

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 องค์ประกอบเบื้องต้นทางเคมีและกายภาพของน้ำส้มเขียวหวานคั้น

เมื่อนำน้ำส้มเขียวหวานคั้นมาวิเคราะห์องค์ประกอบเบื้องต้นทางเคมีและกายภาพ ได้ผล ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบเบื้องต้นทางเคมีและกายภาพของน้ำส้มเขียวหวานคั้น

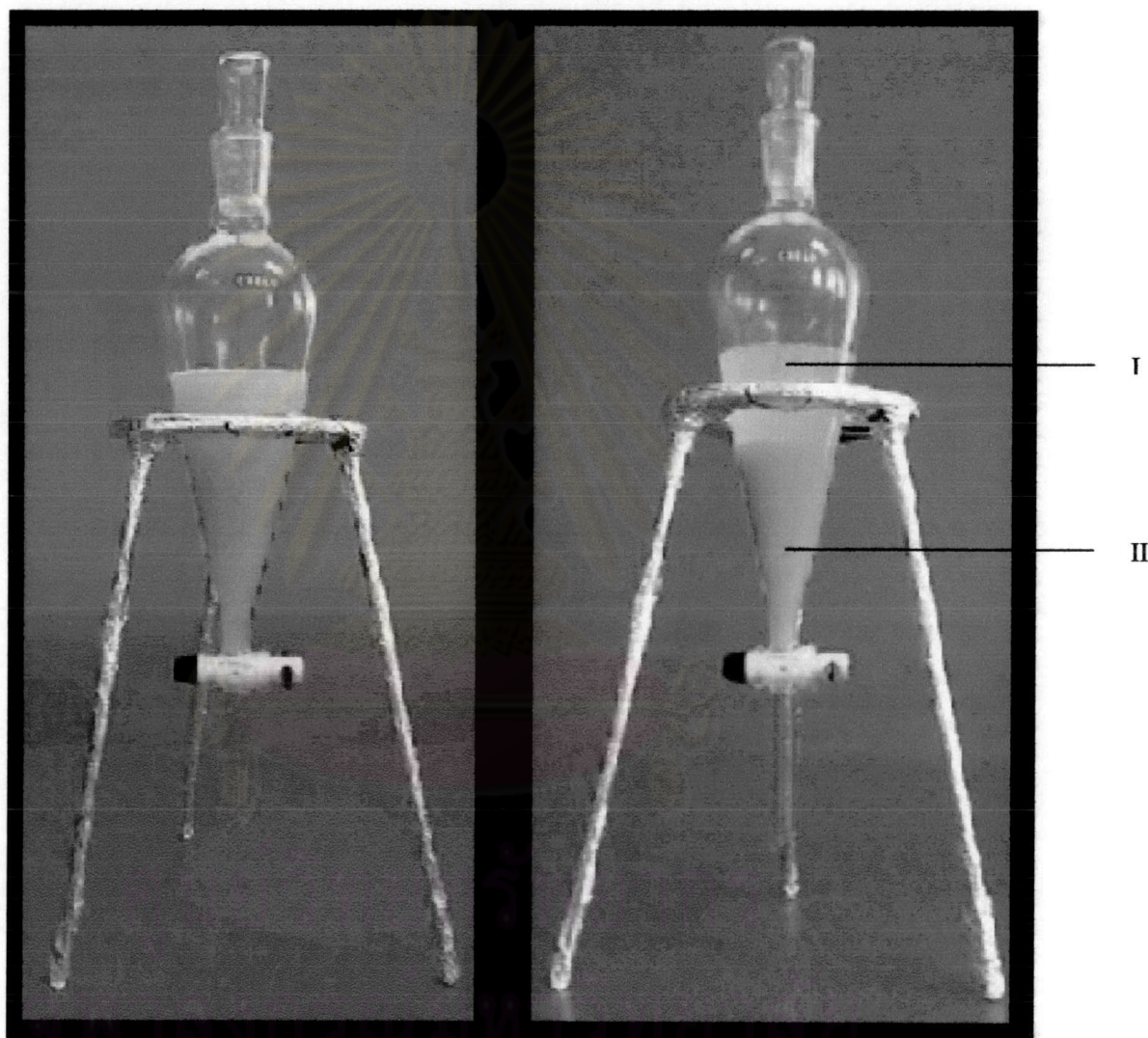
องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพ	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ( $^{\circ}$ Brix)	9.00 $\pm$ 0.82
ค่าความเป็นกรดต่าง	4.00 $\pm$ 0.25
ปริมาณกรดทั้งหมด : กรดซิตริก (g/100ml)	0.57 $\pm$ 0.04
ปริมาณวิตามินซี (mg/100 ml )	26.69 $\pm$ 0.99
ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ( $\mu$ g/ml)	0.37 $\pm$ 0.04
ปริมาณเพคติน (g/100ml)	0.25 $\pm$ 0.01
ปริมาณเอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเทอร์เรส (PME : Units/ml )	2.25 $\pm$ 0.20
ความขุ่น	0.22 $\pm$ 0.01
ความหนืด (cPs)	1.92 $\pm$ 0.07
ค่าสี	
L	39.37 $\pm$ 0.63
A	-1.48 $\pm$ 0.07
B	12.15 $\pm$ 1.18

ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

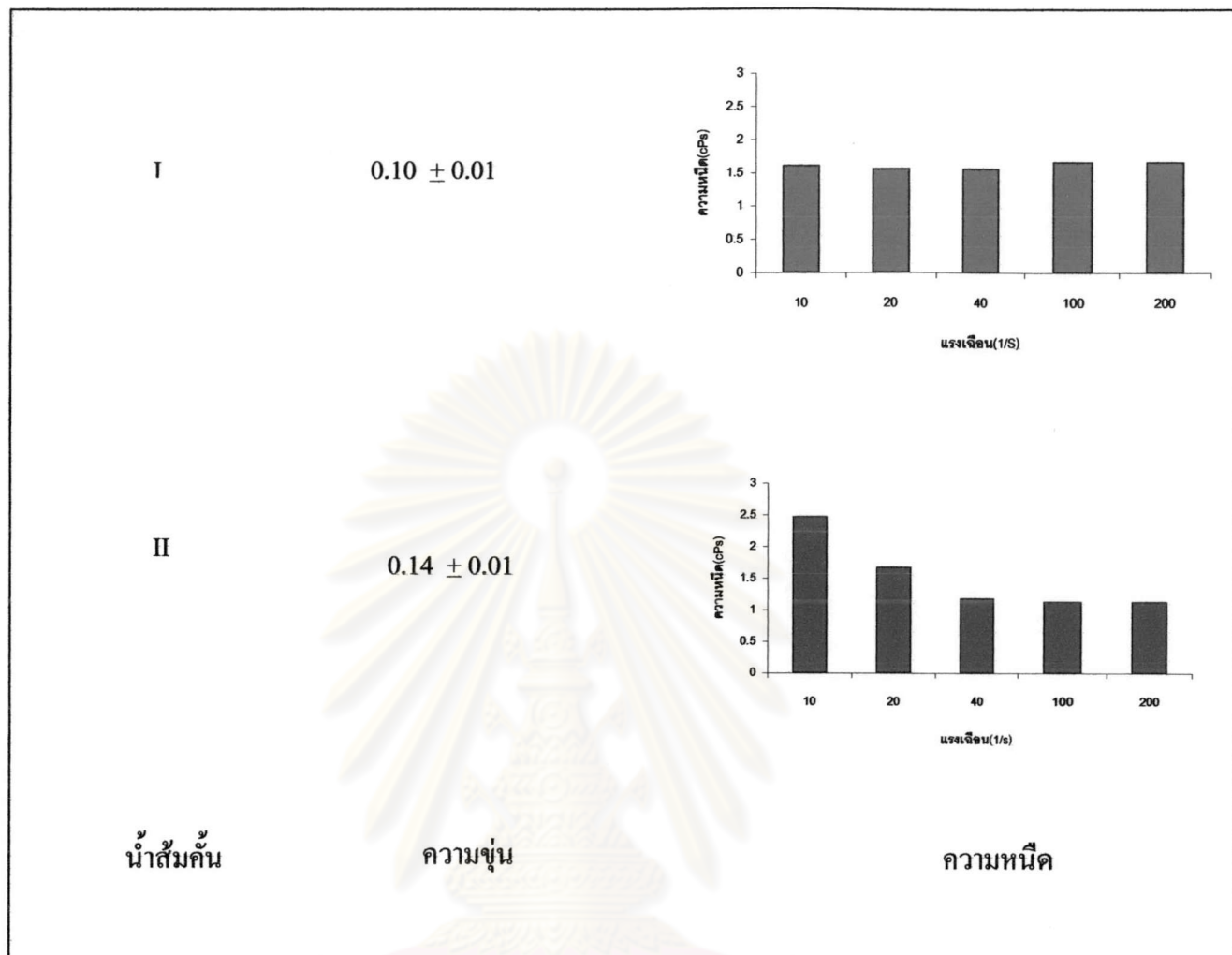
พบว่าน้ำส้มเขียวหวานคั้นมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้, ความเป็นกรดต่างและกรดซิตริก เป็น 9.00  $\pm$  0.82  $^{\circ}$ Brix, pH 4.00  $\pm$  0.25, 0.57  $\pm$  0.04 (g/100ml) ตามลำดับ มีวิตามินซี 26.69  $\pm$  0.99 (mg/100ml) มีเบต้าแคโรทีน 0.37  $\pm$  0.04 ( $\mu$ g/ml) มีเอนไซม์ PME 2.25  $\pm$  0.20 Units/ml

มีความชุ่ม  $0.22 \pm 0.01$  มีความหนืด  $1.92 \pm 0.07$  (cPs) มีสีเหลืองส้มออกเขียวเล็กน้อย (ค่า b เป็นบวกลบหมายถึงสีเหลือง และค่า a เป็นลบหมายถึงสีเขียว)

จากนั้นนำน้ำส้มคั้นมาทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4.1 เปรียบเทียบความชุ่มและความหนืดของน้ำส้มส่วนใสกับส่วนที่ตกตะกอนดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 การแยกน้ำส้มคั้นส่วนใส (I) ออกจากส่วนตะกอน (II)



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบความชุ่มและความหนืดของน้ำส้มก้นส่วนใสกับส่วนตะกอน

จากรูปที่ 4.2 พบว่าน้ำส้มส่วนใสมีความชุ่ม  $0.1 \pm 0.01$  มีความหนืดคงที่เมื่อเพิ่มแรงเฉือน น้ำส้มส่วนที่ตกตะกอนมีความชุ่ม  $0.14 \pm 0.01$  มีความหนืดลดลงเมื่อเพิ่มแรงเฉือน ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากเอนไซม์ PME สลายพันธะเอสเทอร์ของหมู่เมทิลในสายเพคตินเกิดเป็นกรดคาร์บอกซิลิกอิสระเมื่อรวมตัวกับแคลเซียมเกิดเป็นแคลเซียมเพคเตท และโครงสร้างเพคตินถูกทำลายระหว่างการคั้นน้ำส้ม จึงทำให้น้ำส้มก้นตกตะกอนและส่งผลให้น้ำส้มส่วนใสมีความชุ่มและความหนืดน้อยกว่าส่วนที่ตกตะกอน ซึ่งส่วนของตะกอนนี้อาจสันนิษฐานได้ว่าเป็นสารประกอบเพคตินเชิงซ้อนต่างๆ ดังที่ Klavon และคณะ (1994) เคยรายงานว่เพคตินมีร้อยละ 4.5 ของสารกักความชุ่มในน้ำส้มก้น โดยแบ่งออกเป็นเพคตินที่รวมตัวกันเองร้อยละ 60, เกิดเป็นแคลเซียมเพคเตทร้อยละ 25 – 30 และเป็นโปรโตเพคตินอีกร้อยละ 15 ของเพคตินทั้งหมด

#### 4.2 สูตรน้ำส้มเขียวหวานคั้นเบื้องต้น

เมื่อนำน้ำส้มมาแปรปริมาณเกลือเป็น 0.05, 0.10, 0.15 % (w/v) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็น 12, 14, 16 °Brix ด้วยน้ำตาลซูโครส คำนวณจากสมการของ Pearson (1976)

ประเมินผลทางประสาทสัมผัสโดยให้ผู้ทดสอบทั้งฝึกฝนจำนวน 10 คน พิจารณาลักษณะความชุ่ม ความหวาน ความเปรี้ยว ความเค็ม สี mouth feel กลิ่นรสสัมผัส และการยอมรับรวม โดยใช้วิธี Ideal Ratio Profile Test (RPT) ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3

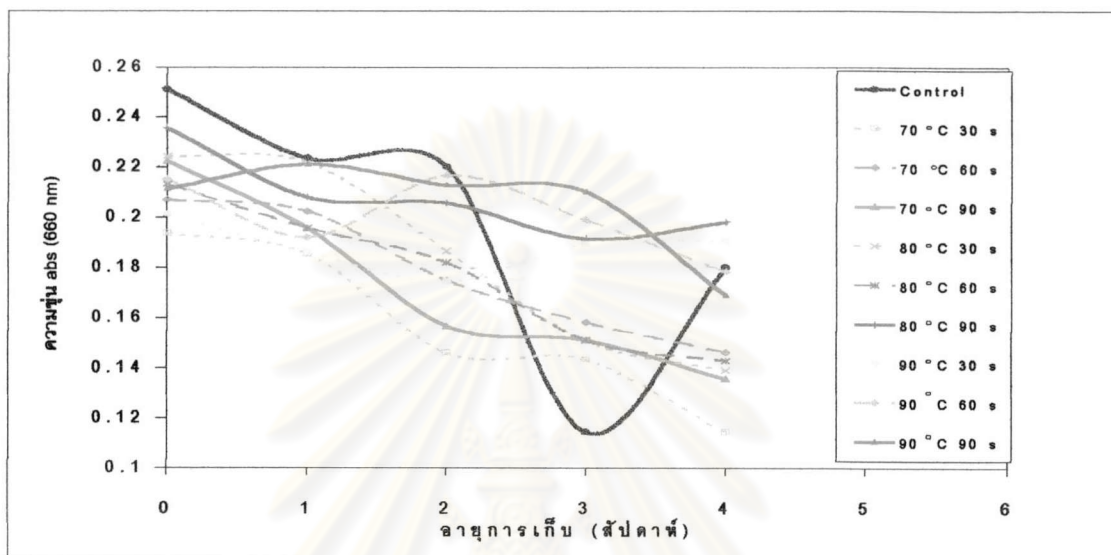


รูปที่ 4.3 สูตรน้ำส้มเขียวหวานคั้นเบื้องต้นโดยใช้ RPT

จากการทดลองแปรปริมาณเกลือและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ตามสูตรข้างต้น พบว่าสูตรที่มีเกลือ 0.1 % (w/v) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็น 14 องศาบริกซ์ เป็นสูตรที่มีคะแนนทางประสาทสัมผัสทุกๆ ด้านใกล้เคียงมากที่สุด จึงนำมาศึกษาหาภาวะในการให้ความร้อนน้ำส้มคั้น

#### 4.3 กระบวนการผลิตน้ำส้มเขียวหวานคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่ระดับต่างๆ

เมื่อนำน้ำส้มคั้นมาเตรียมตามสูตรที่ได้จากข้อ 4.2 มาแปรรูปหมักในการให้ความร้อนเป็น 70, 80, 90 องศาเซลเซียส และแปรรูปเป็น 30, 60, 90 วินาที ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

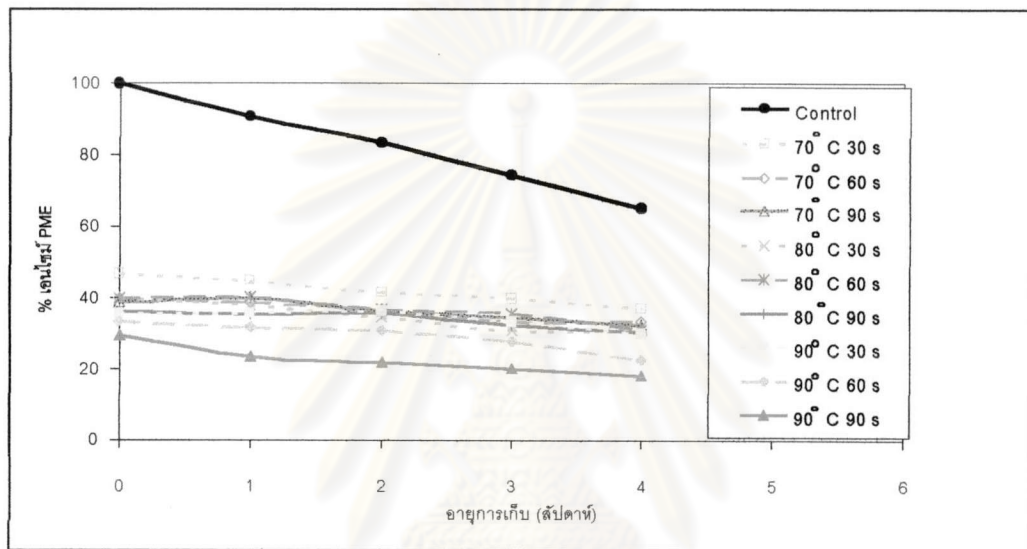


รูปที่ 4.4 ความขุ่นของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ (70, 80, 90 °C และ 30, 60, 90 วินาที) ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นสดในภาชนะบรรจุปิดสนิท

พบว่าตัวอย่างควบคุมมีเสถียรภาพความขุ่นลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาผ่านไป 3 สัปดาห์ หลังจากนั้นเสถียรภาพความขุ่นของตัวอย่างควบคุมเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะยีสต์และแบคทีเรีย เช่น *Leuconostoc* และ *Lactobacillus* ชนิดที่ทนน้ำตาลและกรด (สุมาลี เหลืองสกุล, 2535) ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถสร้างสารเมือก เช่น เดกซ์แทรน จากน้ำตาลซูโครสได้ (ปราณี อานเบ็อง, 2543)

น้ำส้มคั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 30, 60, 90 วินาที และ 80 °C เป็นเวลา 30, 60 วินาที มีเสถียรภาพความขุ่นลดลงเมื่อเก็บไว้ 4 สัปดาห์ แต่ตัวอย่างน้ำส้มคั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 90 วินาที และ 90 °C เป็นเวลา 30, 60, 90 วินาที สามารถรักษาเสถียรภาพความขุ่นได้อย่างน้อย 4 สัปดาห์ ซึ่งแตกต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Sadler และคณะ (1992) ที่ว่า Light pasteurization (LP: 66 °C, 10วินาที) เพียงพอที่จะยับยั้งเอนไซม์ PME ส่วนใหญ่ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดแคลเซียมเพคเตท ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณเอนไซม์ตั้งต้น Klavons และคณะ (1992) กล่าวว่าค่าความ

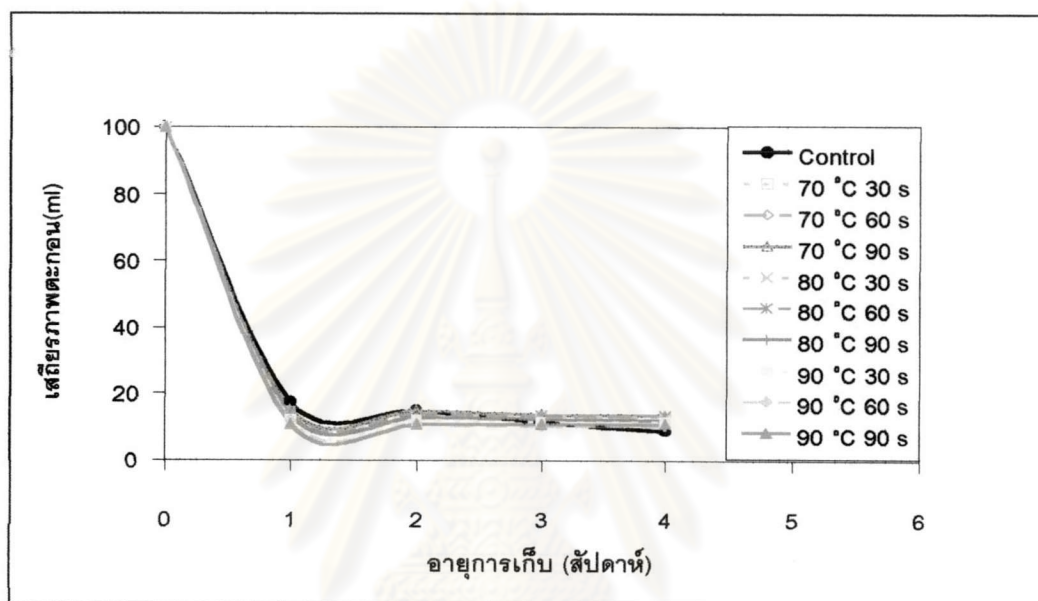
ขุ่นของน้ำส้มคั้นที่เพิ่มขึ้นมีสาเหตุมาจากความร้อนทำให้โปรตีนและเพคตินรวมตัวกัน แต่อย่างไรก็ตามอาจสันนิษฐานอีกนัยหนึ่งได้ว่าสารก่อความขุ่นในน้ำผลไม้ตระกูลส้มเป็นกรดเพคติกสายสั้น เพราะละลายน้ำได้ดี ซึ่งกรดเพคติกเกิดจากเอนไซม์ PME สลายพันธะเอสเทอร์ของหมู่เมทิลในสายเพคตินเกิดสายเพคตินที่มีหมู่เอสเทอร์น้อย เมื่อทำปฏิกิริยากับเอนไซม์พอลิกลาแลคทูโรเนสจะได้กรดเพคติกสายสั้นและละลายน้ำได้ดี ประกอบกับแคลเซียมในน้ำส้มมีจำนวนจำกัดจึงทำให้เกิดตะกอนของแคลเซียมเพคเตทเพียงบางส่วน ส่วนกรดเพคติกที่เหลือจึงทำหน้าที่เป็นสารแขวนลอยและก่อความขุ่นในน้ำส้มคั้น



รูปที่ 4.5 ปริมาณเอนไซม์ PME (%) ของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ( 70, 80, 90 °C และ 30, 60, 90 วินาที ) ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นสดในภาชนะบรรจุปิดสนิท

หลังจากให้ความร้อนกับตัวอย่างต่างๆ แล้วเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมโดยพิจารณาประกอบกับตารางที่ 3.3 ในภาคผนวก ง พบว่าตัวอย่างควบคุมมีเอนไซม์ PME ( $2.23 \pm 0.08$  Units/ml) สูงกว่าตัวอย่างที่ให้ความร้อนและค่อยๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป สำหรับตัวอย่างที่ให้ความร้อนสามารถลดปริมาณเอนไซม์ลงได้ 60 – 70 % ของเอนไซม์ PME เริ่มต้น (เหลือเพียง  $1.04 - 0.66$  Units/ml) ขึ้นกับระดับความร้อนที่ให้และปริมาณเอนไซม์ค่อนข้างคงที่ตลอด 4 สัปดาห์ ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนทำให้โปรตีนเสียสภาพ (denature) จึงยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PME ซึ่งเป็นโปรตีนได้ Kim, Tadini และ Singh (1999) รายงานว่าการพาสเจอร์ไร้น้ำส้มในช่วง  $80^{\circ}\text{C}$ , 33.27 วินาที ถึง  $90^{\circ}\text{C}$ , 17.85 วินาที สามารถลดการทำงานของเอนไซม์ในน้ำส้มได้ถึง 90 % ของ PME ทั้งหมด

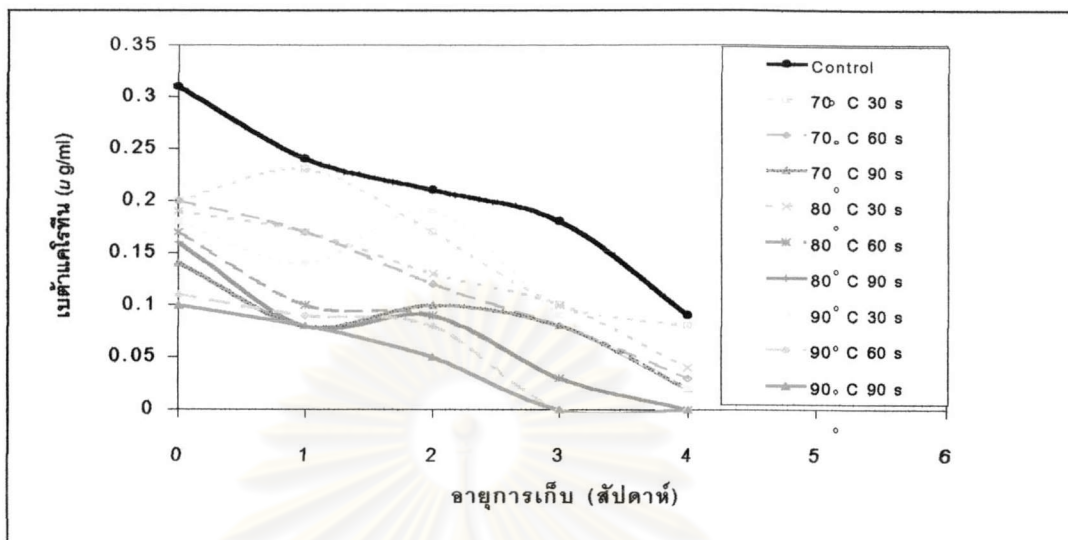
จากการศึกษาของ Cameron และคณะ (1996, 1998) พบว่าเอนไซม์ PME ในเปลือกส้มสายพันธุ์วาเลนเซียสามารถแบ่งออกเป็น 4 รูป คือ PME1, PME2, PME3 และ PME4 มีปริมาณ 6, 63.1, 7.9 และ 22.9 % ของ PME ทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งมีเพียง PME 3 เท่านั้นที่ทนความร้อน และเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียเสถียรภาพความชุ่มชื้นหลังการให้ความร้อน ส่วน PME 1, 2 และ 4 ไม่ทนความร้อน



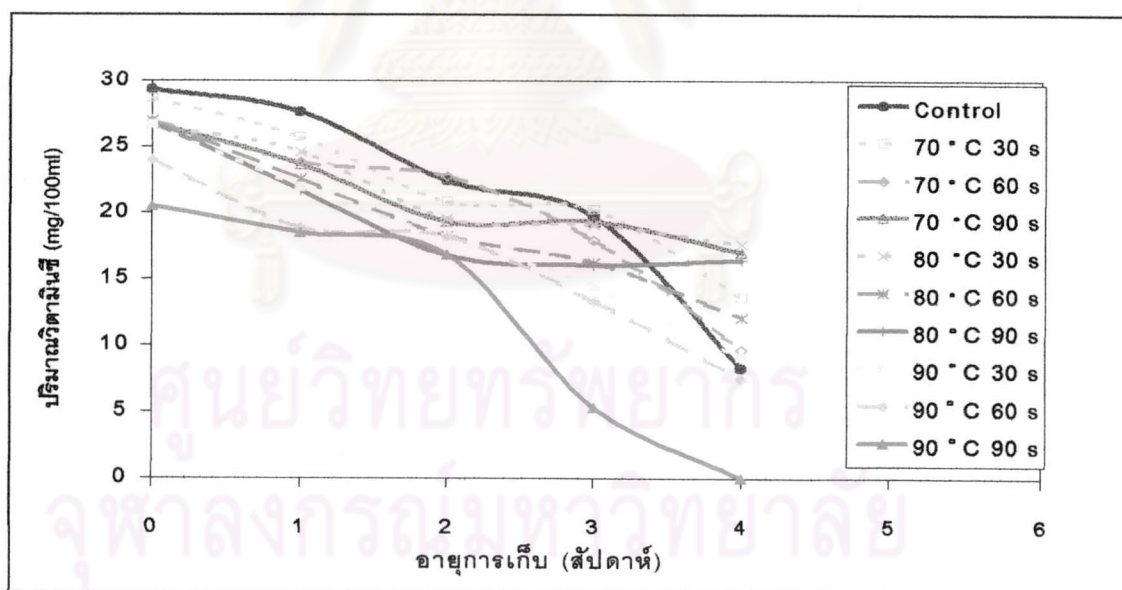
รูปที่ 4.6 เสถียรภาพตะกอนของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ( 70, 80, 90 °C และ 30, 60, 90 วินาที ) ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นสดในภาชนะบรรจุปิดสนิท

จากรูปที่ 4.6 พบว่าเสถียรภาพตะกอนของน้ำส้มคั้นที่ให้ความร้อนทุกตัวอย่างลดลงอย่างรวดเร็วภายในสัปดาห์แรก ต่อจากนั้นเสถียรภาพตะกอนค่อนข้างคงที่ตลอด 4 สัปดาห์ ซึ่งไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \geq 0.05$ ) อาจเป็นเพราะตัวอย่างควบคุมโครงสร้างของสารประกอบเพคตินถูกทำลายในระหว่างการคั้นน้ำและมีเอนไซม์ PME ที่ยังทำงานอยู่จึงทำให้ตกตะกอนอย่างรวดเร็วภายในสัปดาห์แรก ส่วนตัวอย่างที่ให้ความร้อนที่ระดับต่างๆ นั้นโครงสร้างของสารประกอบเพคตินบางส่วนถูกทำลายในระหว่างการคั้นน้ำและความร้อนอาจทำให้โครงสร้างถูกทำลายเพิ่มขึ้นจึงตกตะกอนอย่างรวดเร็วภายในสัปดาห์แรกเช่นกัน สอดคล้องกับผลการทดลองของ Yen และ Song (1998) ที่ว่าความร้อนสามารถทำลายโครงสร้างของน้ำฝรั่งได้ โดยทำให้สูญเสียของแข็งที่ละลายน้ำและเพคตินที่ละลายในน้ำ อีกทั้งยังทำให้มีปริมาณเพคตินที่ละลายใน

ออกซาเลตเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ Klavons และคณะ (1992) เคยรายงานว่าความร้อนทำให้โปรตีนและเพคตินในน้ำส้มคั้นรวมตัวกัน



รูปที่ 4.7 ปริมาณเบต้าแคโรทีนของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ (70, 80, 90 °C และ 30, 60, 90 วินาที) ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นสดในภาชนะบรรจุปิดสนิท

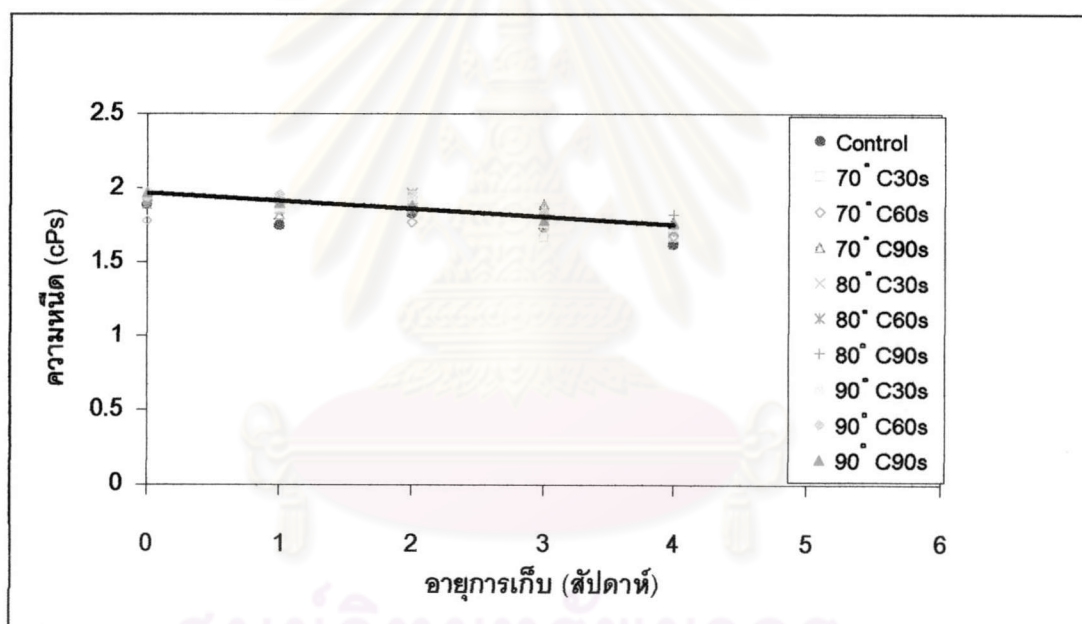


รูปที่ 4.8 ปริมาณวิตามินซีของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ (70, 80, 90 °C และ 30, 60, 90 วินาที) ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นสดในภาชนะบรรจุปิดสนิท

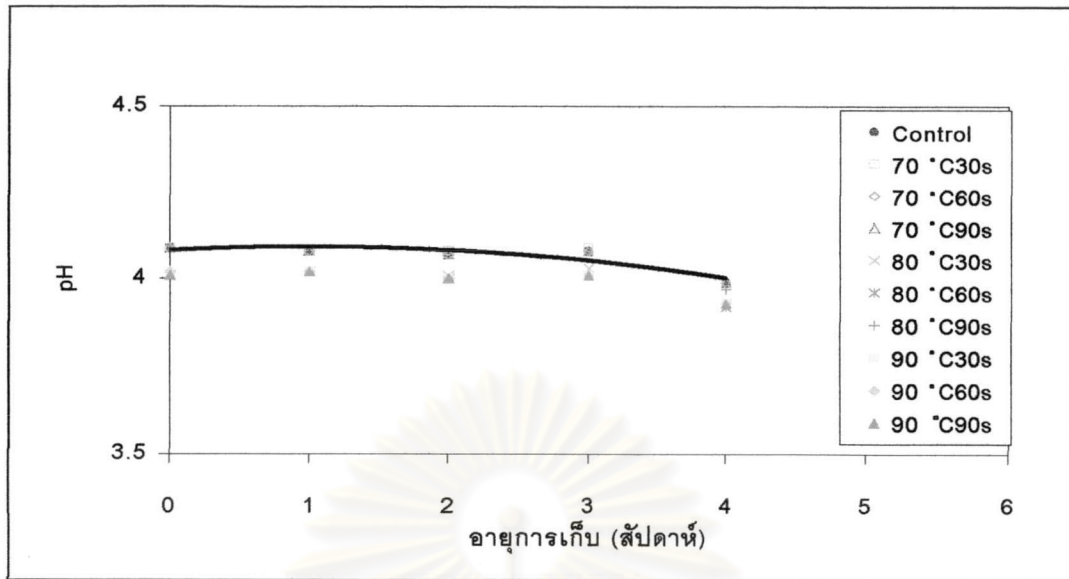


จากรูปที่ 4.7-4.8 พบว่าปริมาณเบต้าแคโรทีนและปริมาณวิตามินซีลดลงตามเวลาเก็บที่เพิ่มขึ้น น้ำส้มคั้นที่ได้รับความร้อนสูงและเวลานานสูญเสียเบต้าแคโรทีนและวิตามินมากกว่าน้ำส้มคั้นที่ได้รับความร้อนต่ำและเวลาสั้น ระดับ 90 °C เวลา 90 วินาที สูญเสียเบต้าแคโรทีนและวิตามินซีมากกว่าระดับอื่น เนื่องจากเบต้าแคโรทีนและวิตามินซีไม่ทนความร้อน ดังนั้นเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นจะสูญเสียเพิ่มขึ้น

ความหนืด ความเป็นกรดต่าง และปริมาณกรดซิตริกของน้ำส้มคั้นที่ให้ความร้อนทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \geq 0.05$ ) ตลอด 4 สัปดาห์ ดังรูปที่ 4.9-4.11



รูปที่ 4.9 ความหนืดของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ (70, 80, 90 °C และ 30, 60, 90 วินาที) ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นสดในภาชนะบรรจุปิดสนิท

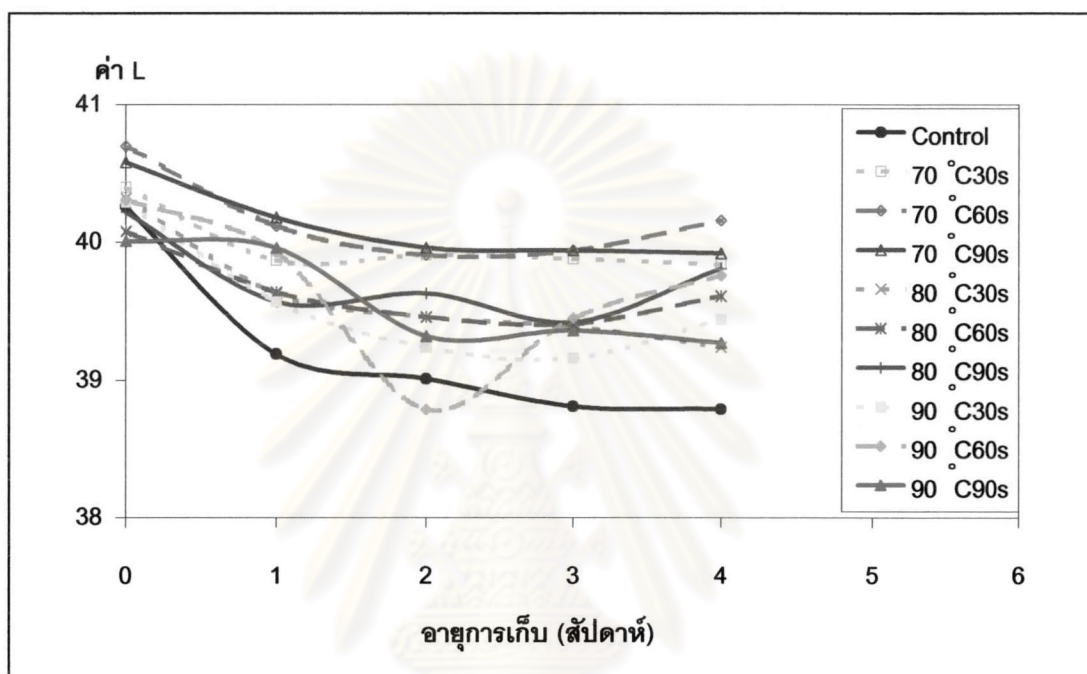


รูปที่ 4.10 ความเป็นกรดต่างของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ (70, 80, 90 °C และ 30, 60, 90 วินาที) ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นสดในภาชนะบรรจุปิดสนิท



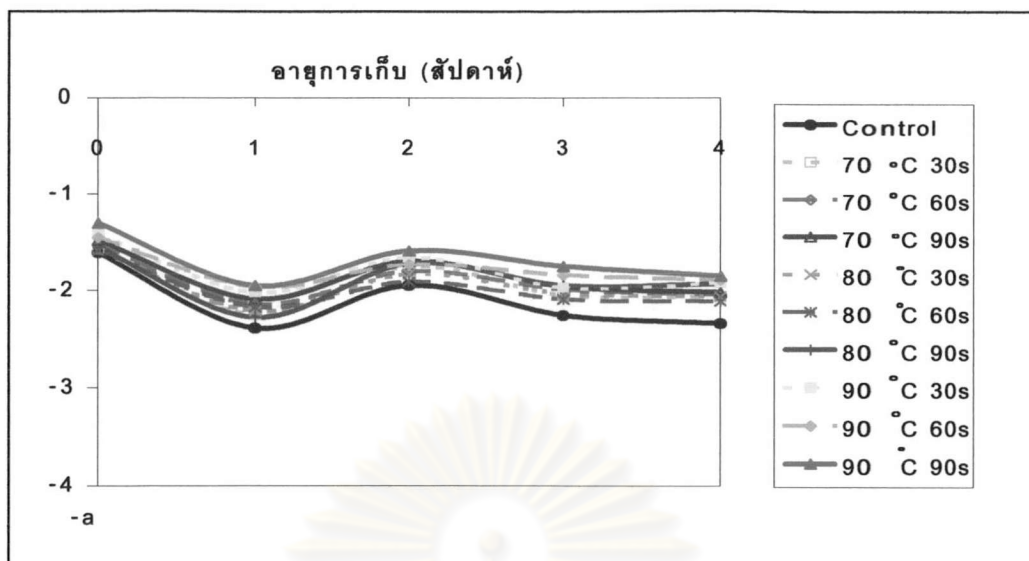
รูปที่ 4.11 ปริมาณกรดซิติริกของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ (70, 80, 90 °C และ 30, 60, 90 วินาที) ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นสดในภาชนะบรรจุปิดสนิท

ค่าสี Lab จากรูปที่ 4.12 - 4.14 พบว่าค่า L และค่า - a ของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลง เมื่อเวลาเก็บนานขึ้น โดยตัวอย่างควบคุมมีสีคล้ำกว่าตัวอย่างที่ให้ความร้อน ในขณะที่ค่า b มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจเป็นผลมาจากการเกิดสีน้ำตาลแบบปฏิกิริยาเมลลาร์ด ทั้งในลักษณะ oxidative และ non - oxidative reaction (Wong, 1989)

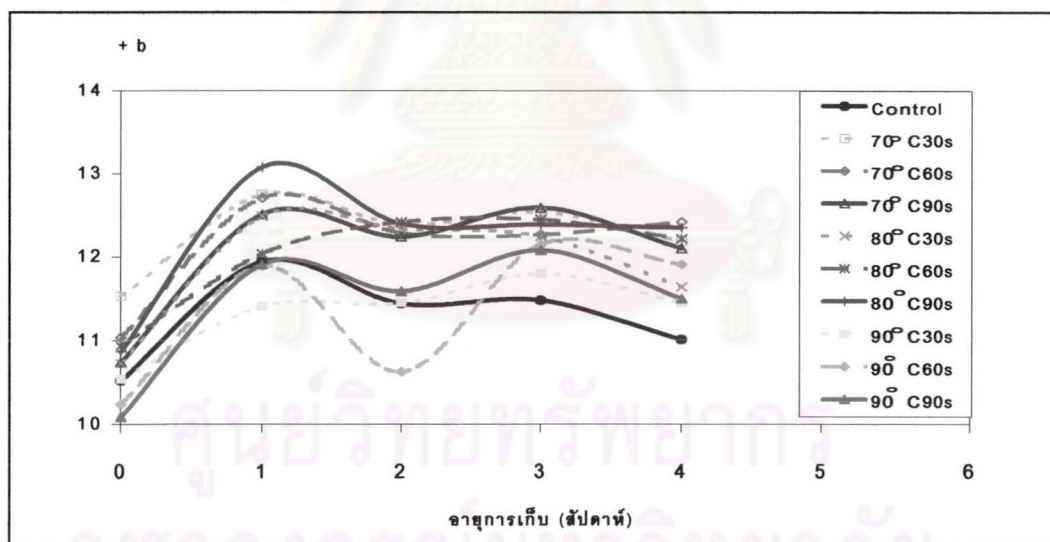


รูปที่ 4.12 ค่า L ของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ (70, 80, 90 °C และ 30, 60, 90 วินาที) ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นสดในภาชนะบรรจุปิดสนิท

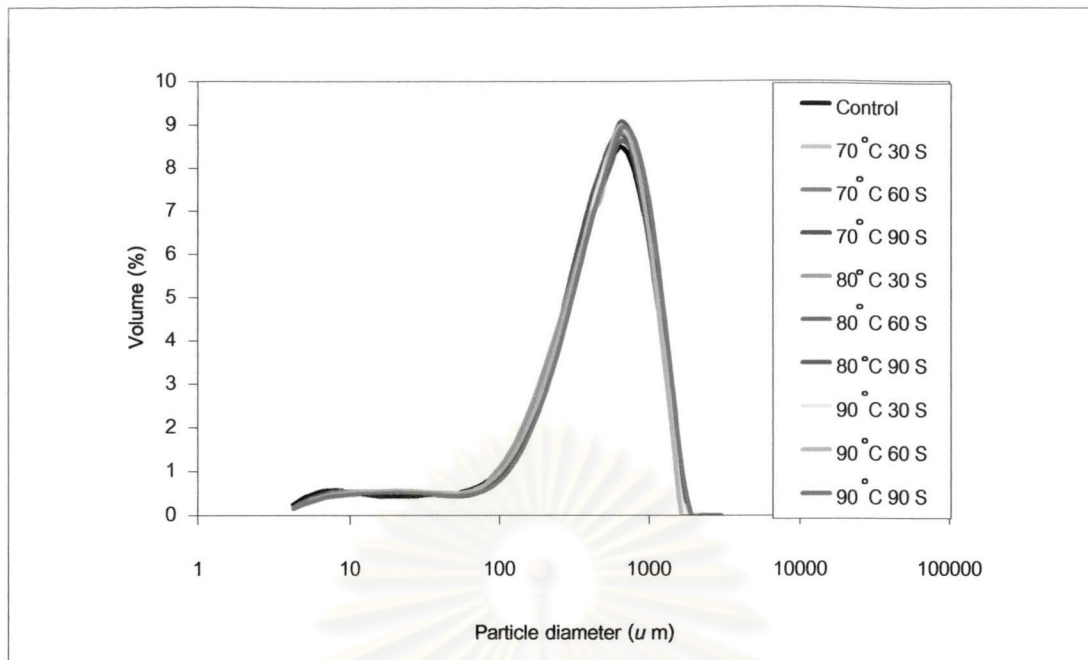
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 ค่า -a ของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ (70, 80, 90 °C และ 30, 60, 90 วินาที) ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นสดในภาชนะบรรจุปิดสนิท



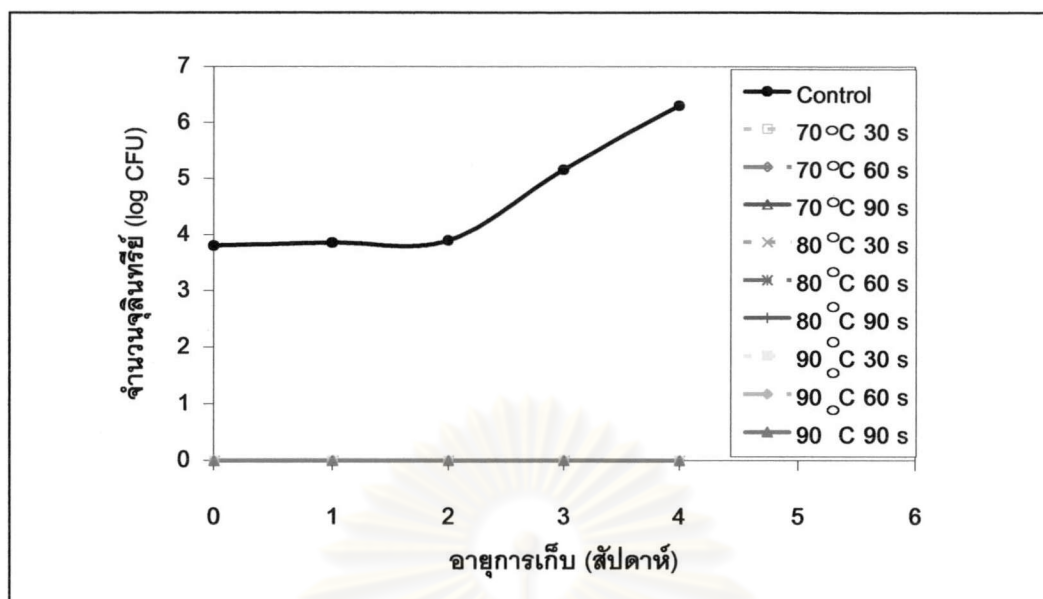
รูปที่ 4.14 ค่า b ของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ (70, 80, 90 °C และ 30, 60, 90 วินาที) ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นสดในภาชนะบรรจุปิดสนิท



รูปที่ 4.15 การกระจายตัวของอนุภาคน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ (70, 80, 90 °C และ 30, 60, 90 วินาที) ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นสดในภาชนะบรรจุปิดสนิท

เมื่อนำน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนในระดับต่างๆ มาวัดการกระจายตัวของอนุภาคทันทีที่เตรียมเสร็จ พบว่าการให้ความร้อนที่ระดับต่างๆ ไม่มีผลต่อการกระจายตัวของอนุภาค กล่าวคือ ทุกตัวอย่างมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกันโดยเฉพาะอนุภาคขนาดที่ต่ำกว่า 10 ไมครอน ซึ่งน่าจะเป็นอนุภาคของกรดเพคติกที่แขวนลอยและเป็นสารกักความชุ่มในน้ำส้มคั้น ดังนั้นอาจจะสรุปได้ว่าการให้ความร้อนที่ระดับต่างๆ ที่ศึกษานั้น ไม่อาจทำให้ขนาดของอนุภาคเปลี่ยนแปลงได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.16 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ (70, 80, 90 °C และ 30, 60, 90 วินาที) ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นสดในภาชนะบรรจุปิดสนิท

พบว่าตัวอย่างควบคุมมีจุลินทรีย์มากกว่าตัวอย่างน้ำส้มคั้นที่ให้ความร้อนและเพิ่มขึ้นเป็น 6.30 log CFU ภายใน 4 สัปดาห์ ส่วนตัวอย่างน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ (70, 80, 90 °C และ 30, 60, 90 วินาที) ทุกตัวอย่าง มีจุลินทรีย์ 0 log CFU แม้ว่าเวลาเก็บจะผ่านไป 4 สัปดาห์ อาจเป็นเพราะตัวอย่างน้ำส้มคั้นมีความเป็นกรดสูง ( $\text{pH} \approx 4$ ) และใช้ความร้อนร่วมด้วย อีกทั้งยังควบคุมให้การผลิตอยู่ภายใต้ภาวะปลอดเชื้อ จึงสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้หมด (สุมาลี เหลืองสกุล, 2535) และไม่มีการปนเปื้อนภายหลัง เช่นเดียวกับปริมาณเชื้อยีสต์และรา ซึ่งพบเฉพาะตัวอย่างควบคุมเท่านั้น มีปริมาณ 1.62, 1.76, 3.40, 3.65 และ 4.24 log CFU ในสัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ทุกตัวอย่างตรวจไม่พบเชื้อยีสต์และรา

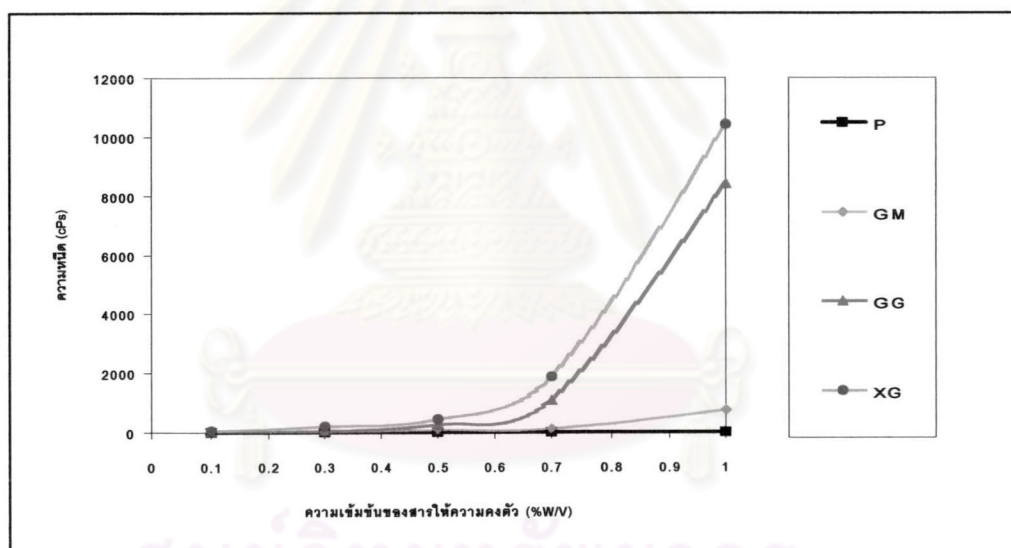
สำหรับการประเมินผลทางประสาทสัมผัสทุกตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนมีคะแนนไม่แตกต่างกันจึงไม่แสดงผลการทดลอง ส่วนตัวอย่างควบคุมมีจุลินทรีย์เจริญเติบโตภายใน 2 สัปดาห์ จึงหยุดการประเมินผลทางประสาทสัมผัส

#### 4.4 สมบัติทางกายภาพบางประการของสารให้ความคงตัว

ศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของสารให้ความคงตัว โดยนำเพคติน กลูโคแมนแนน กวักัมและแซนแทนกัม ซึ่งเป็นสารให้ความคงตัวที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมมาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ เพื่อใช้ทำนายพฤติกรรมที่อาจเกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนแปลงสูตรการผลิต โดยผลการศึกษสมบัติด้านต่างๆ เป็นดังนี้

##### 4.4.1 ความหนืด (Viscosity)

เมื่อนำเพคติน กลูโคแมนแนน กวักัมและแซนแทนกัม ที่แปรความเข้มข้นเป็น 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 % (w/v) มาวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Digital Viscometer รุ่น DV-II + version 3.2 ที่อัตราการเฉือน  $10 \text{ วินาที}^{-1}$  ได้ผลดังรูปที่ 4.17



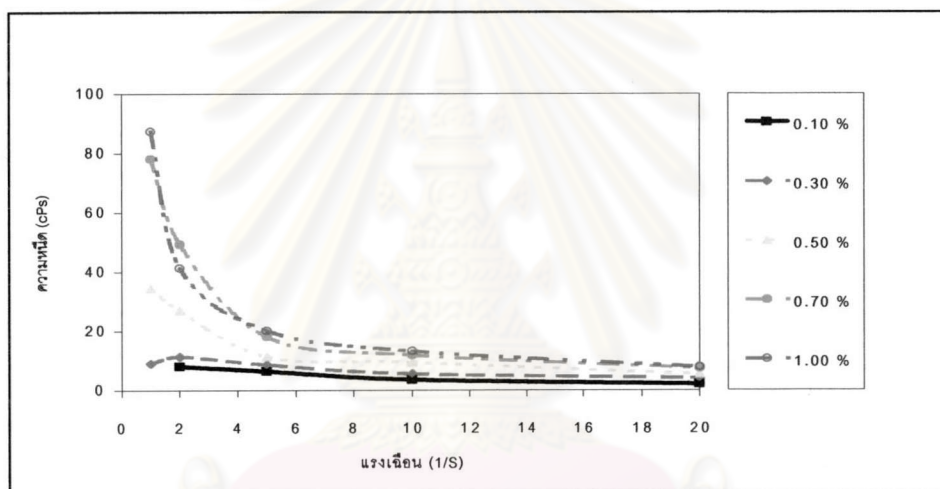
รูปที่ 4.17 ความหนืดของสารให้ความคงตัวชนิดต่างๆ

พบว่าสารละลายแซนแทนกัม สารละลายกวักัมและสารละลายกลูโคแมนแนน มีความหนืดเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น ส่วนสารละลายเพคตินมีความหนืดต่ำและไม่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นที่ศึกษา โดยเรียงลำดับความหนืดมากไปหาน้อยได้ดังนี้ สารละลายแซนแทนกัม สารละลายกวักัม สารละลายกลูโคแมนแนนและสารละลายเพคติน ตามลำดับ การที่สารละลายแซนแทนกัม สารละลายกวักัมและสารละลายกลูโคแมนแนน มีความหนืดเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นนั้น อาจสันนิษฐานได้ว่าที่ความเข้มข้นต่ำสายพอลิเมอร์แต่ละสายอยู่ห่างกันจึงไม่สามารถเกิด

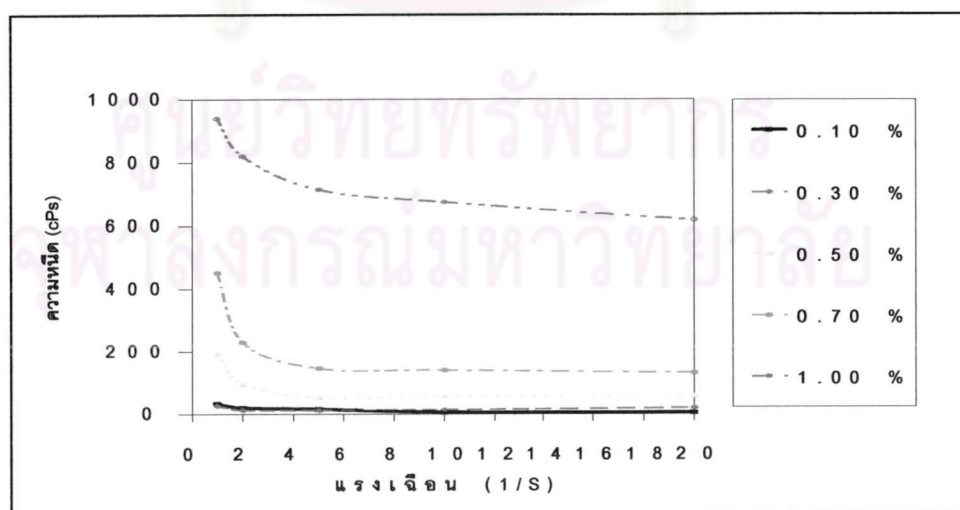
พันธะของพอลิเมอร์-พอลิเมอร์ที่แข็งแรงได้ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นให้สูงขึ้นสายพอลิเมอร์จะมาอยู่ใกล้กันมากขึ้นจึงเกิดพันธะที่แข็งแรงส่งผลให้ความหนืดสูงขึ้น (Einstein, 1906) สำหรับพอลิเมอร์อาจสันนิษฐานว่ามีปริมาณน้อยเกินไปที่จะเกิดพันธะระหว่างพอลิเมอร์จึงทำให้ความหนืดคงที่

#### 4.4.2 ลักษณะการไหล (Rheological behavior)

เมื่อนำพอลิเมอร์ กลูโคแมนแนน กัวกัมและแซนแทนกัม ที่แปรความเข้มข้นเป็น 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 % (w/v) มาเปรียบเทียบกับความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Digital Viscometer รุ่น DV-II + version 3.2 ที่อัตราความเร็วเป็น 1, 2, 5, 10 และ 20 วินาที<sup>-1</sup> เพื่อดูการไหลของสารให้ความคงตัวชนิดต่างๆ ได้ผลดังรูปที่ 4.18-4.21

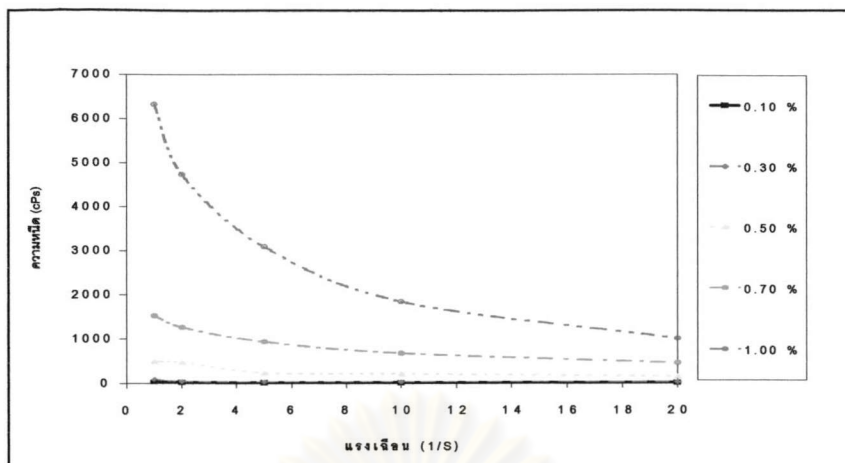


รูปที่ 4.18 ลักษณะการไหลของสารละลายพอลิเมอร์

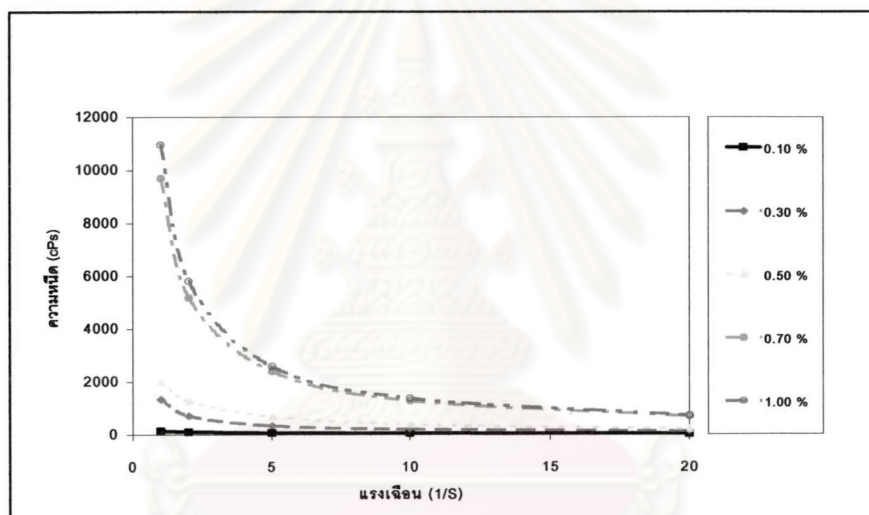


รูปที่ 4.19 ลักษณะการไหลของสารละลายกลูโคแมนแนน





รูปที่ 4.20 ลักษณะการไหลของสารละลายยักวักม

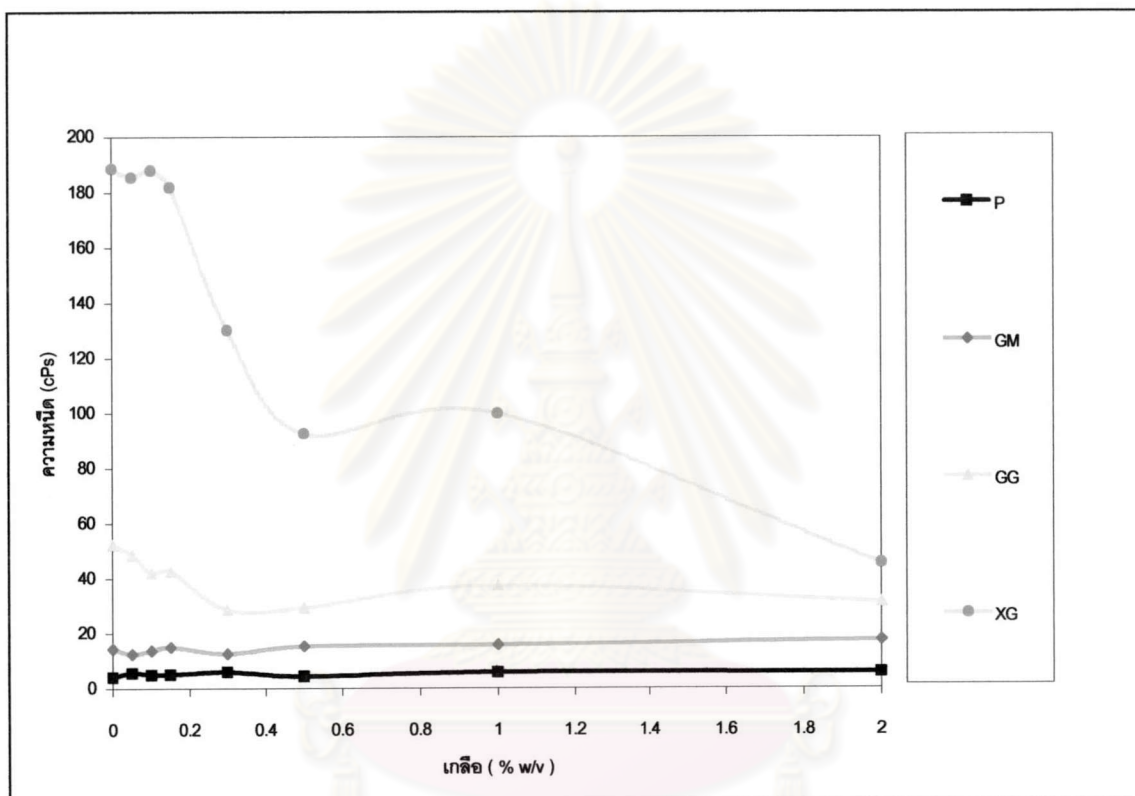


รูปที่ 4.21 ลักษณะการไหลของสารละลายแซนแทนกัม

พบว่าสารละลายเพคติน สารละลายกลูโคแมนแนน สารละลายยักวักมและสารละลายแซนแทนกัม มีลักษณะการไหลแบบ Newtonian ที่ความเข้มข้นต่ำและแบบ pseudoplastic ที่ความเข้มข้นสูง (Einstein, 1906; Mitchell, 1997; Morris and Ross-Murphy, 1981; Whitcomb and Macosko, 1979)

#### 4.4.3 ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อความหนืดของสารให้ความคงตัว

เปรียบเทียบสารให้ความคงตัวทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.3 % (w/v) โดยแปรปริมาณเกลือเป็น 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.50, 1.00 และ 2.00 % (w/v) ของสารละลาย จากนั้นนำมาวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Digital Viscometer รุ่น DV-II + version 3.2 ได้ผลดังรูปที่ 4.22

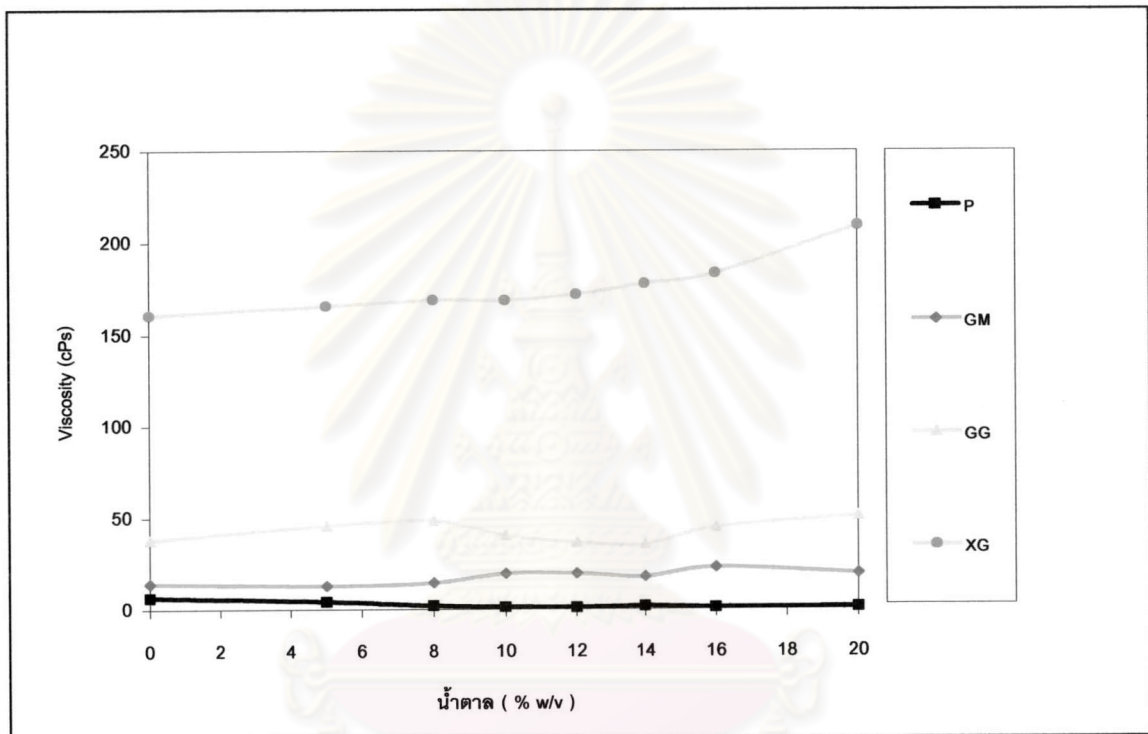


รูปที่ 4.22 ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อความหนืดของสารให้ความคงตัวชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.3 % (w/v)

พบว่าความหนืดของสารละลายแซนแทนกัม กัวร์กัมและกลูโคแมนแนน ลดลงเมื่อปริมาณเกลือเพิ่มขึ้น ส่วนสารละลายเพคตินมีความหนืดคงที่ทุกปริมาณเกลือ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเพคตินมีความหนืดที่ต่ำอยู่แล้วจึงไม่ต่ำไปกว่านี้อีก

#### 4.4.4 ผลของน้ำตาลซูโครสต่อความหนืดของสารให้ความคงตัว

เปรียบเทียบสารให้ความคงตัวทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.3 % (w/v) โดยแปรปริมาณน้ำตาลเป็น 0, 5, 8, 10, 12, 14, 16 และ 20 % (w/v) ของสารละลาย จากนั้นนำมาวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Digital Viscometer รุ่น DV-II + version 3.2 ได้ผลดังรูปที่ 4.23

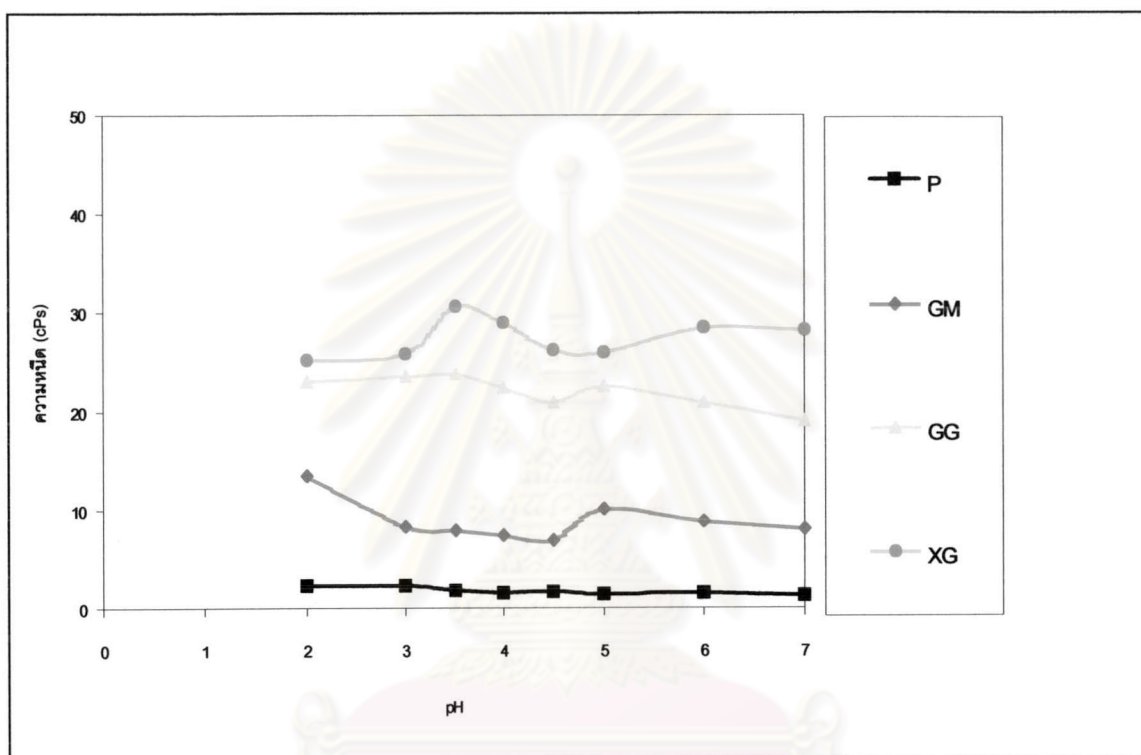


รูปที่ 4.23 ผลของน้ำตาลซูโครสต่อความหนืดของสารให้ความคงตัวชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.3 % (w/v)

พบว่าความหนืดของสารละลายเพคติน, กลูโคแมนแนน, กัวกัมและแซนแทนกัมไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น

#### 4.4.5 ผลของความเป็นกรดต่าง (pH) ต่อความหนืดของสารให้ความคงตัว

เปรียบเทียบสารให้ความคงตัวทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.3 % (w/v) โดยแปร pH เป็น 2, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6 และ 7 ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ จากนั้นนำมาวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Digital Viscometer รุ่น DV-II + version 3.2 ได้ผลดังรูปที่ 4.24

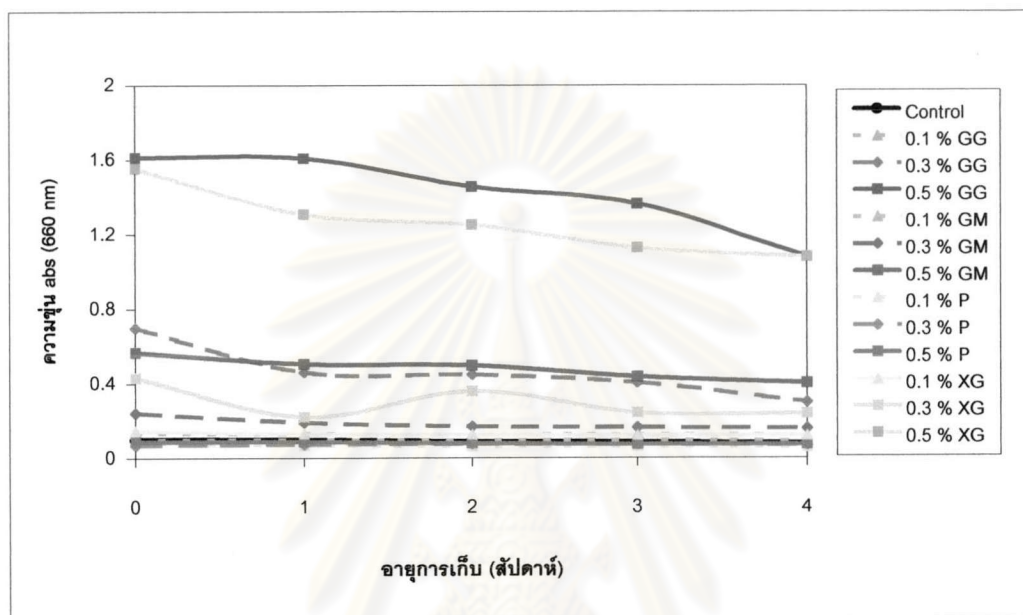


รูปที่ 4.24 ผลของความเป็นกรดต่างต่อความหนืดของสารให้ความคงตัวชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้น 0.3 % (w/v)

พบว่า pH ไม่มีผลต่อความหนืดของสารละลายเพคติน กลูโคแมนแนน กัวกัมและแซนแทนกัม ซึ่งสังเกตจากความหนืดที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อ pH เปลี่ยนไป

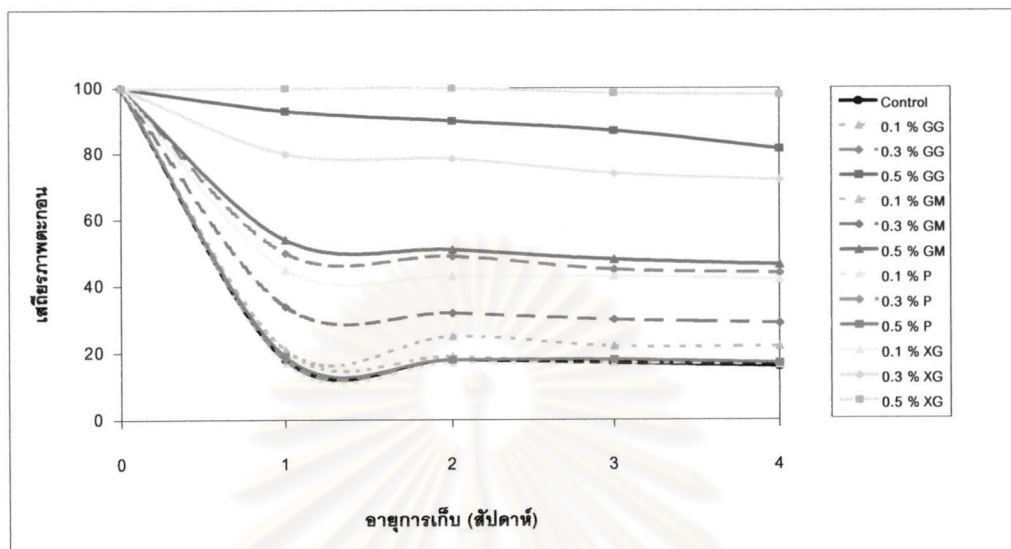
#### 4.5 กระบวนการผลิตน้ำส้มเขียวหวานคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว

นำน้ำส้มคั้นที่เตรียมตามสูตรจากข้อ 3.2 มาแปรปริมาณสารให้ความคงตัว : เพคติน กลูโคแมนแนน กัวกัม และแซนแทนกัม เป็น 0, 0.1, 0.3 และ 0.5 % (w/v) ให้ความร้อนระดับที่เลือกศึกษาจากข้อ 3.3 คือ ที่ระดับ 80 °C, 90 วินาที ได้ผลการทดลองดังนี้



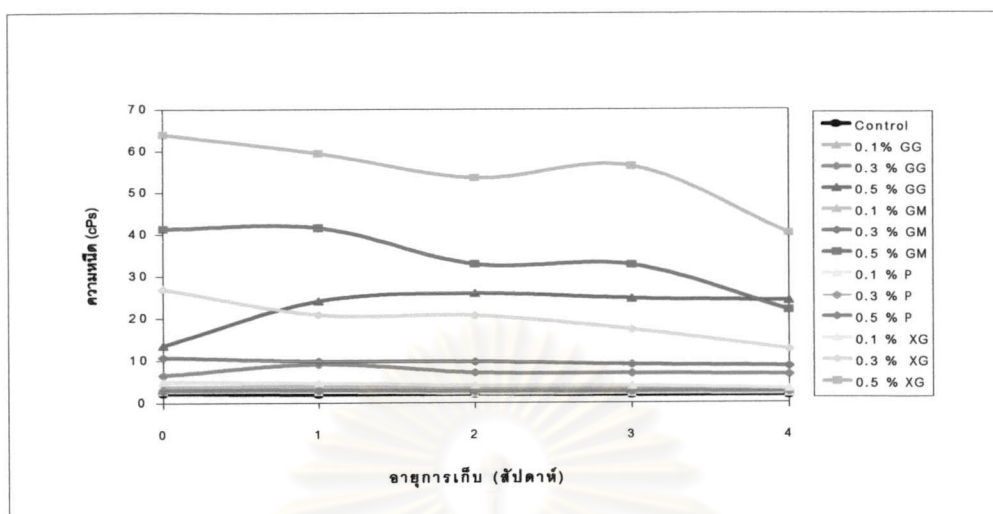
รูปที่ 4.25 ความขุ่นของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนแต่ไม่เติมสารให้ความคงตัว

จากรูปที่ 4.25 พบว่าสารละลายเพคตินทุกความเข้มข้นมีเสถียรภาพความขุ่นต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ( $p \leq 0.05$ ) อาจเป็นเพราะเพคตินที่เติมไปรวมตัวกับสารประกอบเพคตินในน้ำส้มคั้นทำให้มีโมเลกุลใหญ่ขึ้นจึงตกตะกอนได้ง่าย อีกทั้งยังมีเอนไซม์ PME ที่ทนความร้อนช่วยเร่งการตกตะกอนอีกทางหนึ่ง ส่วนกลูโคแมนแนน, กัวกัมและแซนแทนกัม มีเสถียรภาพความขุ่นมากกว่าตัวอย่างควบคุมทุกความเข้มข้น ( $p \leq 0.05$ ) อาจสันนิษฐานได้ว่าสารดังกล่าวสามารถสร้างพันธะพอลิเมอร์-พอลิเมอร์ (Einstein, 1906) แล้วสารก่อกวนความขุ่นในน้ำส้มคั้นตกลงมาที่โครงร่างตาข่ายของสารดังกล่าว จึงทำให้รักษาเสถียรภาพความขุ่นไว้ได้ ซึ่งขึ้นกับชนิดและความเข้มข้นที่เติมลงไปด้วย เมื่อเรียงลำดับความสามารถในการรักษาเสถียรภาพความขุ่นจากมากไปน้อยได้ดังนี้คือ แซนแทนกัม กัวกัม กลูโคแมนแนนและเพคติน สารละลายทุกชนิดที่ความเข้มข้นสูงมีความขุ่นมากกว่าความเข้มข้นต่ำ

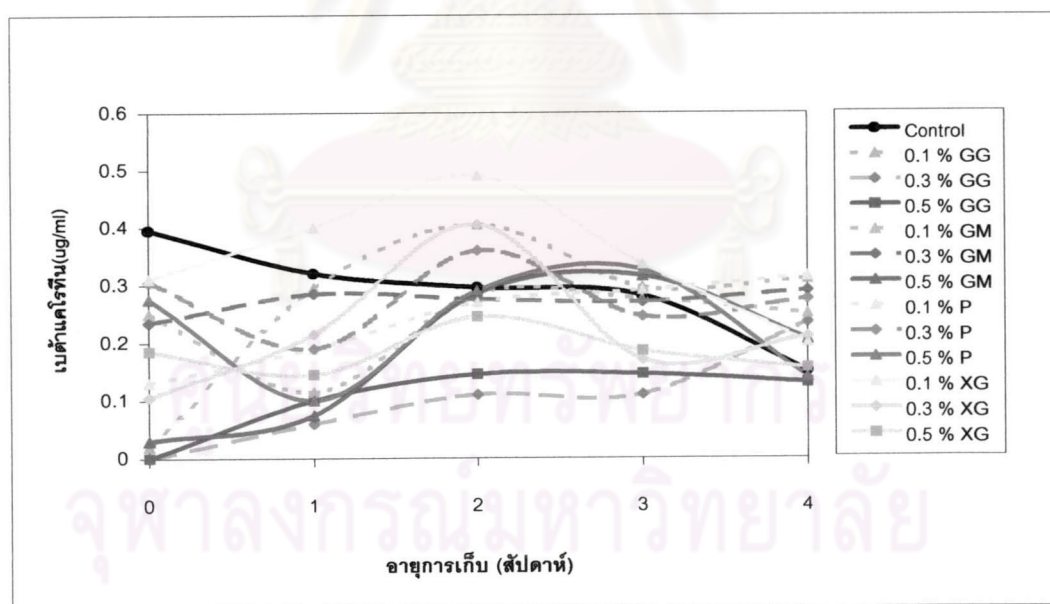


รูปที่ 4.26 เสถียรภาพตะกอนของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจูปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจูปิดสนิทโดยให้ความร้อนแต่ไม่เติมสารให้ความคงตัว

พบว่าเสถียรภาพตะกอนให้ผลสอดคล้องกับความชุ่ม กล้าวคือเสถียรภาพตะกอนนี้ขึ้นกับชนิดและความเข้มข้นที่เติมลงไป ซึ่งเรียงลำดับการรักษาเสถียรภาพตะกอนจากมากไปน้อยได้ดังนี้คือ แชนแทนกัม กัวกัม กลูโคแมนแนนและเพคติน ความเข้มข้นสูงมีเสถียรภาพตะกอนมากกว่าความเข้มข้นต่ำและสามารถรักษาเสถียรภาพความชุ่มได้ สารละลายเพคตินทุกความเข้มข้นมีเสถียรภาพตะกอนไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมตัวอย่างควบคุมและไม่สามารถรักษาเสถียรภาพความชุ่มได้ ส่วนกลูโคแมนแนน กัวกัมและแชนแทนกัม มีเสถียรภาพตะกอนมากกว่าตัวอย่างควบคุมทุกความเข้มข้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับความหนืดในรูปที่ 4.27 โดยสารที่มีความหนืดสูงจะมีเสถียรภาพตะกอนสูง และสามารถรักษาเสถียรภาพความชุ่มได้ดีกว่าสารที่มีความหนืดต่ำ

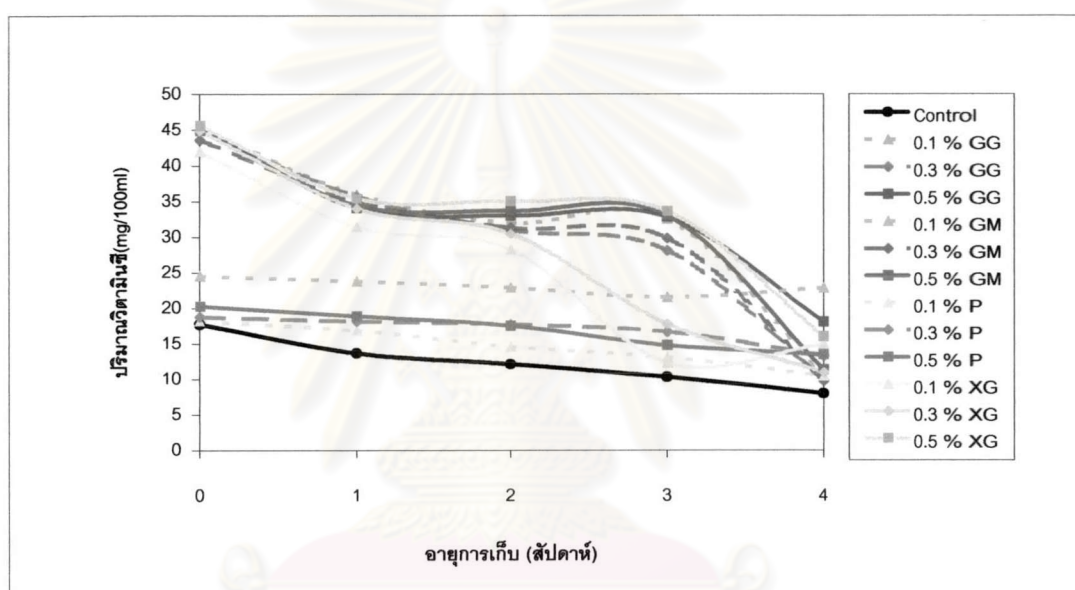


รูปที่ 4.27 ความหนืดของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนแต่ไม่เติมสารให้ความคงตัว



รูปที่ 4.28 ปริมาณเบต้าแคโรทีนของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนแต่ไม่เติมสารให้ความคงตัว

พบว่าตัวอย่างควบคุมมีปริมาณเบต้าแคโรทีนลดลงตามอายุการเก็บ ตัวอย่างที่เติมสารให้ความคงตัวส่วนใหญ่มีปริมาณเบต้าแคโรทีนน้อยในสัปดาห์แรก เพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 และค่อยๆ ลดลงเมื่อถึง 4 สัปดาห์ อาจสันนิษฐานได้ว่าช่วงสัปดาห์แรกเบต้าแคโรทีนเข้าไปพัวพันกับสายพอลิเมอร์ที่เติมลงไปจึงทำให้วิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนได้น้อย การเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 อาจมาจากโครงสร้างของพอลิเมอร์อ่อนลงจึงสูญเสียเบต้าแคโรทีนมากับน้ำทำให้วิเคราะห์ปริมาณได้สูงขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์พบว่าปริมาณเบต้าแคโรทีนลดลงอีกอาจมีสาเหตุมาจากเบต้าแคโรทีนที่ออกมาที่น้ำนั้นสลายตัวหมดแล้วก็เป็นได้

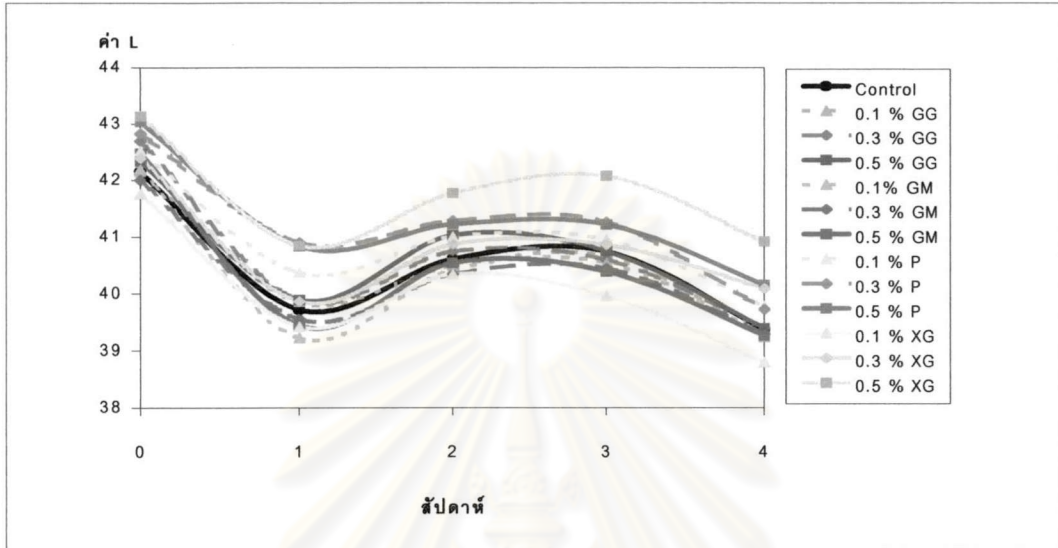


รูปที่ 4.29 ปริมาณวิตามินซีของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนแต่ไม่เติมสารให้ความคงตัว

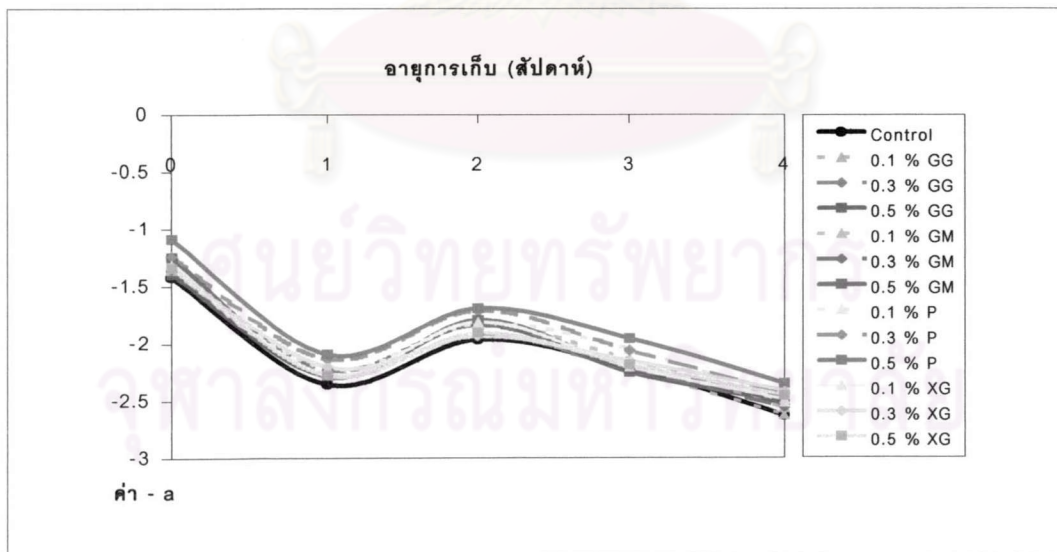
พบว่าปริมาณวิตามินซีทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงตามเวลาเก็บ โดยตัวอย่างควบคุมจะลดลงต่ำกว่าตัวอย่างอื่น ซึ่งตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวสูงจะรักษาวิตามินซีได้ดีกว่า ทั้งนี้เพราะสารให้ความคงตัวไปห่อหุ้มวิตามินซีจึงป้องกันการสูญเสียจากภาวะต่างๆ ในการผลิตและการเก็บรักษาได้ เช่น ความร้อน แสง และออกซิเจน เป็นต้น



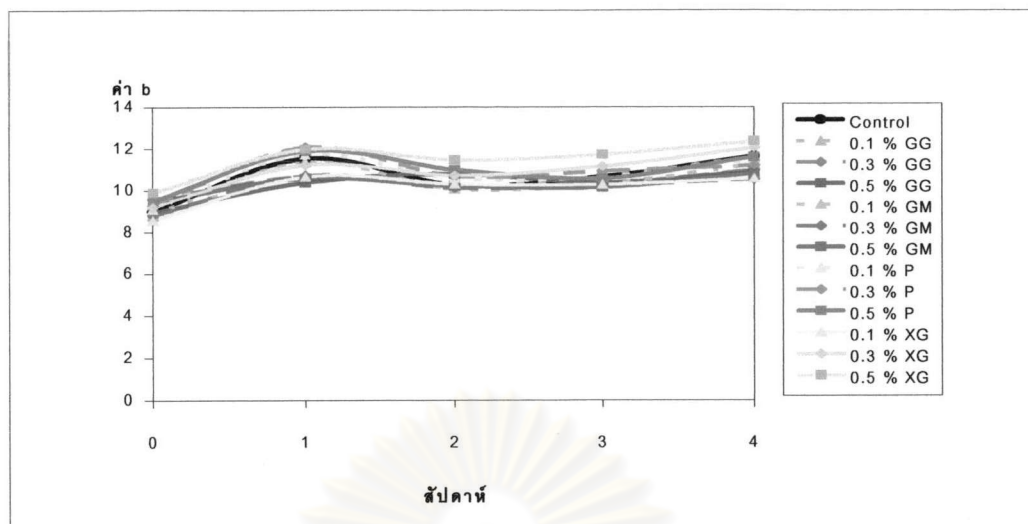
ค่าสี Lab จากรูปที่ 4.30-4.32 พบว่าค่า L และค่า -a ของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงตามเวลาเก็บ ขณะที่ค่า b มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทำให้ตัวอย่างมีสีคล้ำลง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเกิดสีน้ำตาลแบบปฏิกิริยาเมลลาร์ดทั้งในลักษณะ oxidative และ non-oxidative reaction (Wong, 1989)



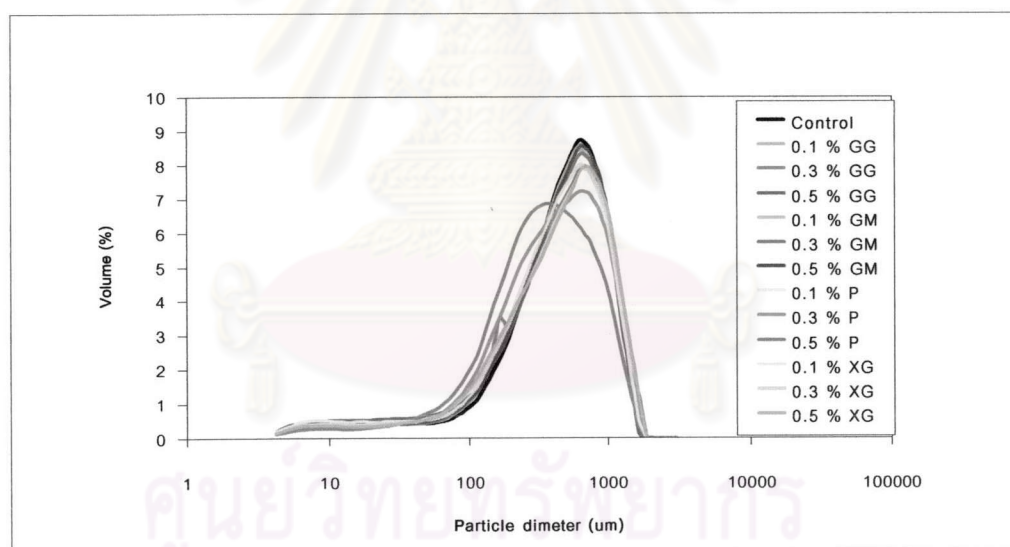
รูปที่ 4.30 ค่า L ของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อน แต่ไม่เติมสารให้ความคงตัว



รูปที่ 4.31 ค่า -a ของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนแต่ไม่เติมสารให้ความคงตัว



รูปที่ 4.32 ค่า b ของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนแต่ไม่เติมสารให้ความคงตัว



รูปที่ 4.33 การกระจายตัวของอนุภาคในน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนแต่ไม่เติมสารให้ความคงตัว

เมื่อนำน้ำส้มคั้นพาสเจอร์ไรส์ร่วมกับสารให้ความคงตัว มาวัดการกระจายตัวของอนุภาคทันทีที่เตรียมเสร็จ พบว่าการเติมสารให้ความคงตัวไม่มีผลต่อขนาดอนุภาค ทุกตัวอย่างมีปริมาณอนุภาคขนาดเล็ก (<10 ไมครอน) ใกล้เคียงกัน

การประเมินผลทางประสาทสัมผัสได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงเฉพาะลักษณะที่แตกต่างเท่านั้น

ตารางที่ 4.2 คะแนนความชุ่ม mouth feel และการยอมรับรวมของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว ตัวอย่างควบคุมคือน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนแต่ไม่เติมสารให้ความคงตัว โดยเฉลี่ย 4 สัปดาห์

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ความชุ่ม*	mouth feel**	การยอมรับรวม***
Control	3.46 <sup>d</sup> $\pm$ 0.05	0.32 <sup>e</sup> $\pm$ 0.04	5.02 <sup>c</sup> $\pm$ 0.15
0.1 % เพคติน	3.50 <sup>d</sup> $\pm$ 0.16	0.28 <sup>e</sup> $\pm$ 0.04	5.02 <sup>c</sup> $\pm$ 0.13
0.3 % เพคติน	3.52 <sup>d</sup> $\pm$ 0.18	0.26 <sup>e</sup> $\pm$ 0.05	5.04 <sup>c</sup> $\pm$ 0.18
0.5 % เพคติน	3.50 <sup>d</sup> $\pm$ 0.07	0.30 <sup>e</sup> $\pm$ 0.07	4.98 <sup>c</sup> $\pm$ 0.08
0.1 % กลูโคแมนแนน	6.70 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.16	0.32 <sup>e</sup> $\pm$ 0.04	5.00 <sup>c</sup> $\pm$ 0.16
0.3 % กลูโคแมนแนน	6.02 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.08	1.00 <sup>cd</sup> $\pm$ 0.16	6.02 <sup>c</sup> $\pm$ 0.13
0.5 % กลูโคแมนแนน	7.92 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.19	3.60 <sup>b</sup> $\pm$ 0.16	7.72 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.08
0.1 % กัวกัม	7.26 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.18	1.44 <sup>cd</sup> $\pm$ 0.09	8.52 <sup>a</sup> $\pm$ 0.08
0.3 % กัวกัม	7.92 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.08	1.90 <sup>cd</sup> $\pm$ 0.07	8.50 <sup>a</sup> $\pm$ 0.12
0.5 % กัวกัม	8.60 <sup>a</sup> $\pm$ 0.16	4.02 <sup>b</sup> $\pm$ 0.13	8.00 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.16
0.1 % แซนแทนกัม	7.92 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.08	1.00 <sup>cd</sup> $\pm$ 0.16	8.52 <sup>a</sup> $\pm$ 0.23
0.3 % แซนแทนกัม	8.28 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.19	2.60 <sup>c</sup> $\pm$ 0.16	8.52 <sup>a</sup> $\pm$ 0.11
0.5 % แซนแทนกัม	8.60 <sup>a</sup> $\pm$ 0.16	8.04 <sup>a</sup> $\pm$ 0.18	7.00 <sup>b</sup> $\pm$ 0.12

a, b, c,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

\* คะแนนความชุ่มเป็นคะแนนแสดงระดับ 10 คะแนน หมายถึง ระดับความชุ่มสูง; 1 คะแนนหมายถึง ระดับความชุ่มต่ำ

\*\* mouth feel หมายถึงลักษณะที่มีสารเคลือบอยู่ในปากเมื่อกินตัวอย่าง คะแนนของ mouth feel เป็นคะแนนแสดงความหนาแน่น 10 คะแนน หมายถึง ระดับความหนาแน่นของสารที่เคลือบอยู่ในปากสูง; 1 คะแนนหมายถึง ระดับความหนาแน่นของสารที่เคลือบอยู่ในปากต่ำ

\*\*\* คะแนนการยอมรับรวมเป็นคะแนนแสดงระดับ 10 คะแนน หมายถึง ระดับการยอมรับรวมสูง; 1 คะแนนหมายถึง ระดับการยอมรับรวมต่ำ

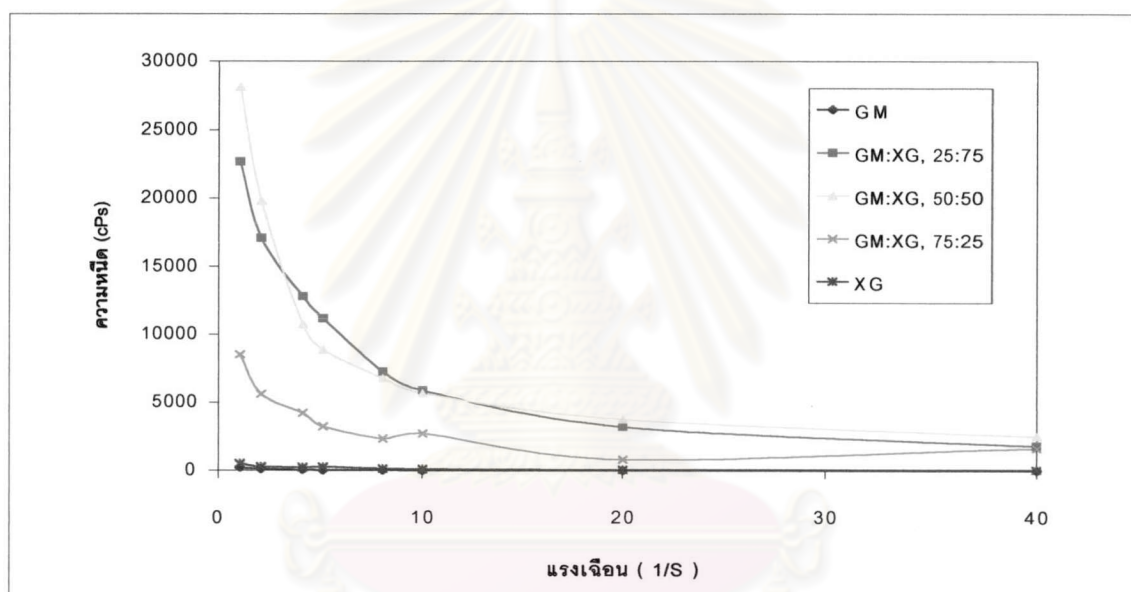
ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส จากตารางที่ 4.2 พบว่าความชุ่มของเพคตินทุกระดับไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม และส่งผลให้คะแนนการยอมรับรวมต่ำไปด้วย ส่วนตัวอย่างที่เติมสารให้ความคงตัวชนิดอื่นๆ พบว่าที่ 0.3 % (w/v) มีคะแนนการยอมรับรวมมากที่สุด เพราะตัวอย่างที่ 0.5 % (w/v) มี mouth feel มากเกินไป กล่าวคือ มีสารที่เหลื่อเคลือบที่ลื่นและปากมากเกินไป หรือมีความหนืดสูงนั่นเอง ทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับจึงส่งผลให้คะแนนการยอมรับรวมต่ำไปด้วย ดังนั้นจึงเลือกกลูโคแมนแนน กวักัมและแซนแทนกัม ที่ความเข้มข้น 0.3 % (w/v) มาใช้เป็นสารให้ความคงตัวสำหรับการศึกษาในขั้นต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

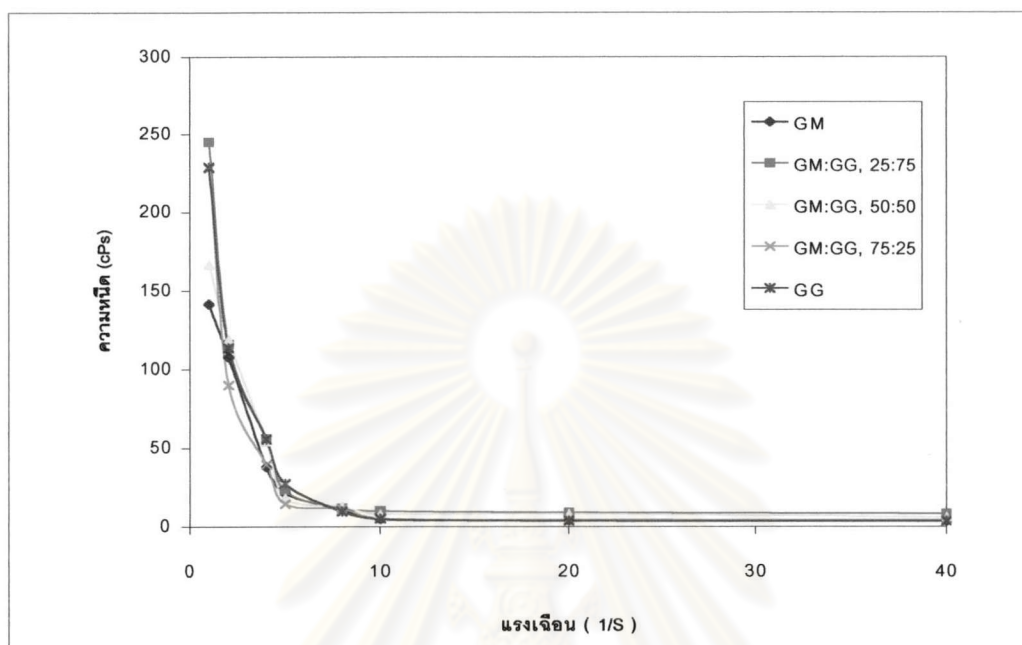
#### 4.6 การใช้สารให้ความคงตัว 2 ชนิดร่วมกัน

เมื่อนำกลูโคแมนแนนผสมกับแซนแทนกัม กลูโคแมนแนนผสมกับกัวกัม กัวกัมผสมกับแซนแทนกัม ให้ความเข้มข้นของสารละลายเป็น 0.3 % (w/v) โดยแปรอัตราส่วนของสารผสมเป็น 25 : 75, 50 : 50 และ 75 : 25 จากนั้นวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Digital Viscometer รุ่น DV-II + version 3.2 ที่อัตราการเฉือนเป็น 1, 2, 4, 5, 8, 10, 20, 40 และ 100 วินาที<sup>-1</sup> และเปรียบเทียบกับสารละลาย กลูโคแมนแนน กัวกัมและแซนแทนกัม ที่ความเข้มข้นเดียวกัน เพื่อศึกษาลักษณะแนวโน้มการเสริมฤทธิ์กันของสารผสมและนำไปอธิบายปรากฏการณ์ที่อาจเกิดขึ้นกับน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว 2 ชนิด ได้ผลดังรูปที่ 4.34 – 4.36



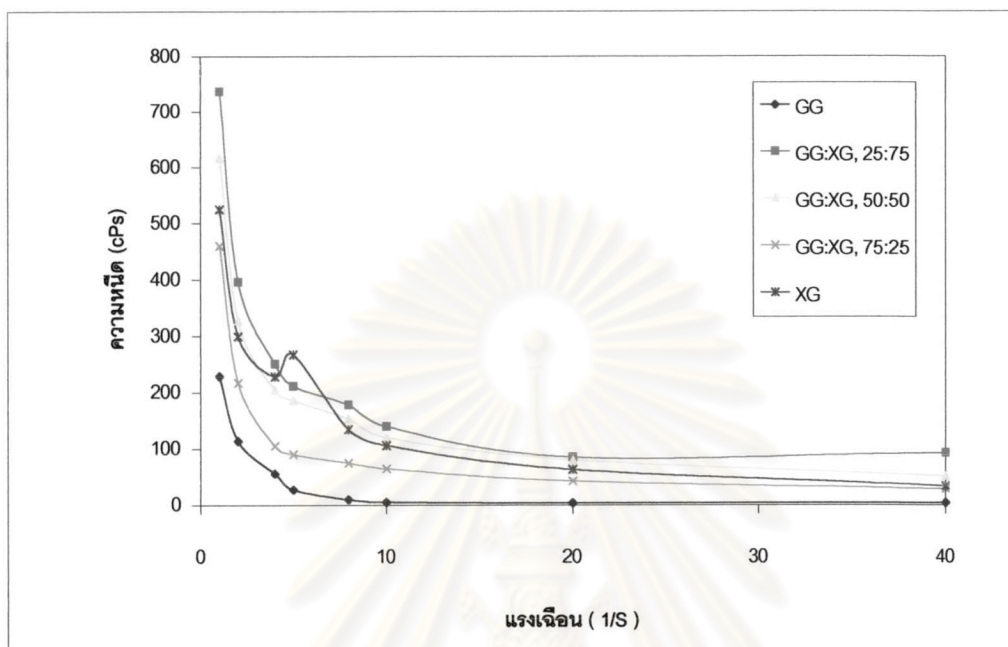
รูปที่ 4.34 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารผสมระหว่างกลูโคแมนแนนกับแซนแทนกัม

จากรูปที่ 4.34 พบว่าสารผสมระหว่างกลูโคแมนแนนกับแซนแทนกัมมีการเสริมฤทธิ์กันที่ทุกอัตราส่วน ซึ่งที่อัตราส่วน 50:50 และ 25:75 มีค่าใกล้เคียงกันและให้ค่าความหนืดสูงกว่าที่อัตราส่วน 75:25 อีกทั้งยังให้ความหนืดสูงกว่าสารละลายกลูโคแมนแนนและสารละลายแซนแทนกัมเพียงอย่างเดียวที่ความเข้มข้น 0.3 % (w/v) ที่เป็นเช่นนี้อาจสันนิษฐานได้ว่าเกิดอันตรกิริยาระหว่างกลูโคแมนแนนกับแซนแทนกัม โดยแซนแทนกัมเกิดการจับตัวกันเป็น random coil ด้วยพันธะพอลิเมอร์-พอลิเมอร์ จากนั้นกลูโคแมนแนนส่วนที่ไม่มีกิ่งเข้าไปทำอันตรกิริยาด้วยจึงเกิดเป็นเจลที่แข็งแรงแม้ว่าความเข้มข้นต่ำ (Dea et al., 1972)



รูปที่ 4.35 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารผสมระหว่างกลูโคแมนแนนกับกัวกัม

จากรูปที่ 4.35 พบว่าสารผสมระหว่างกลูโคแมนแนนกับกัวกัมไม่มีการเสริมฤทธิ์กันที่ทุกอัตราส่วน และมีความหนืดไม่แตกต่างกับสารละลายกลูโคแมนแนนและสารละลายกัวกัมเพียงอย่างเดียวที่ความเข้มข้น 0.3 % (w/v) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่ากลูโคแมนแนนและกัวกัมมีกิ่งในสายพอลิเมอร์มาก ส่งผลให้เกิดการผลัดกันของสายกิ่งดังกล่าว ดังนั้นจึงไม่เกิดพันธะระหว่างพอลิเมอร์-พอลิเมอร์

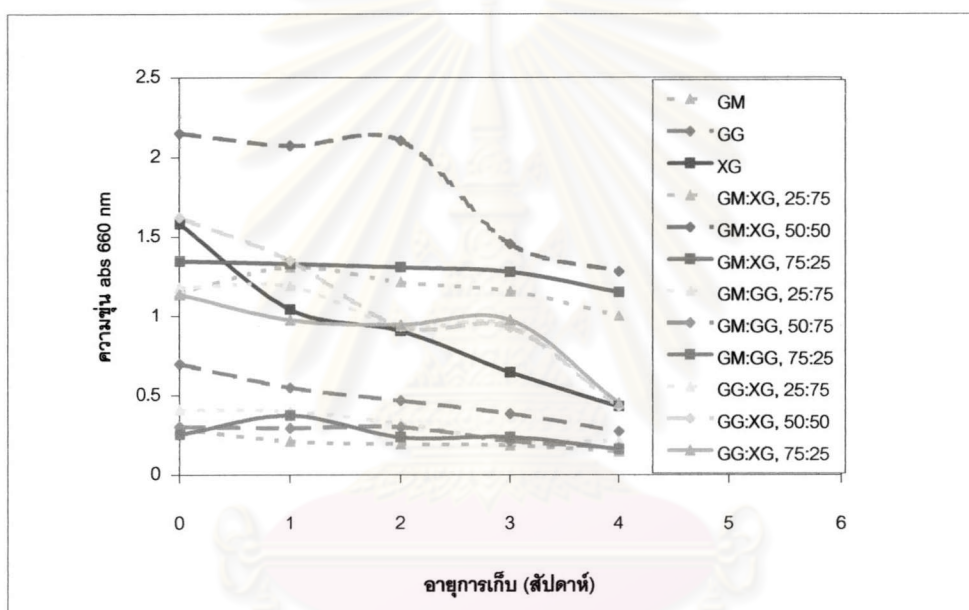


รูปที่ 4.36 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารผสมระหว่างกัวกัมกับแซนแทนกัม

จากรูปที่ 4.36 พบว่าสารผสมระหว่างกัวกัมกับแซนแทนกัมมีการเสริมฤทธิ์กันที่อัตราส่วน 50:50 และ 25:75 ให้ความหนืดสูงกว่าสารละลายกัวกัมและสารละลายแซนแทนกัมเพียงอย่างเดียวที่ความเข้มข้น 0.3 % (w/v) ที่เป็นเช่นนี้อาจสันนิษฐานได้ว่าเกิดอันตรกิริยาระหว่างกัวกัมกับแซนแทนกัม โดยแซนแทนกัมเกิดการจับตัวกันเป็น random coil ด้วยพันธะพอลิเมอร์-พอลิเมอร์ จากนั้นกัวกัมส่วนที่ไม่มีกิ่งเข้าไปทำอันตรกิริยาด้วยจึงเกิดพันธะที่แข็งแรง (Dea et al., 1972) แต่สำหรับที่อัตราส่วน 75:25 สารผสมระหว่างกัวกัมกับแซนแทนกัมไม่มีการเสริมฤทธิ์กัน อาจเนื่องจากมีสัดส่วนของกัวกัมมากเกินไปซึ่งกัวกัมมีสายกิ่งมากจึงขัดขวางการเกิดพันธะระหว่างพอลิเมอร์ได้ ทำให้มีความหนืดอยู่ระหว่างความหนืดของสารละลายกัวกัมและสารละลายแซนแทนกัมเพียงอย่างเดียว

#### 4.7 กระบวนการผลิตน้ำส้มเขียวหวานคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่ระดับต่างๆ ร่วมกับสารให้ความคงตัว 2 ชนิด

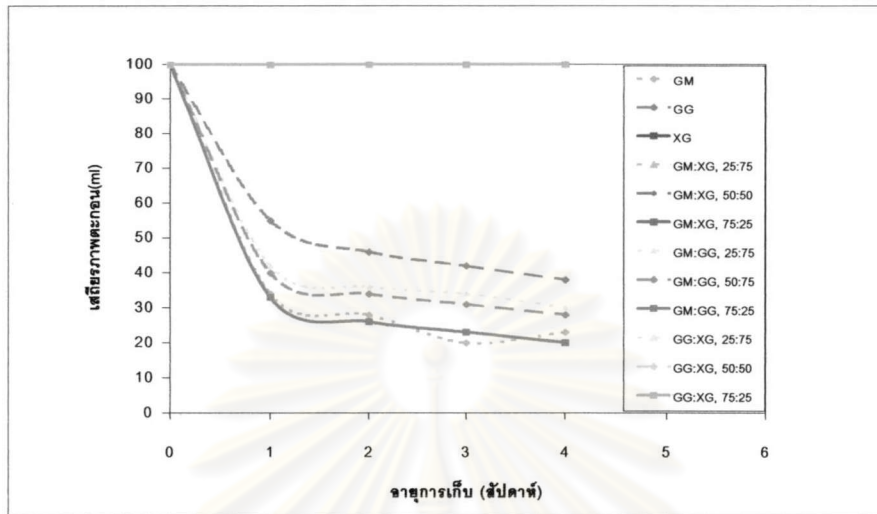
เมื่อนำน้ำส้มคั้นที่เตรียมตามสูตรจากข้อ 3.2 มาแปรปริมาณสารให้ความคงตัว 2 ชนิด ดังนี้ กลูโคแมนแนนผสมกับแซนแทนกัม กลูโคแมนแนนผสมกับกัวกัมและกัวกัมผสมกับแซนแทนกัม ให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายเป็น 0.3 % (w/v) โดยแปรอัตราส่วนของสารผสมเป็น 25 : 75, 50 : 50 และ 75 : 25 จากนั้นให้ความร้อนระดับที่เลือกศึกษาจากข้อ 3.3 คือ 80 °C, 90 วินาที ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.37 ความขุ่นของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว 2 ชนิด

พบว่าสารผสมระหว่าง GM:XG และ GG:XG ทุกอัตราส่วนและสารละลายละลาย XG สามารถรักษาเสถียรภาพความขุ่นได้ 4 สัปดาห์ ส่วนตัวอย่างอื่นๆ มีค่าความขุ่นต่ำกว่า อาจสันนิษฐานได้ว่าสารดังกล่าวมีการเสริมฤทธิ์กันโดยสร้างพันธะพอลิเมอร์-พอลิเมอร์ จนเกิดเป็นโครงร่างตาข่าย (Dea et al., 1972) แล้วสารก่อกวนความขุ่นในน้ำส้มคั้นตกลงมาที่โครงร่างตาข่ายของสารดังกล่าว จึงทำให้รักษาเสถียรภาพความขุ่นไว้ได้ ซึ่งโครงร่างตาข่ายของสารแต่ละชนิดก็จะมีความสามารถในการรักษาเสถียรภาพความขุ่นแตกต่างกัน

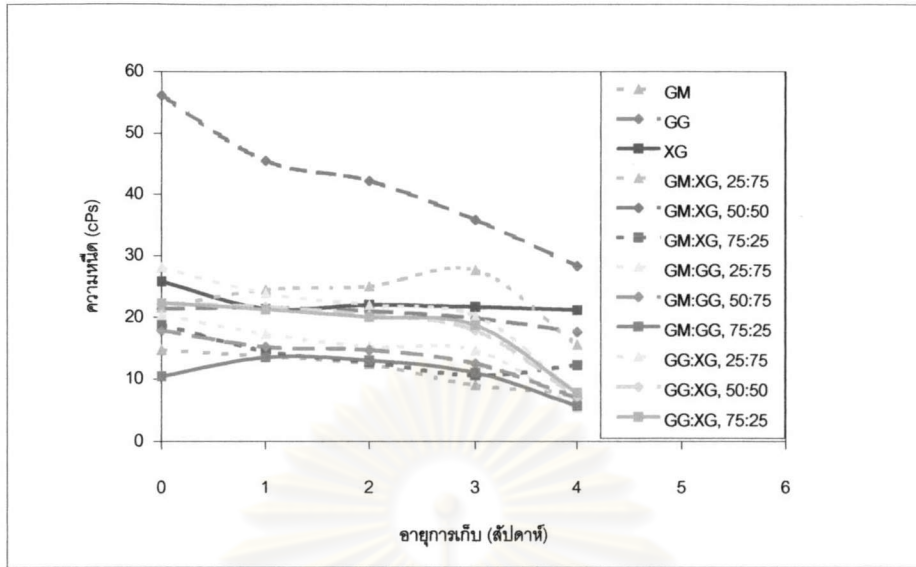




รูปที่ 4.38 เสถียรภาพตะกอนของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว 2 ชนิด

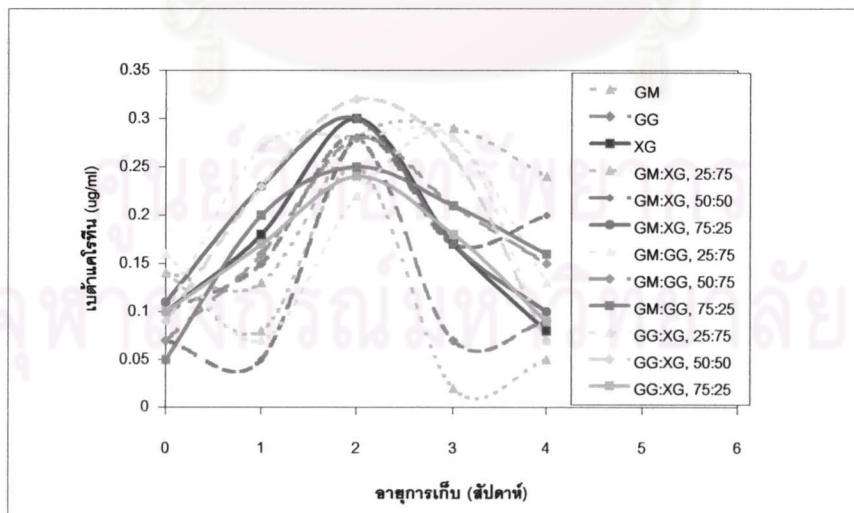
พบว่าเสถียรภาพตะกอนให้ผลสอดคล้องกับความชุ่ม กล่าวคือ สารผสมระหว่าง GM:XG และ GG:XG ทุกอัตราส่วนและสารละลายละลาย XG สามารถทำให้เสถียรภาพตะกอนไม่ตกลงมีค่า 100 ml ได้ตลอด 4 สัปดาห์ อาจสันนิษฐานได้ว่าสารดังกล่าวมีการเสริมฤทธิ์กันโดยสร้างพันธะพอลิเมอร์-พอลิเมอร์ จนเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายซึ่งโครงร่างนี้สามารถอุ้มน้ำได้สูงจึงป้องกันการตกตะกอนได้อย่างน้อย 4 สัปดาห์ ส่วนตัวอย่างอื่นๆ มีเสถียรภาพตะกอนลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



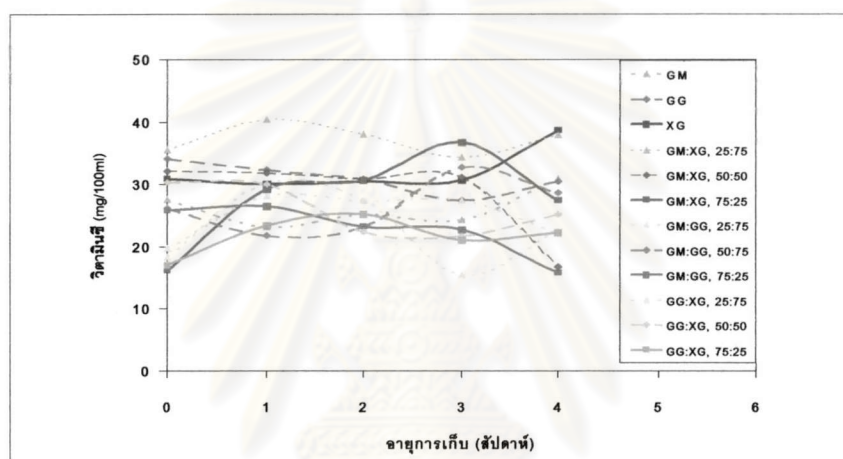
รูปที่ 4.39 ความหนืดของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว 2 ชนิด

จากรูปที่ 4.39 พบว่า GM:XG ที่อัตราส่วน 50:50 มีความหนืดสูงที่สุด ส่วนตัวอย่างอื่น ๆ มีความหนืดใกล้เคียงกันและคงที่ตลอด 4 สัปดาห์ ทั้งนี้เนื่องมาจากสารผสม GM:XG ที่อัตราส่วน 50:50 มีการเสริมฤทธิ์กันสูงที่สุด ซึ่งสังเกตจากค่าความหนืดเริ่มต้นของสารผสม GM:XG จากรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.40 ปริมาณเบต้าแคโรทีนของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว 2 ชนิด

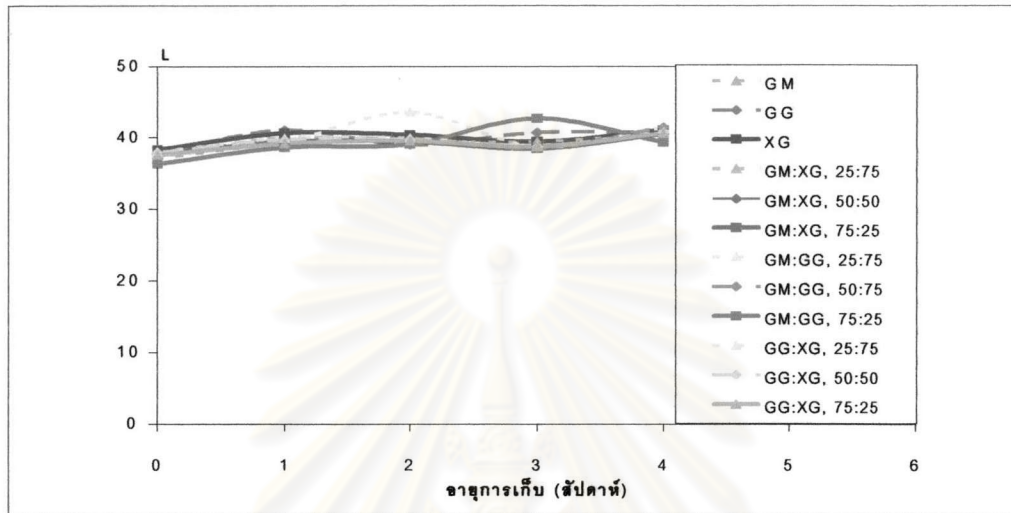
จากรูปที่ 4.40 พบว่าทุกตัวอย่างมีปริมาณเบต้าแคโรทีนน้อยในสัปดาห์แรก เพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 และค่อยๆ ลดลงเมื่อถึงสัปดาห์ที่ 4 อาจสันนิษฐานได้ว่าช่วงสัปดาห์แรกเบต้าแคโรทีนเข้าไปพัวพันกับสายพอลิเมอร์ที่เติมลงไปจึงทำให้วิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนได้น้อย การเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 อาจมาจากโครงสร้างของพอลิเมอร์อ่อนลงจึงสูญเสียเบต้าแคโรทีนมากกับน้ำทำให้วิเคราะห์ปริมาณได้สูงขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์พบว่าปริมาณเบต้าแคโรทีนลดลงอีกอาจมีสาเหตุมาจากเบต้าแคโรทีนที่ออกมากับน้ำนั้นสลายตัวหมดแล้วก็เป็นได้



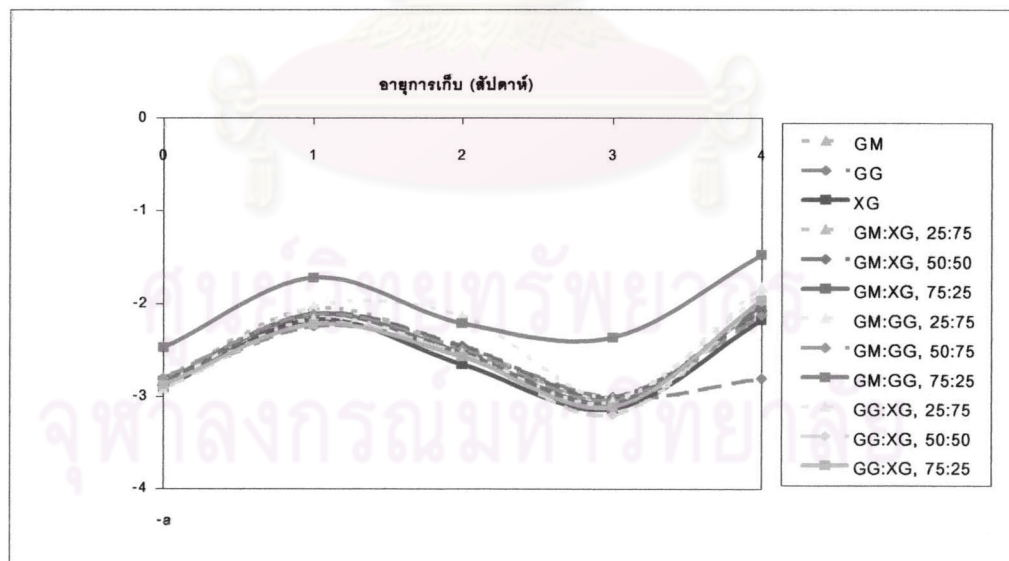
รูปที่ 4.41 ปริมาณวิตามินซีของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว 2 ชนิด

ส่วนปริมาณวิตามินซีค่อนข้างคงที่ตลอด 4 สัปดาห์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารให้ความคงตัวไปห่อหุ้มวิตามินซี จึงป้องกันการสูญเสียจากภาวะต่างๆ ในการผลิตและการเก็บรักษาได้ เช่น ความร้อน แสง และออกซิเจน เป็นต้น

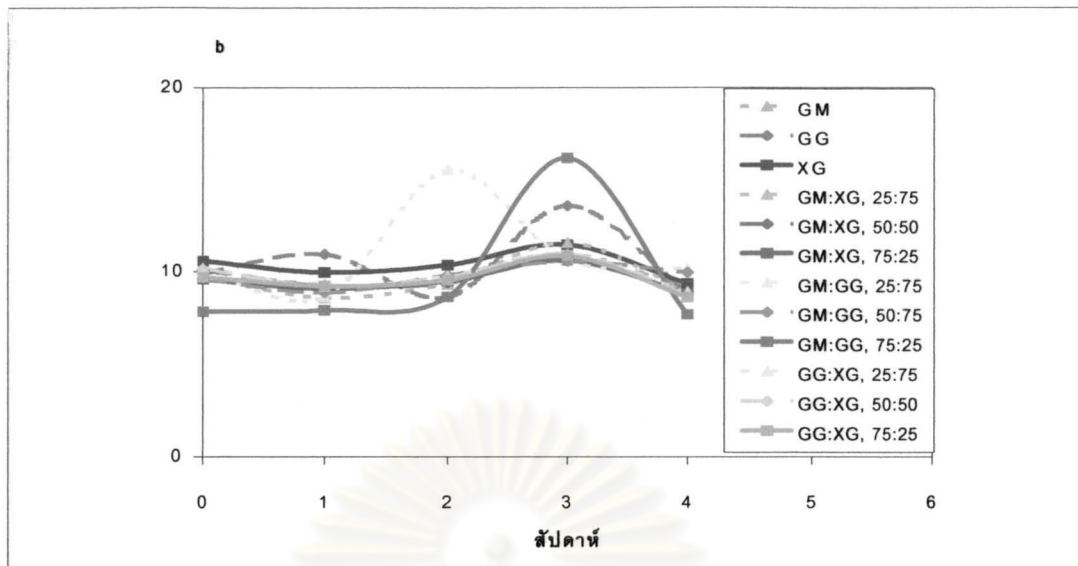
ค่าสี Lab จากรูปที่ 4.42 - 4.44 พบว่าค่า Lab ของทุกตัวอย่างค่อนข้างคงที่ตลอด 4 สัปดาห์ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากโครงสร้างตาข่ายที่เกิดขึ้นสามารถดบังปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดจากแสงหรือออกซิเจนได้



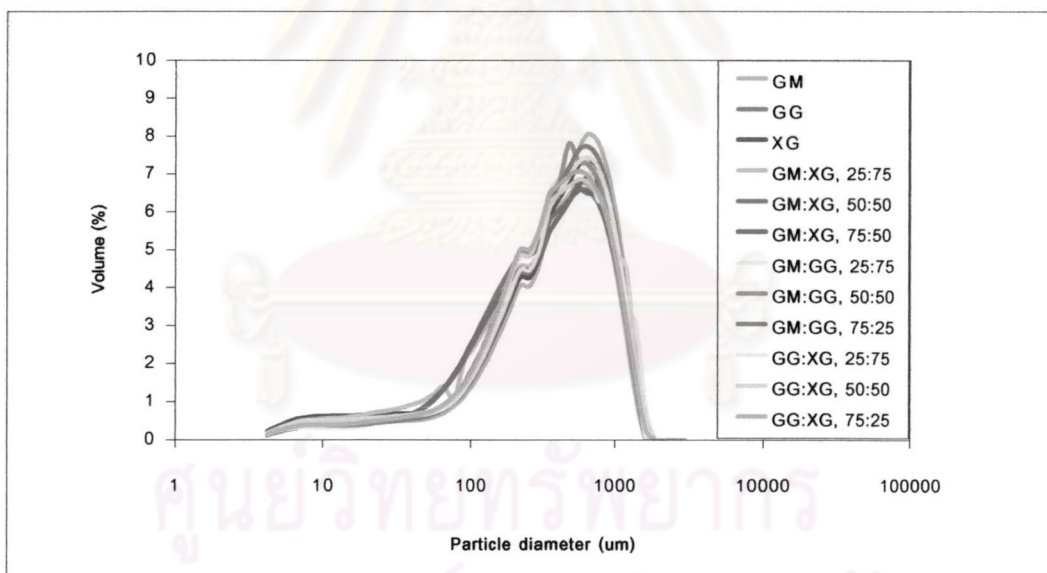
รูปที่ 4.42 ค่า L ของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว 2 ชนิด



รูปที่ 4.43 ค่า -a ของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว 2 ชนิด



รูปที่ 4.44 ค่า b ของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว 2 ชนิด



รูปที่ 4.45 การกระจายตัวของอนุภาคน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว 2 ชนิด

เมื่อนำน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว 2 ชนิด มาวัดการกระจายตัวของอนุภาคทันทีที่เตรียมเสร็จ พบว่าการเติมสารให้ความคงตัว 2 ชนิด ไม่มีผลต่อขนาดอนุภาค ทุกตัวอย่างมีปริมาณอนุภาคขนาดเล็ก (<10 ไมครอน) ใกล้เคียงกัน

การประเมินผลทางประสาทสัมผัสสำหรับน้ำส้มเขียวหวานคั้นของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว 2 ชนิด ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 ซึ่งแสดงเฉพาะลักษณะที่แตกต่างเท่านั้น

ตารางที่ 4.3 คะแนนความชุ่ม mouth feel และการยอมรับรวมของน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว 2 ชนิด โดยเฉลี่ย 4 สัปดาห์

ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ความชุ่ม	mouth feel	การยอมรับรวม
GM	7.72 <sup>b</sup> $\pm$ 0.36	2.08 <sup>b</sup> $\pm$ 0.16	6.52 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.19
GG	7.92 <sup>b</sup> $\pm$ 0.63	1.72 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.16	6.70 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.16
XG	8.42 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.70	2.52 <sup>b</sup> $\pm$ 0.29	6.04 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.21
GM : XG, 25 : 75	8.02 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.32	8.50 <sup>a</sup> $\pm$ 0.16	4.96 <sup>c</sup> $\pm$ 0.30
GM : XG, 50 : 50	8.34 <sup>ab</sup> $\pm$ 0.19	8.72 <sup>a</sup> $\pm$ 0.16	4.52 <sup>c</sup> $\pm$ 0.34
GM : XG, 75 : 25	7.62 <sup>b</sup> $\pm$ 0.65	8.16 <sup>a</sup> $\pm$ 0.16	6.04 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.21
GM : GG, 25 : 75	7.60 <sup>b</sup> $\pm$ 0.57	2.32 <sup>b</sup> $\pm$ 0.11	7.48 <sup>b</sup> $\pm$ 0.33
GM : GG, 50 : 50	7.92 <sup>b</sup> $\pm$ 0.67	2.08 <sup>b</sup> $\pm$ 0.16	7.62 <sup>b</sup> $\pm$ 0.37
GM : GG, 75 : 25	7.04 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.29	1.72 <sup>bc</sup> $\pm$ 0.16	8.60 <sup>a</sup> $\pm$ 0.35
GG : XG, 25 : 75	8.54 <sup>a</sup> $\pm$ 0.67	2.02 <sup>b</sup> $\pm$ 0.16	8.48 <sup>a</sup> $\pm$ 0.15
GG : XG, 50 : 50	8.78 <sup>a</sup> $\pm$ 0.62	1.22 <sup>c</sup> $\pm$ 0.16	8.72 <sup>a</sup> $\pm$ 0.15
GG : XG, 75 : 25	8.60 <sup>a</sup> $\pm$ 0.19	0.98 <sup>c</sup> $\pm$ 0.15	8.94 <sup>a</sup> $\pm$ 0.18

a, b, c ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P \leq 0.05$ )

\* คะแนนความชุ่มเป็นคะแนนแสดงระดับ 10 คะแนน หมายถึง ระดับความชุ่มสูง; 1 คะแนนหมายถึง ระดับความชุ่มต่ำ

\*\*mouth feel หมายถึงลักษณะที่มีสารเคลือบอยู่ในปากเมื่อกินตัวอย่าง คะแนนของ mouth feel เป็นคะแนนแสดงความหนาแน่น 10 คะแนน หมายถึง ระดับความหนาแน่นของสารที่เคลือบอยู่ในปากสูง; 1 คะแนนหมายถึง ระดับความหนาแน่นของสารที่เคลือบอยู่ในปากต่ำ

\*\*\*คะแนนการยอมรับรวมเป็นคะแนนแสดงระดับ 10 คะแนน หมายถึง ระดับการยอมรับรวมสูง; 1 คะแนนหมายถึง ระดับการยอมรับรวมต่ำ

พบว่าตัวอย่างที่เติมสารผสมระหว่าง GM : XG ทุกอัตราส่วน มีคะแนนการยอมรับรวมต่ำ ทั้งที่มีคะแนนความชุ่มสูง แต่เนื่องจากมีคะแนน mouth feel มากเกินไปจึงทำให้คะแนนการยอมรับรวมต่ำ ตัวอย่างที่เติมสารผสมระหว่าง GM : GG ทุกอัตราส่วน มีคะแนนการยอมรับรวมอยู่ในระดับปานกลาง และมีคะแนน mouth feel น้อย แต่อย่างไรก็ตามตัวอย่างดังกล่าวมีคะแนนความชุ่มค่อนข้างต่ำ จึงทำให้คะแนนการยอมรับรวมอยู่ในระดับปานกลางเท่านั้น ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับสารละลาย GM, GG และ XG สำหรับตัวอย่างที่เติมสารผสม GG : XG ทุกอัตราส่วน มีคะแนนการยอมรับรวมสูง มีคะแนน mouth feel ต่ำและมีคะแนนความชุ่มสูง ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำไปทำน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย