนของเพคติน คือ มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และ pH ไม่เหมาะสม เนื่องจากเพคตินชนิดนี้จะเกิดเจลได้ดีที่ pH ประมาณ 3 และมีของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดร้อยละ 55 ขึ้นไป (Dumitriu, 1998) ทำให้เจลที่ได้ไม่แข็งแรงมากพอ ซึ่งการเติมเพคตินหากเกิดจังชันโซน หรือมีการก่อพันธะต่างๆ ได้ดี เจลที่ได้จะมีความคงตัว และแข็งแรงมากขึ้น (Oakenfull, 1991) การเติมเพคตินจึงควรมีผลเพิ่มความแข็ง หรือสมบัติอิลาสติคของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งปริมาณเพคตินที่มากขึ้นย่อมหมายถึง การเพิ่มความเข้มข้นของโพลิเมอร์เพคตินในกล้วยกวน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของโพลิเมอร์เพคติน ย่อมเป็นการเพิ่มการแสดงออกของสมบัติอิลาสติคของผลิตภัณฑ์ (Apel, 1997) อีกทั้งอิลาสติคโมดูลัสควรเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของเพคติน (Chronakis, 1996)

นอกจากนี้ การผิดรูปถาวรยังเพิ่มขึ้นตามปริมาณเพคตินอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าการเติมเพคตินมีผลเพิ่มสมบัติการไหลของผลิตภัณฑ์ตามสมการในตารางที่ 4.8 และจาก $R^2 = 0.78$ ซึ่งหมายถึง การเติมเพคตินมีผลเพิ่มสมบัติการไหลได้ถึงร้อยละ 78 อีกทั้งการผิดรูปถาวรยังมีความสัมพันธ์เชิงผกผันกับสมบัติอิลาสติค (E_0) ของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 คือ การผิดรูปถาวรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ E_0 ลดลง ซึ่งในที่นี้ขอแสดงผลเฉพาะกล้วยกวนระดับควบคุม กล้วยกวนที่เติมเพคตินร้อยละ2 และ 3 โดยน้ำหนัก เนื่องจาก E_0 ของกล้วยกวนที่มีปริมาณเพคตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนักนั้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับกล้วยกวนระดับควบคุม ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.5 : กราฟระหว่าง อิลาสติคโมดูลัส และการผิดรูปถาวร พร้อมเส้นแนวโน้ม และสมการความสัมพันธ์ (**....** คือ เส้นแนวโน้ม)

โดยความสัมพันธ์ของ E_0 และการผิดรูปถาวรเป็นดังสมการที่ 4.1 ดังนี้

$$\mathbf{Y = 4.60x10^{-4} * X^{-1.92}} \quad \text{..... (4.1)}$$

จะเห็นว่า การผิดรูปถาวรซึ่งในที่นี้ คือ ตัวแปร Y เป็นส่วนกลับของ E_0 ซึ่งคือ ตัวแปร X (R^2 = 0.84) ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงความสอดคล้องกันในแง่ของสมบัติอิลาสติคของวัสดุ คือ เมื่อมีความเป็นอิลาสติคมากหากถูกกด และทำการถอนแรงแล้ว วัสดุจะเกิดการคืนรูปได้มาก (Ward and Hadley, 1995) นั่นคือ มีค่าการผิดรูปถาวรต่ำ ดังเช่นกล้วยน้ำว้ากวนในระดับควบคุม ซึ่งมี E_0 มากที่สุด คือ 0.36 MPa และมีค่าการผิดรูปถาวรน้อยที่สุด คือ 3.40 μPa^{-1}

ส่วนความหนืด (μ_0) นั้น มีแนวโน้มลดลงอย่างเป็นลำดับ และลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในกล้วยกวนที่มีปริมาณเพคตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก โดยเพคตินที่เติมลงไปมีผลลดความหนืดของผลิตภัณฑ์ได้ถึงร้อยละ 81 (R^2 = 0.81) ทำให้ผลิตภัณฑ์ในหน่วยทดลองนี้แสดงการไหลที่แตกต่างออกไปจากกล้วยกวนหน่วยทดลองอื่นๆ ในพันธุ์เดียวกัน เห็นได้จากเส้นโค้งของ creep ซึ่งมีความชันมากกว่าเส้นโค้งของ creep ในกล้วยกวนหน่วยทดลองอื่นๆ เนื่องจากวัสดุที่มีความหนืดน้อย หรือมีลักษณะนิ่มจะแสดงการไหลได้มากกว่าวัสดุที่แข็ง (Jackman and Stanley, 1995)

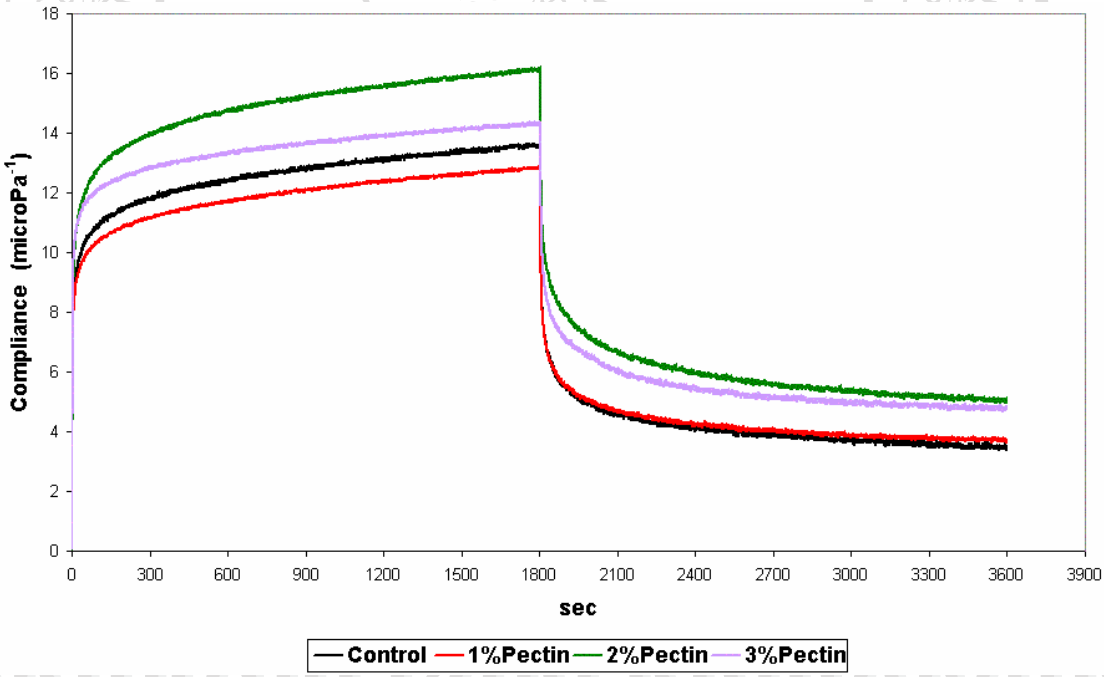
จากผลการวิเคราะห์ความเป็นวิสโคอิลาสติคทั้งสาม เมื่อพิจารณาร่วมกับส่วนประกอบทางเคมี จะเห็นว่าปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น มีบทบาทลดสมบัติอิลาสติคของผลิตภัณฑ์ และทำให้เกิดการผิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปถาวรมากขึ้น สันนิษฐานว่าอาจเนื่องมาจากภาวะที่ไม่เหมาะสมดังกล่าวผลักดันให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างเพคตินกับน้ำ เนื่องจากเจลของเพคติน ประกอบด้วย พันธะไฮโดรเจน และพันธะไฮโดรโฟบิค การมีอยู่ของเพคตินจึงเป็นการกักน้ำไว้ในโครงสร้างเพื่อก่อ cross-link โดยอาศัยน้ำเป็นตัวกลางของเหลวในการรวมตัวกันของสายโพลิเมอร์ (Oakenfull, 1991) ทำให้มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น การเติมเพคตินจึงเป็นการลดสมบัติอิลาสติคของผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้ากวนนี้โดยทางอ้อม

4.3.3. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางวิสโคอิลาสติคของกล้วยไข่กวนที่เติมเพคตินต่างกัน 4 ระดับ

ผลการทดสอบ creep ของผลิตภัณฑ์กล้วยไข่กวนนั้น ให้ผลคล้ายกับกล้วยน้ำว้ากวน คือ ความสูงของเส้นโค้งของ creep มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 : แผนภาพเปรียบเทียบ creep compliance ของผลิตภัณฑ์กล้วยไข่กวนที่เติมเพคตินต่างกัน 4 ระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.9 อิลาสติคโมดูลัส (E_0) ความหนืด (μ_0) และ การผิดรูปถาวร ของกล้วยไข่กวนที่เติมเพคตินต่างกัน 4 ระดับ

Viscoelasticity	Control	1%Pectin	2%Pectin	3%Pectin
E_0 (MPa)	$0.28^{a} \pm 0.04$	$0.39^{a} \pm 0.07$	$0.31^{a} \pm 0.05$	$0.32^{a} \pm 0.05$
μ_0 (GP)	$1.10^{a} \pm 0.38$	$1.20^{a} \pm 0.12$	$1.04^{a} \pm 0.40$	$1.32^{a} \pm 0.17$
PD (μPa^{-1})	$3.50^{a} \pm 30.6$	$3.75^{a} \pm 21.8$	$5.05^{b} \pm 48.9$	$4.80^{b} \pm 50.6$

หมายเหตุ : - PD คือ การผิดรูปถาวร

- อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพคติน กับ อิลาสติคโมดูลัส (E_0) ความหนืด (μ_0) และการผิดรูปถาวร ของกล้วยไข่กวน

Viscoelasticity	Equation	R^2
E_0 (Pa)	$E_0 = 3.45 \times 10^{3} * pectin + 3.13 \times 10^{5}$	0.01
μ_0 (P)	$\mu_0 = 5.00 \times 10^{7} * pectin + 1.00 \times 10^{9}$	0.28
PD (Pa^{-1})	$PD = 5.00 \times 10^{-7} * pectin + 3.00 \times 10^{-6}$	0.77

หมายเหตุ : - PD คือ การผิดรูปถาวร

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าเส้นโค้งของ creep ของกล้วยไข่กวนที่เติมเพคตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนักมีความสูงน้อยที่สุด และเส้นโค้งของ creep ของกล้วยไข่กวนที่เติมเพคตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนักอยู่ในตำแหน่งสูงสุด ส่วนเส้นโค้งของ creep ของกล้วยไข่กวนระดับควบคุม และกล้วยไข่กวนที่เติมเพคตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก นั้นอยู่กึ่งกลางระหว่างเส้นโค้งของ creep ของกล้วยไข่กวนที่เติมเพคตินร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ทั้งสองหน่วยทดลองมีค่าน้อย (ร้อยละ 31.50 โดยน้ำหนัก) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเทียบกับปริมาณความชื้นในกล้วยไข่กวนที่เติมเพคตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก (ร้อยละ 35.15 โดยน้ำหนัก) (ตารางที่ 4.3) แต่เมื่อพิจารณาอิลาสติคโมดูลัส (Eo) แล้วกลับพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติของ E_0 ในกล้วยไข่กวนทั้ง 4 หน่วยทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.9 อีกทั้งความสัมพันธ์ระหว่าง E_0 และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณเพคตินยังสัมพันธ์กันเพียงร้อยละ 1 เท่านั้น (R^2 = 0.01) (ตารางที่ 4.10) ซึ่งถือได้ว่าการเติมเพคตินไม่มีผลต่อสมบัติอิลาสติคของกล้วยไข่กวน

สำหรับความหนืดนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทั้ง 4 หน่วยทดลองเช่นกัน เนื่องจากเพคตินมีผลเพิ่มความหนืดเพียงร้อยละ 28 ดังตารางที่ 4.10 แต่การผิดรูปถาวรนั้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อปริมาณเพคตินเป็นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 4.9) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในกล้วยกวนหน่วยทดลองนี้ (ตารางที่ 4.3) ทำให้สมบัติอิลาสติคของผลิตภัณฑ์ลดลง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ มีสมบัติการไหลมากขึ้น น้ำ ซึ่งเป็นของเหลวย่อมตอบสนองต่อการทดสอบตามสมบัติของของไหล (Morrow and Mohsenin, 1966) เมื่อเกิดการผิดรูปแล้ว จะไม่เกิดการคืนรูป หรือเกิดการผิดรูปถาวรนั่นเอง (มนัส, 2537) การมีสมบัติของการไหลมากขึ้นจึงเป็นการเพิ่มการผิดรูปถาวรนั่นเอง

จากผลดังกล่าวจะเห็นว่า โดยรวมเพคตินไม่มีผลต่อสมบัติวิสโคอิลาสติคของกล้วยไข่กวน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากภาวะการเกิดเจลที่ไม่สมบูรณ์ของเพคติน และการกักน้ำไว้ในผลิตภัณฑ์ ดังเช่นได้กล่าวอ้างไว้ในหัวข้อก่อนหน้า ทำให้ผลการทดสอบซึ่งมีแนวโน้มไม่แน่นอน และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ นอกจากนี้การเกิดเจลของเพคตินนั้นยังต้องการสารช่วยดูดน้ำออกจากโมเลกุล เช่น น้ำตาล ซึ่งจะช่วยลดการละลายของเพคตินให้น้อยลง และการมี pH (H^+) ในปริมาณที่เหมาะสม ช่วยลดจำนวนประจุลบของหมู่คาร์บอกซิลให้น้อยลง และลดการผลักกันระหว่างประจุลบดังกล่าวได้ ทำให้สายโมเลกุลของเพคตินเข้ามาใกล้กัน และเกาะรวมกันเป็นโครงสร้างตาข่าย หรือ จังค์ชันโซน ได้นั่นเอง (นิธิยา, 2545) การเติมเพคตินในภาวะที่ไม่เอื้อต่อการเกิดเจลที่ดีของเพคตินจึงมีผลทำให้เจลเพคตินที่ได้ไม่มีคุณภาพเท่าที่ควร

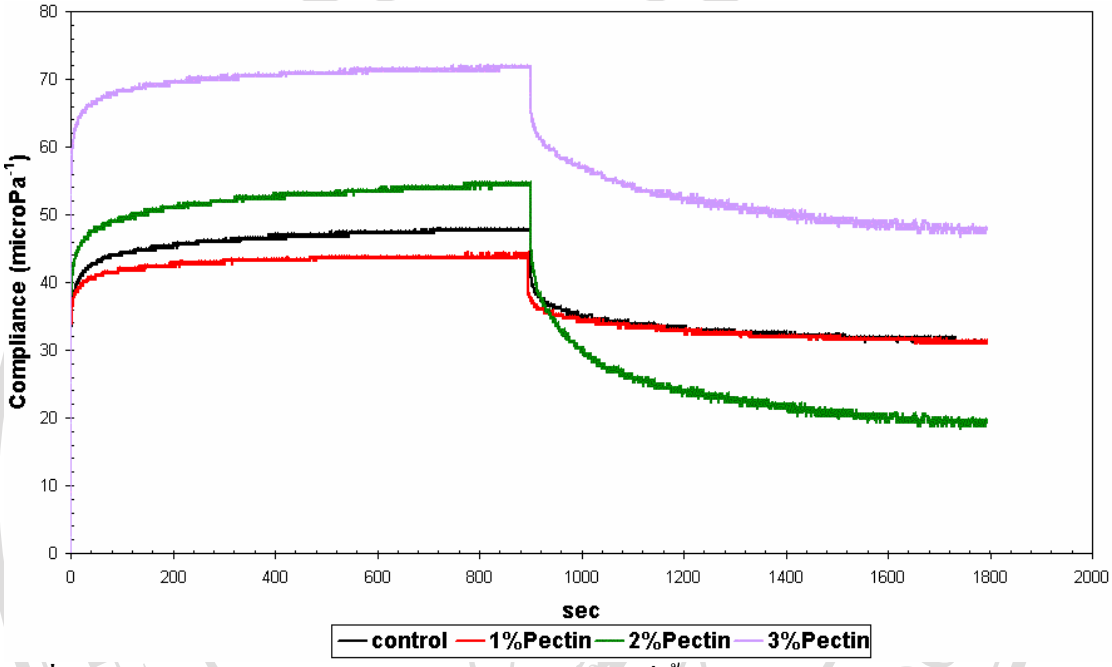
อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบในผลิตภัณฑ์กล้วยหอมทองกวน ยังให้แนวโน้มเช่นเดียวกันกับกล้วยน้ำว้า และกล้วยไข่กวน ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.4. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางวิสโคอิลาสติคของกล้วยหอมทองกวนที่เติมเพคตินต่างกัน 4 ระดับ

เนื่องจากผลการทดสอบ creep ในกล้วยกวนทั้งสองพันธุ์ (กล้วยน้ำว้า และกล้วยไข่) ให้แนวโน้มของสมบัติวิสโคอิลาสติคเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้นไม่เป็นไปตามทฤษฎี ซึ่งนอกจากภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของเพคตินดังกล่าวแล้ว ในที่นี้สันนิษฐานว่า อาจมีผลกระทบมาจากการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิในบรรยากาศระหว่างวันด้วย ทำให้อุณหภูมิและความชื้นรอบๆ กล้วยกวนมีค่าไม่คงที่ระหว่างรอให้กล้วยกวนเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง เป็นผลให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์แปรผันไปตามความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศไปด้วย เนื่องจาก

ความชื้นในผลิตภัณฑ์สามารถระเหยออกสู่บรรยากาศภายนอกได้ (นิธิยา, 2545) การทดลองนี้จึงจัดให้กล้วยหอมทองกวนเย็นลงใน desiccator ซึ่งเป็นระบบปิด เพื่อหลีกเลี่ยงผลจากความแปรปรวนของบรรยากาศภายนอก และผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7: ผลการทดสอบ creep ของกล้วยหอมทองกวนที่ทิ้งให้เย็นใน Desiccator และเติมเพคตินต่างกัน 4 ระดับ

ตารางที่ 4.11 อิลาสติคโมดูลัส (E_0) ความหนืด (μ_0) และ การผิดรูปถาวร ของกล้วยหอมทองกวนที่เติมเพคตินต่ากัน 4 ระดับ

Viscoelasticity	Control	1%Pectin	2%Pectin	3%Pectin
E_0 (MPa)	$0.23^{a} \pm 0.04$	$0.26^{a} \pm 0.07$	$0.19^{a} \pm 0.05$	$0.23^{a} \pm 0.05$
μ_0 (GP)	$0.59^{a} \pm 0.38$	$1.09^{a} \pm 0.12$	$0.28^{a} \pm 0.40$	$0.40^{a} \pm 0.17$
PD (μPa^{-1})	$31.5^{a} \pm 2.06$	$31.1^{a} \pm 3.12$	$19.2^{b} \pm 1.52$	$47.8^{c} \pm 2.06$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

หมายเหตุ : - PD คือ การผิดรูปถาวร

- อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

อักษรต่างกัน หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จะเห็นว่า เส้นโค้งของ creep มีแนวโน้มคล้ายกับกล้วยน้ำว้า และกล้วยไข่ คือ อิลาสติคโมดูลัส (E_0) และความหนืด (μ_0) มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.11) อีกทั้งความสูงของเส้นโค้งของ creep ยังเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเกิดการยุบตัวมากขึ้นเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น นั่นคือ มีความแข็งลดลงเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น ลักษณะเช่นนี้ทำให้อาจสรุปได้ว่า ความแปรปรวนของความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศไม่มีผลต่อสมบัติวิสโคอิลาสติคของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการทดลองนี้ปริมาณความชื้นของกล้วยกวนทุกหน่วยทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 4.4) แต่ยังให้ผลการทดสอบเช่นเดียวกันกับกล้วยน้ำว้า และกล้วยไข่ และอาจกล่าวได้ว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณเพคตินไม่มีผลเพิ่มปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ดังที่ได้สันนิษฐานไว้ในการทดลองก่อนหน้า ปริมาณความชื้นที่ผันแปรไปนั้นอาจได้รับอิทธิพลมาจากความแปรปรวนของความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศเนื่องจากการทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเพียงอย่างเดียว

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพคตินกับ E_0 μ_0 และการผิดรูปถาวรนั้นได้แสดงในตารางที่ 4.12 ซึ่งจะพบว่า การเติมเพคตินมีผลต่อสมบัติอิลาสติคและการไหลของผลิตภัณฑ์ในเชิงลบ คือ เมื่อปริมาณเพคตินมีค่ามากขึ้น E_0 และ μ_0 จะมีค่าลดลงแต่มีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากเพคตินมีผลลดสมบัติทั้งสอง คือ E_0 และ μ_0 เพียงร้อยละ 10 และร้อยละ 25 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าเพคตินมีผลต่อสมบัติทั้งสองเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตารางที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพคติน กับ อิลาสติคโมดูลัส (E_0) ความหนืด (μ_0) และการผิดรูปถาวร ของกล้วยหอมทองกวน

Viscoelasticity	Equation	R^2
E_0 (Pa)	$E_0 = -7.80 \times 10^3 * pectin + 2.37 \times 10^5$	0.10
μ_0 (P)	$\mu_0 = -1.00 \times 10^8 * pectin + 8.00 \times 10^8$	0.25
PD (Pa^{-1})	$PD = 4.00 \times 10^{-6} * pectin + 3.00 \times 10^{-5}$	0.16

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

หมายเหตุ : - PD คือ การผิดรูปถาวร

สำหรับการคืนรูป และการผิดรูปถาวรแล้ว การคืนรูป และการผิดรูปถาวรของกล้วยกวนระดับควบคุมและกล้วยกวนที่เติมเพคตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก มีความใกล้เคียงกัน และไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 4.11) แต่เมื่อพิจารณากล้วยกวนที่เติมเพคตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก กลับพบการแสดงออกของการคืนรูปที่แตกต่างออกไปจากกล้วยกวนระดับควบคุม และกล้วยกวนที่เติม

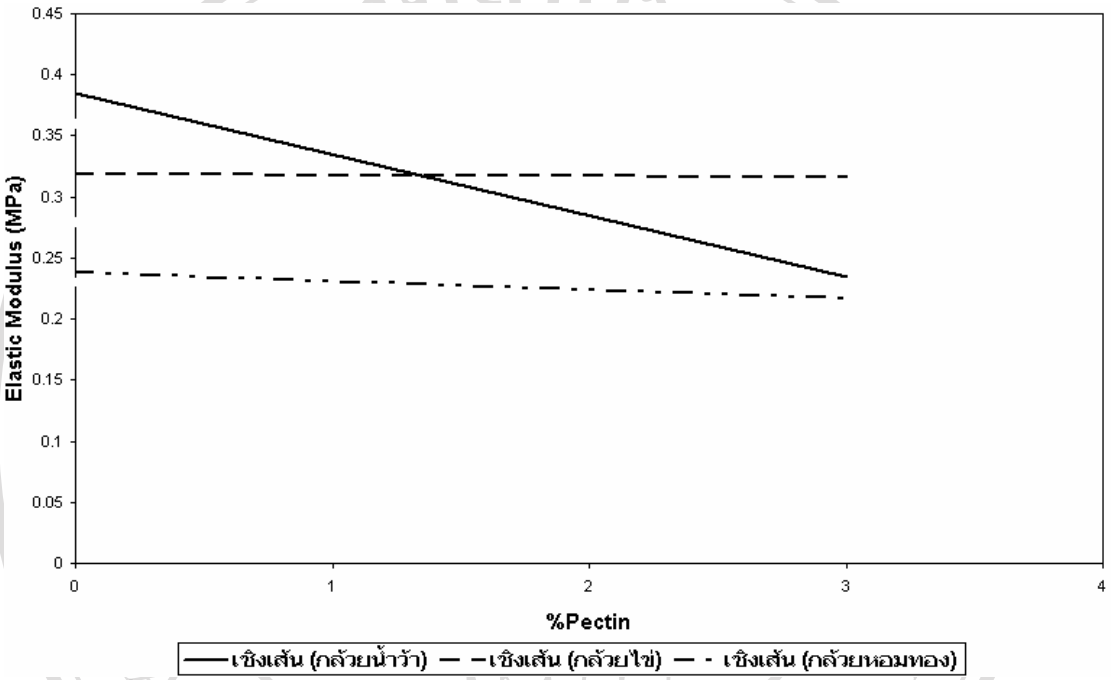
เพคตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก อีกทั้งยังแตกต่างจากผลการทดลองของกล้วยหอมทองในการทดลองก่อนหน้าอีกด้วย คือ เมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 2 และ3 โดยน้ำหนัก กล้วยกวนแสดงอัตราการคืนรูปที่เร็วขึ้น สังเกตได้จากความชันที่มากขึ้นของเส้นโค้งในช่วงการถอนแรง (รูปที่ 4.7) และค่าการผิดรูปถาวรที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเติมเพคตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 4.11) ทั้งนี้คาดว่าเพคตินอาจมีผลเพิ่มอิลาสติคโมดูลัสในส่วนของ retarded elastic หรือ ส่วนของแบบจำลองโวค-เคลวิน เนื่องจากการคืนรูปในส่วนนี้ได้รับอิทธิพลมาจากแบบจำลองนี้มากกว่าการคืนรูปในส่วนของ instantaneous elastic (สปริงเดี่ยวจาก แบบจำลองแมกซ์เวลล์) (Steffe, 1996) ทำให้มีอัตราการคืนรูปเร็วขึ้น ดังนั้น จึงหดกลับได้มากกว่าเมื่อใช้เวลาเท่ากัน ทำให้การผิดรูปถาวรมีค่าน้อยกว่ากล้วยกวนหน่วยทดลองอื่น(ตารางที่ 4.11) ส่วนการคืนรูป และการผิดรูปถาวรของกล้วยกวนที่เติมเพคตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนักนั้น หากสังเกตจากความชัน (รูปที่ 4.7) จะพบว่ามีอัตราการคืนรูปใกล้เคียงกันกับกล้วยกวนที่เติมเพคตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก แต่เกิดการผิดรูปถาวรมากกว่ากล้วยกวนหน่วยทดลองอื่นๆ เนื่องจากเกิดการยุบตัวไปมากกว่า อีกทั้ง ความหนืดในกล้วยกวนหน่วยทดลองนี้ยังมีค่าน้อย คือ 0.40 GP เมื่อเทียบกับกล้วยกวนที่เติมเพคตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.09 GP ทำให้เกิดการไหลขณะออกแรงกดได้มาก และเกิดการผิดรูปถาวรได้มากกว่าการคืนรูปจึงเกิดน้อยกว่ากล้วยกวนหน่วยทดลองอื่นๆ

อย่างไรก็ตามผลการทดสอบ creep ของการทดลองนี้ยังให้ผลไม่เป็นไปคามสมมติฐาน คือ ค่าคงที่ของสมบัติวิสโคอิลาสติคต่างๆ มีค่าไม่เป็นไปตามลำดับของปริมาณเพคติน โดยสมบัติวิสโคอิลาสติคต่างๆ ควรเรียงลำดับของตามปริมาณเพคติน จากระดับควบคุมไปยังร้อยละ3 โดยน้ำหนัก และการเพิ่มปริมาณเพคตินควรมีผลเพิ่ม E_0 ให้กับผลิตภัณฑ์ ดังเช่นผลจากการทดสอบเจลเพคตินในการทดลองก่อนหน้า เนื่องจากการทดลองนี้ไม่มีการปรับภาวะของส่วนผสมระหว่างเพคตินและกล้วยให้อยู่ในภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดเจล คือ มี pH และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดที่เหมาะสม การทดสอบ creep จึงให้ผลไม่เป็นไปตามทฤษฎี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.5. การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิสโคอิลาสติคของกล้วยกวน 3 พันธุ์

การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิสโคอิลาสติคของกล้วยกวนทั้ง 3 พันธุ์นั้น ในที่นี้ได้แสดงแยกตามสมบัติอิลาสติค (อิลาสติคโมดูลัส) และสมบัติการไหล (การผิดรูปถาวร) ดังนี้

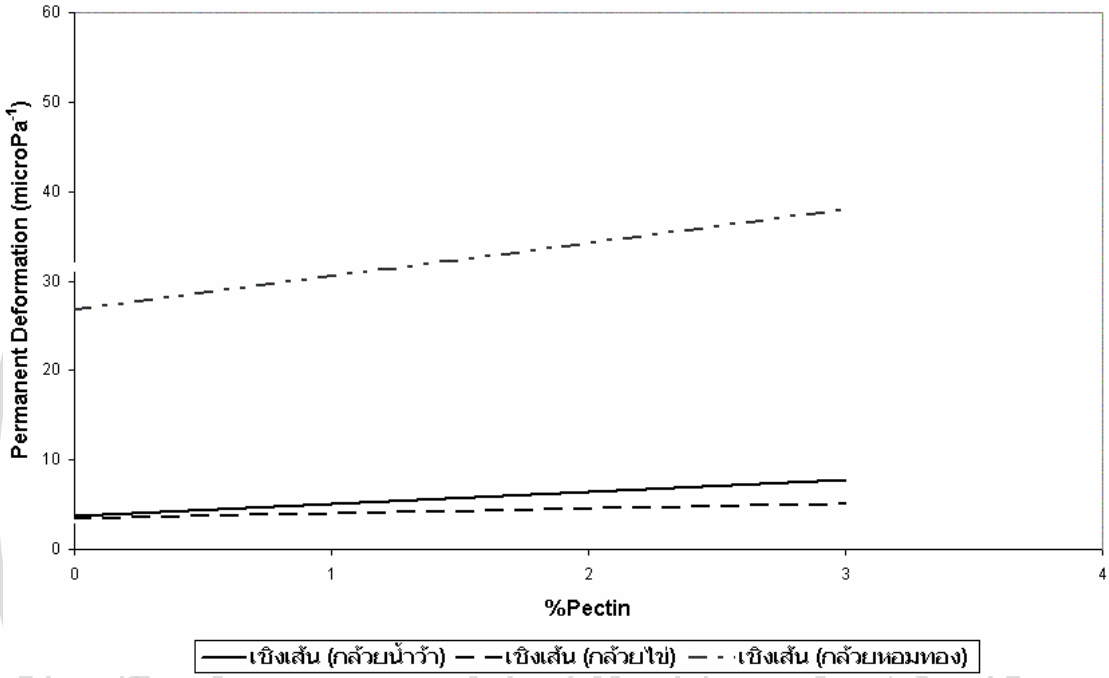


รูปที่ 4.8 : แผนภาพเปรียบเทียบแนวโน้มของ อิลาสติคโมดูลัส ของกล้วยกวน 3 พันธุ์

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่ากล้วยน้ำว้ากวนแสดงสมบัติอิลาสติค หรืออิลาสติคโมดูลัสมากที่สุด นั่นคือ กล้วยน้ำว้ากวนมีความแข็งมากที่สุดเทียบกับกล้วยไข่กวน และกล้วยหอมทองกวน แต่เมื่อมีการเติมเพคตินจะพบว่าเพคตินมีผลลดอิลาสติคโมดูลัสของกล้วยน้ำว้ากวนอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับอิลาสติคโมดูลัสของกล้วยกวนพันธุ์อื่นๆ คือ เมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้นอิลาสติคโมดูลัส ของกล้วยน้ำว้ากวนมีค่าลดลงจากกล้วยน้ำว้ากวนระดับควบคุมอย่างชัดเจน ต่างจากแนวโน้มของอิลาสติคโมดูลัส ของกล้วยไข่กวนซึ่งถือได้ว่าการเติมเพคตินไม่มีผลต่ออิลาสติคโมดูลัส ของกล้วยไข่กวนสังเกตได้จากลักษณะของเส้นแนวโน้มซึ่งไม่แสดงการเปลี่ยนแปลงของอิลาสติคโมดูลัสตามปริมาณเพคติน ถือได้ว่าการเติมเพคตินไม่มีผลต่อสมบัติอิลาสติคของกล้วยไข่กวน และสำหรับกล้วยหอมทองกวนนั้นการเติมเพคตินมีผลต่ออิลาสติคโมดูลัสของกล้วยหอมทองกวนที่คล้ายกันกับจากกล้วยน้ำว้ากวน คือ อิลาสติคโมดูลัสแสดงแนวโน้มที่ลดลงเมื่อมีการเติมเพคติน แต่แนวโน้มดังกล่าวไม่แสดงความแตกต่างทางสถิติ (จากตารางที่ 4.11) จึงถือได้ว่าการเติมเพคตินไม่มีผลต่ออิลาสติคโมดูลัส ของกล้วยหอมทองกวนเช่นเดียวกับกล้วยไข่กวน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้การผิดรูปถาวรของกล้วยกวนทั้ง 3 พันธุ์ยังแสดงแนวโน้มเดียวกันเช่นเดียวกันกับแนวโน้มของอิลาสติคโมดูลัสข้างต้นดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 : แผนภาพเปรียบเทียบแนวโน้มของ การผิดรูปถาวร ของกล้วยกวน 3 พันธุ์

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่ากล้วยกวนทั้ง 3 พันธุ์แสดงแนวโน้มของการผิดรูปถาวรเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเพคตินเพิ่มขึ้น แนวโน้มที่สอดคล้องกันในทั้งอิลาสติคโมดูลัส และการผิดรูปถาวรดังกล่าวคือ กล้วยกวนทุกพันธุ์แสดงการลดลงของอิลาสติคโมดูลัสเมื่อเพคตินเพิ่มขึ้น ซึ่งขัดแย้งกับสมมติฐานนั้น เป็นผลจากภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเกิดเจลของเพคติน ทำให้เกิดความแปรปรวนของสมบัติวิสโคอิลาสติคของกล้วยกวนทั้ง 3 พันธุ์ การตอบสนองต่อการทดสอบของกล้วยกวนทั้ง 3 พันธุ์จึงผิดไปจากทฤษฎี และสมมติฐานที่คาดไว้ (เพคตินควรมีผลเพิ่มสมบัติอิลาสติค หรืออิลาสติคโมดูลัสในผลิตภัณฑ์) ดังนั้นการเติมเพคตินในผลิตภัณฑ์จึงควรจัดให้อยู่ในภาวะที่เอื้อต่อการเกิดเจลจึงจะได้ผลเป็นไปตามทฤษฎี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.6. ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบทางเคมีและอิลาสติคโมดูลัสของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และอิลาสติคโมดูลัส (E_0) ของผลิตภัณฑ์

พันธุ์	Equation	R^2
กล้วยน้ำว้า	E_0 (Pa) = -7.40 x10^3*MC +5.84 x10^5	0.01
กล้วยไข่	E_0 (Pa) = 4.73 x10^3*MC+1.58 x10^5	0.03
กล้วยหอมทอง	E_0 (Pa) = -1.65 x10^4*MC +7.63 x10^5	0.59

หมายเหตุ : MC คือ ปริมาณความชื้น (Moisture Content (%w/w))

ตารางที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาล และอิลาสติคโมดูลัส (E_0) ของผลิตภัณฑ์

พันธุ์	Equation	R^2
กล้วยน้ำว้า	E_0 (Pa) = 1.32x10^4*SC – 2.52x10^5	0.94
กล้วยไข่	E_0 (Pa) = -6.86x10^3*SC + 6.61x10^5	0.16
กล้วยหอมทอง	E_0 (Pa) = 2.33x10^4*SC – 8.61x10^5	0.55

หมายเหตุ : SC คือ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Sugar Content (%w/w))

จากตารางที่ 4.13 จะเห็นว่าปริมาณความชื้นมีผลในเชิงลบกับอิลาสติคโมดูลัสของกล้วยน้ำว้ากวน และกล้วยหอมทองกวน คือ เมื่อปริมาณความชื้นมีค่ามากขึ้นอิลาสติคโมดูลัสของกล้วยกวนทั้งสองจะมีค่าลดลง แต่ความสัมพันธ์ดังกล่าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอิลาสติคโมดูลัสของกล้วยน้ำว้ากวนเพียงร้อยละ 1 เท่านั้นซึ่งถือว่าน้อยมาก สำหรับกล้วยหอมทองกวนปริมาณความชื้นมีผลลดอิลาสติคโมดูลัสของกล้วยหอมทองกวนร้อยละ 59 และถือว่ามีความสัมพันธ์กันเพียงปานกลาง สำหรับกล้วยไข่กวนปริมาณความชื้นมีผลเพิ่มอิลาสติคโมดูลัสของกล้วยไข่กวน แต่มีความสัมพันธ์เพียงร้อยละ 3 เท่านั้น หากพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและอิลาสติคโมดูลัสดังกล่าวจะเห็นว่า อิลาสติคโมดูลัสมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ทั้งสามน้อยมาก ซึ่งขัดกับผลการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยเฉพาะกล้วยน้ำว้ากวนซึ่งอิลาสติคโมดูลัสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ในแต่ละหน่วยทดลองนั้นไม่สม่ำเสมอ จึงมีความสัมพันธ์กับอิลาสติค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โมดูลัสน้อยมาก ดังเช่นกล้วยน้ำว้ากวนที่อิลาสติคโมดูลัสมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นเพียงร้อยละ 1 เท่านั้น และจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลกับอิลาสติคโมดูลัส ดังตารางที่ 4.14 ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในกล้วยน้ำว้ากวนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอิลาสติคโมดูลัสได้ถึงร้อยละ 94 อาจกล่าวได้ว่าสำหรับกล้วยน้ำว้ากวนการลดลงของปริมาณน้ำตาลอาจเป็นสาเหตุหนึ่งของการลดลงของอิลาสติคโมดูลัส แต่ไม่อาจกล่าวเช่นเดียวกันนี้ได้กับกล้วยหอมทองกวนและกล้วยไข่กวนเนื่องจากอิลาสติคโมดูลัสในผลิตภัณฑ์ทั้งสองมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกันกับกล้วยน้ำว้ากวนขณะที่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ทั้งสองมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอิลาสติคโมดูลัสเพียงร้อยละ 16 สำหรับกล้วยไข่ และปริมาณน้ำตาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอิลาสติคโมดูลัสของกล้วยหอมทองกวนเพียงร้อยละ 55 ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวถือว่ามีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของอิลาสติคโมดูลัสน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วยทดลอง ดังได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น เนื่องจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นย่อมหมายถึง การลดลงของสัดส่วนของปริมาณน้ำตาล และส่วนประกอบทางเคมีอื่นๆ ในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นหากปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์แต่ละหน่วยทดลองไม่สม่ำเสมอย่อมหมายถึง ปริมาณน้ำตาลในแต่ละหน่วยทดลองไม่สม่ำเสมอตามไปด้วย จึงทำให้ปริมาณของส่วนประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ไม่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของอิลาสติคโมดูลัสของผลิตภัณฑ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved