

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 การตรวจสอบคุณภาพเนื้อมะม่วงสุก

จากการวิเคราะห์คุณภาพของเนื้อมะม่วงสุกทางกายภาพและทางเคมีของมะม่วง 5 สายพันธุ์ คือ มะม่วงแก้ว ตลับนาถ พิมเสนมัน ฟ้ายัน และแรด ได้ผลการเปรียบเทียบค่าสีของเนื้อมะม่วงสุก 5 สายพันธุ์โดยวัดค่าสี L ซึ่งเป็นค่าความสว่าง (Lightness), a เป็นค่าสีแดงและสีเขียว (Redness/Greeness) และ b เป็นค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน (Yellowness/Blueness) ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าสี L a และ b ของเนื้อมะม่วงสุก 5 สายพันธุ์

ค่าสี	สายพันธุ์มะม่วง				
	แก้ว	ตลับนาถ	พิมเสนมัน	ฟ้ายัน	แรด
ค่าสี L	42.82 <sup>b</sup> ± 0.79	45.31 <sup>ab</sup> ± 0.42	47.04 <sup>a</sup> ± 2.94	43.90 <sup>ab</sup> ± 1.19	39.00 <sup>c</sup> ± 1.84
ค่าสี a	5.06 <sup>a</sup> ± 0.38	0.77 <sup>c</sup> ± 0.24	2.64 <sup>b</sup> ± 0.71	3.63 <sup>b</sup> ± 0.24	3.16 <sup>b</sup> ± 0.80
ค่าสี b	23.04 <sup>ab</sup> ± 2.73	29.24 <sup>a</sup> ± 7.32	25.07 <sup>a</sup> ± 1.73	25.25 <sup>a</sup> ± 1.61	17.03 <sup>b</sup> ± 2.97

- หมายเหตุ - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 4.1 พบว่าเนื้อมะม่วงทั้งหมดมีสีเหลืองออกแดงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากค่าสี b มีค่าบวกจึงเป็นสีเหลืองซึ่งมีค่าสีเหลืองอยู่ในช่วง 17.03 – 29.24 โดยมะม่วงตลับนาถมีสีเหลืองมากที่สุดเนื่องจากค่าสี b มีค่ามากที่สุดเป็น 29.24 และมะม่วงแรดมีสีเหลืองน้อยที่สุดและมีค่าสีเป็น 17.03 ส่วนค่าสี a มีค่าบวกจึงเป็นสีแดงซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.77 – 5.06 โดยมะม่วงแก้วจะมีสีแดงมากที่สุดมีค่าเป็น 5.06 และมะม่วงตลับนาถมีสีแดงน้อยที่สุด มีค่าเป็น 0.77 และพบว่าเนื้อมะม่วงสุกทั้งหมดมีความสว่างปานกลาง เนื่องจากค่าสี L เป็นค่าความสว่างที่มีค่า 0 ถึง 100 โดยค่าสี L ที่มีค่าเป็น 100 มีความสว่างมากที่สุด ส่วนค่าสี L ที่มีค่าเป็น 0 ไม่มีความสว่างหรือมีสีเป็นสีดำ

โดยเนื้อมะม่วงสุกทั้งหมดมีค่าสี L อยู่ในช่วงระหว่าง 39.00 – 47.04 ดังนั้นจึงมีความสว่างปานกลาง โดยมะม่วงพิมเสนมันมีค่าความสว่างมากที่สุดเป็น 47.04 และมะม่วงแรดมีค่าความสว่างน้อยที่สุดเป็น 39.00 ดังนั้นมะม่วงแรดจึงมีสีที่เป็นสีเหลืองนวล เนื่องจากมีสี b น้อยที่สุดและมีค่าสี L น้อยที่สุด และมะม่วงทั้ง 5 สายพันธุ์ มีค่าสีที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากสารสีที่พบในเนื้อมะม่วงสุกแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณไม่เท่ากัน และขึ้นอยู่กับระดับการสุกของมะม่วงด้วย โดยมะม่วงที่สุกมากมีการสลายของคลอโรฟิลล์ และสีเหลือง ส้ม และแดงของแคโรทีนจึงปรากฏแทน (รุ่งอรุณ, 2545)

สำหรับคุณภาพทางเคมีต่างๆ ของเนื้อมะม่วงสุกทั้ง 5 สายพันธุ์ แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของเนื้อมะม่วงสุก 5 สายพันธุ์

ผลการวิเคราะห์ทางเคมี	สายพันธุ์มะม่วง				
	แก้ว	ตลับนาก	พิมเสนมัน	ฟ้าลั่น	แรด
MC(%)	76.65 <sup>c</sup> ± 0.06	89.52 <sup>a</sup> ± 0.16	83.51 <sup>b</sup> ± 0.11	81.45 <sup>c</sup> ± 0.07	80.43 <sup>d</sup> ± 0.06
a <sub>w</sub>	0.97 <sup>c</sup> ± 0.00	0.98 <sup>a</sup> ± 0.00	0.98 <sup>b</sup> ± 0.00	0.98 <sup>b</sup> ± 0.00	0.98 <sup>c</sup> ± 0.00
RS(%)	3.91 <sup>b</sup> ± 0.06	4.62 <sup>a</sup> ± 0.07	3.92 <sup>b</sup> ± 0.02	3.35 <sup>c</sup> ± 0.21	3.14 <sup>c</sup> ± 0.13
TS(%)	17.69 <sup>a</sup> ± 0.63	9.22 <sup>d</sup> ± 0.21	13.72 <sup>c</sup> ± 0.09	15.46 <sup>b</sup> ± 0.38	16.29 <sup>b</sup> ± 0.64
Ash(%)	0.59 <sup>a</sup> ± 0.03	0.25 <sup>c</sup> ± 0.05	0.51 <sup>ab</sup> ± 0.07	0.49 <sup>b</sup> ± 0.03	0.49 <sup>b</sup> ± 0.03
Protein(%)	0.69 ± 0.086	0.82 ± 0.08	0.92 ± 0.08	0.28 <sup>a</sup> ± 0.02	0.66 ± 0.22
Fibre(%)	0.24 ± 0.04	0.18 ± 0.05	0.21 ± 0.08	0.16 ± 0.01	0.16 ± 0.03
pH	4.75 <sup>c</sup> ± 0.02	4.04 <sup>d</sup> ± 0.00	3.68 <sup>c</sup> ± 0.03	4.86 <sup>b</sup> ± 0.02	5.50 <sup>a</sup> ± 0.00
TA(%)	0.23 <sup>c</sup> ± 0.00	0.40 <sup>b</sup> ± 0.00	0.49 <sup>a</sup> ± 0.01	0.19 <sup>d</sup> ± 0.00	0.10 <sup>c</sup> ± 0.00
TSS(%)	17.40 ± 1.04	11.37 ± 0.85 <sup>a</sup>	16.07 ± 0.51	16.93 ± 0.90	16.13 ± 0.81

- หมายเหตุ - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- แถวที่ไม่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษ หมายถึง ค่าที่แสดงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- หน่วยที่เป็นร้อยละ คิดเป็น ร้อยละต่อน้ำหนักเปียกของตัวอย่าง

- ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total soluble solid, TSS) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด (reducing sugar and total sugar, RS and TS) ปริมาณกรดที่ไทเตรตได้ทั้งหมดเทียบกับปริมาณกรดมาลิก (Total titratable acidity as %Malic acid, TA) และปริมาณความชื้น (Moisture Content, MC)

จากตารางที่ 4.2 พบว่ามะม่วงแต่ละสายพันธุ์มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันโดยที่มะม่วงแก้วมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณเถ้าสูงที่สุดเป็นร้อยละ 17.69 และ 0.59 และมีปริมาณความชื้นและค่าน้ำอิสระต่ำที่สุดเป็นร้อยละ 76.65 และมีค่า  $a_w$  0.97 ตามลำดับ และพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีค่าสูงที่สุดเป็นร้อยละ 17.40 แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กับมะม่วงอีก 3 สายพันธุ์ คือ มะม่วงพิมเสนมัน ฟ้ายัน และแรด ส่วนมะม่วงคลับนากมีปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และค่าน้ำอิสระมากที่สุดมีค่าเป็นร้อยละ 89.52 4.62 และมีค่า  $a_w$  เป็น 0.98 ตามลำดับ และมีค่าของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณเถ้า และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่ำที่สุดมีค่าเป็นร้อยละ 9.23 0.25 และ 11.37 ตามลำดับ มะม่วงพิมเสนมันมีปริมาณกรดที่ไทเตรตได้ทั้งหมดเทียบกับกรดมาลิกมากที่สุดมีค่าเป็นร้อยละ 0.49 และมีค่า pH ต่ำที่สุดมีค่าเป็น 3.68 ซึ่งตรงข้ามกับมะม่วงแรดที่มีปริมาณกรดที่ไทเตรตได้ทั้งหมดเทียบกับกรดมาลิกต่ำที่สุดเป็นร้อยละ 0.10 และมีค่า pH สูงที่สุดมีค่าเป็น 5.50 และมะม่วงแรดมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำที่สุดมีค่าร้อยละ 3.14 ส่วนมะม่วงฟ้ายันมีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุดมีค่าร้อยละ 0.28 ส่วนปริมาณโปรตีนในมะม่วงอีก 4 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.28 - 0.92 นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณกากของเนื้อมะม่วงสุกทั้ง 5 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.16 - 0.24 ดังนั้นมะม่วงที่มีสายพันธุ์ต่างกันจึงมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันด้วย

## 4.2 การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์มะม่วงกวน

จากตัวอย่างมะม่วงกวนทั้ง 20 หน่วยทดลอง คือ มะม่วงกวน 5 สายพันธุ์ที่มีปริมาณเพกตินต่างกัน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0 1 2 และ 3 โดยน้ำหนัก ทำการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพโดยการวิเคราะห์ค่าสีและองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ มีผลการทดลองเป็นดังนี้

## ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ

จากการวิเคราะห์ค่าสี L a b ในระบบ Hunter Lab ของมะม่วงกวนทั้ง 5 สายพันธุ์ที่มีระดับเพกตินร้อยละ 1 2 3 โดยน้ำหนัก และชุดควบคุม ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าสี L a b ของมะม่วงกวน 5 สายพันธุ์ที่มีเพกตินร้อยละ 1 2 3 โดยน้ำหนัก และชุดควบคุม

สายพันธุ์ มะม่วงกวน	ผลการ วิเคราะห์ค่าสี	ปริมาณเพกติน			
		ชุดควบคุม	ร้อยละ 1 (w/w)	ร้อยละ 2 (w/w)	ร้อยละ 3 (w/w)
แก้ว	ค่าสี L	31.35±0.28	32.29±0.69	32.32±1.30	30.67±0.32
	ค่าสี a	6.81±0.31	6.07±0.12	5.33±0.97	5.80±0.93
	ค่าสี b	8.92 <sup>b</sup> ±1.18	10.12 <sup>ab</sup> ±0.32	11.75 <sup>a</sup> ±0.53	8.80 <sup>b</sup> ±1.27
ตลับนาก	ค่าสี L	33.41±0.55	33.15±1.70	31.40±0.94	32.05±3.24
	ค่าสี a	4.21 <sup>a</sup> ±0.10	3.66 <sup>ab</sup> ±0.59	2.95 <sup>d</sup> ±0.28	3.10 <sup>bc</sup> ±0.25
	ค่าสี b	10.78±0.36	9.29±2.46	11.45±0.38	12.55±2.94
พิมเสนมัน	ค่าสี L	31.53±1.36	31.6±0.99	31.83±0.17	33.28±0.57
	ค่าสี a	6.12±0.99	6.51±0.42	5.45±0.14	4.93±0.70
	ค่าสี b	11.13 <sup>ab</sup> ±0.39	12.03 <sup>a</sup> ±0.83	10.54 <sup>bc</sup> ±0.10	9.53 <sup>c</sup> ±0.71
ฟ้าลั่น	ค่าสี L	32.76±0.84	31.42±1.35	31.58±0.45	32.54±1.03
	ค่าสี a	5.61±0.46	4.57±0.48	5.06±0.51	4.87±0.44
	ค่าสี b	11.33±0.25	9.25 <sup>a</sup> ±0.38 <sup>a</sup>	10.45±0.48	10.77±0.94
แรด	ค่าสี L	29.67±0.25 <sup>b</sup>	28.62±0.50 <sup>b</sup>	31.63±0.77 <sup>a</sup>	31.73±1.31 <sup>a</sup>
	ค่าสี a	5.61±0.19 <sup>a</sup>	5.193±0.14 <sup>a</sup>	4.23±0.22 <sup>b</sup>	3.35±0.55 <sup>c</sup>
	ค่าสี b	8.13±0.56 <sup>a</sup>	6.90±0.42 <sup>bc</sup>	6.11±0.42 <sup>c</sup>	7.52±0.48 <sup>ab</sup>

- หมายเหตุ - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- แถวที่ไม่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษ หมายถึง ค่าที่แสดงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.3 พบว่ามะม่วงกวนทุกหน่วยการทดลองมีสีเหลืองออกแดงหรือน้ำตาลแดง และมีความสว่างค่อนข้างน้อย โดยพิจารณาจากค่าสี L ของมะม่วงกวนทุกหน่วยทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 28.62 – 33.41 ส่วนค่าสี a มีค่าอยู่ในช่วง 2.95 – 6.81 และค่าสี b โดยรวมของมะม่วงกวนทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6.11 – 12.03 และเนื่องจากค่าสีของมะม่วงกวนทุกหน่วยทดลองมีค่าใกล้เคียงกันและการวิจารณ์การเกิดสีเป็นไปในทางเดียวกันจึงขอยกตัวอย่างในการวิจารณ์การเกิดสีน้ำตาลแดงของมะม่วงแก้วกวน จากตารางที่ 4.3 มะม่วงแก้วกวนมีค่าสี L อยู่ในช่วง 30.67 - 32.32 ซึ่งเข้าใกล้ 0 ที่เป็นค่าความสว่างเป็นสีดำ ดังนั้นจึงมีความสว่างค่อนข้างน้อยและเมื่อพิจารณาเทียบกับเนื้อมะม่วงสุกแล้วจะมีค่าน้อยกว่าเนื้อมะม่วงสุก (ตารางที่ 4.1) ส่วนค่าสี a เป็นบวกจึงเป็นสีแดง โดยมีค่าสี a ของมะม่วงแก้วกวนอยู่ในช่วง 5.33 – 6.81 และทั้งค่าสี L และ a ของมะม่วงแก้วกวนทั้ง 4 หน่วยการทดลองที่เพิ่มปริมาณเพกตินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ส่วนค่าสี b ของมะม่วงแก้วกวนมีค่าบวกจึงเป็นสีเหลือง และมีค่าสี b อยู่ในช่วง 8.80 – 11.75 โดยมะม่วงแก้วกวนที่เติมเพกตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนักมีสีเหลืองที่สุกมีค่าเป็น 11.75 และมะม่วงแก้วกวนที่เติมเพกตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนักมีค่าสีเหลืองน้อยที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับชุดควบคุมซึ่งค่าสี b ทั้ง 4 หน่วยการทดลองมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากการกวนเป็นการระเหยน้ำออกซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มมากขึ้น (นิริยา, 2543) ดังนั้นถ้ามีปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์มากกว่าสีที่ปรากฏจะอ่อนกว่า และปริมาณน้ำที่ต่างกันจะมีสีที่แตกต่างกัน และการที่สีของผลิตภัณฑ์โดยรวมมีสีเหลืองออกแดงหรือน้ำตาลแดง เนื่องจากผลไม้กวนซึ่งมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบหลัก เมื่อได้รับความร้อนทำให้โมเลกุลของน้ำตาลสลายและเกิดโพลีเมอร์โรเซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาลซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการเมลไลเซชัน (caramelization) โดยสารสีในอาหารมีการพัฒนาเป็นสารสีเหลืองจนถึงน้ำตาลและน้ำตาลแดง (Fenema, 1996) และจากตารางที่ 4.2 พบว่าปริมาณโปรตีนของมะม่วงแก้วและแรดอยู่ในช่วง 0.66 – 0.69 อาจเป็นไปได้ว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ได้โดยที่โปรตีนจะทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์แล้วทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นเกิดสีน้ำตาลได้ (Fenema, 1996)

#### ผลการวิเคราะห์ทางเคมี

ค่าการวิเคราะห์ทางเคมีของมะม่วงกวนทั้ง 5 สายพันธุ์ คือ แก้ว ตลับนาก พิมเสนมัน ฟ้ายัน และแรดที่มีปริมาณเพกตินร้อยละ 1 2 3 โดยน้ำหนักและชุดควบคุม สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการวิเคราะห์ทางเคมีของมะม่วงกวนทั้ง 5 สายพันธุ์ที่มีปริมาณเพกตินร้อยละ 1 2 3 โดยน้ำหนัก และชุดควบคุม

สายพันธุ์ มะม่วงกวน	ค่าวิเคราะห์ ทางเคมี	ปริมาณเพกติน			
		ชุดควบคุม	ร้อยละ 1(w/w)	ร้อยละ 2(w/w)	ร้อยละ 3(w/w)
แก้ว	MC(%)	34.72 <sup>b</sup> ±0.26	39.41 <sup>a</sup> ±0.69	39.28 <sup>a</sup> ±1.15	33.43 <sup>b</sup> ±0.20
	a <sub>w</sub>	0.82 <sup>c</sup> ±0.00	0.86 <sup>b</sup> ±0.00	0.86 <sup>ab</sup> ±0.00	0.88 <sup>a</sup> ±0.01
	RS(%)	14.17 ±0.17	13.57 ±1.15	14.634 ±0.20	15.33 ±0.61
	TS(%)	49.89 ±0.89	46.981 ±0.09	51.69 ±0.10	49.92 ±2.38
	pH	4.40 <sup>a</sup> ±0.00	4.37 <sup>a</sup> ±0.11	4.15 <sup>b</sup> ±0.04	4.12 <sup>b</sup> ±0.12
	TA(%)	0.88 <sup>d</sup> ±0.03	1.04 <sup>c</sup> ±0.05	1.32 <sup>b</sup> ±0.04	1.46 <sup>a</sup> ±0.03
แรด	MC(%)	34.47 <sup>c</sup> ±0.43	40.15 <sup>a</sup> ±0.69	37.15 <sup>b</sup> ±1.34	35.30 <sup>c</sup> ±0.24
	a <sub>w</sub>	0.82 <sup>c</sup> ±0.00	0.85 <sup>a</sup> ±0.00	0.84 <sup>b</sup> ±0.00	0.84 <sup>b</sup> ±0.01
	RS(%)	12.48 ±0.83	11.69 ±0.41	11.78 ±0.28	12.14 ±0.00
	TS(%)	50.85 ±1.85	48.63 ±0.97	50.19 ±0.01	53.09 ±0.59
	pH	5.18 <sup>a</sup> ±0.01	4.56 <sup>b</sup> ±0.08	4.44 <sup>c</sup> ±0.02	4.27 <sup>d</sup> ±0.02
	TA(%)	0.51 <sup>d</sup> ±0.02	0.80 <sup>c</sup> ±0.03	0.86 <sup>b</sup> ±0.03	1.15 <sup>a</sup> ±0.04
ตลับนก	MC(%)	38.39 <sup>c</sup> ±0.08	40.62 <sup>b</sup> ±0.54	43.25 <sup>a</sup> ±0.69	34.68 <sup>d</sup> ±0.24
	a <sub>w</sub>	0.84 ±0.00	0.85 ±0.01	0.85 ±0.01	0.84 ±0.00
	RS(%)	24.38 ±0.65	23.19 ±0.31	24.27 ±0.32	24.14 ±0.24
	TS(%)	43.70 ±0.29	43.72 ±0.58	43.63 ±0.50	44.78 ±0.72
	pH	3.54 <sup>a</sup> ±0.00	3.46 <sup>c</sup> ±0.01	3.52 <sup>ab</sup> ±0.01	3.50 <sup>b</sup> ±0.03
	TA(%)	3.11 <sup>c</sup> ±0.05	3.51 <sup>b</sup> ±0.05	3.60 <sup>b</sup> ±0.05	3.74 <sup>a</sup> ±0.06
พิมเสนมัน	MC(%)	38.96 <sup>ab</sup> ±0.68	40.07 <sup>a</sup> ±0.43	37.88 <sup>b</sup> ±0.389	33.01 <sup>c</sup> ±0.84
	a <sub>w</sub>	0.82 ±0.00	0.82 ±0.00	0.84 <sup>a</sup> ±0.002	0.82 ±0.00
	RS(%)	17.62 <sup>a</sup> ±0.09	18.28 <sup>bc</sup> ±0.23	18.83 <sup>b</sup> ±0.34	20.34 <sup>a</sup> ±0.29
	TS(%)	51.50 ±0.97	49.55 ±2.37	54.42 ±0.33	53.09 ±2.44
	pH	4.07 <sup>a</sup> ±0.02	4.03 <sup>b</sup> ±0.01	3.86 <sup>c</sup> ±0.01	3.85 <sup>c</sup> ±0.02
	TA(%)	1.62 <sup>d</sup> ±0.02	1.84 <sup>c</sup> ±0.03	1.93 <sup>b</sup> ±0.01	2.16 <sup>a</sup> ±0.02

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงค่าการวิเคราะห์ทางเคมีของมะม่วงกวนทั้ง 5 สายพันธุ์ที่มีปริมาณเพกติน ร้อยละ 1 2 3 โดยน้ำหนัก และชดควบคุม

สายพันธุ์ มะม่วงกวน	ค่าวิเคราะห์ ทางเคมี	ปริมาณเพกติน			
		ชดควบคุม	ร้อยละ 1(w/w)	ร้อยละ 2(w/w)	ร้อยละ 3(w/w)
ฟ้าลั่น	MC(%)	36.15±0.53	37.27±0.53	35.57±0.16	32.30 <sup>a</sup> ±1.83
	a <sub>w</sub>	0.85 <sup>a</sup> ±0.00	0.84 <sup>b</sup> ±0.00	0.82 <sup>b</sup> ±0.00	0.83 <sup>d</sup> ±0.00
	RS(%)	13.86±0.53	13.37±0.54	13.31±0.24	14.09±0.11
	TS(%)	53.56 <sup>a</sup> ±0.22	48.50 <sup>b</sup> ±0.45	49.14 <sup>b</sup> ±0.50	52.74 <sup>a</sup> ±0.61
	pH	4.78 <sup>a</sup> ±0.03	4.57 <sup>b</sup> ±0.02	4.22 <sup>c</sup> ±0.00	4.11 <sup>d</sup> ±0.00
	TA(%)	0.59 <sup>d</sup> ±0.01	0.79 <sup>c</sup> ±0.01	0.94 <sup>b</sup> ±0.02	1.12 <sup>a</sup> ±0.01

- หมายเหตุ - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- แถวที่ไม่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษ หมายถึง ค่าที่แสดงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- หน่วยที่เป็นร้อยละ คิดเป็น ร้อยละต่อน้ำหนักเปียกของตัวอย่าง

จากค่าการวิเคราะห์ผลทางเคมี พบว่าผลการวิเคราะห์สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มตามผลการวิเคราะห์ทางเคมีที่มีแนวโน้มเดียวกันและผลการตอบสนองของ creep โดยกลุ่มที่ 1 เป็นมะม่วงแก้วกวนและมะม่วงแรดกวนและกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มของมะม่วงตลับนากกวน พิมเสนมันกวน และฟ้าลั่นกวน จากกลุ่มที่ 1 คือ มะม่วงแก้วและมะม่วงแรดกวนมีค่าปริมาณความชื้นที่สูงที่สุดเป็นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก มีปริมาณกรดที่ไต่เตเรตได้ทั้งหมดเทียบกับกรดมาลิกของมะม่วงกวนที่เดิมเพกตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนักมากที่สุดและมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของมะม่วงกวนทั้ง 4 หน่วยทดลองภายในสายพันธุ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังนั้นจึงขอยกตัวอย่างเป็นมะม่วงแก้วกวนในการวิเคราะห์ข้อมูลของผลการทดลองกลุ่มที่ 1 นี้ จากตารางที่ 4.4 พบว่ามะม่วงแก้วกวนชดควบคุมมีค่า pH มากที่สุดเป็น 4.40 และมีปริมาณกรดที่ไต่เตเรตได้ทั้งหมดเทียบกับกรดมาลิกและ a<sub>w</sub> น้อยที่สุดเป็นร้อยละ 1.35 และค่า a<sub>w</sub> เป็น 0.82 มะม่วงแก้วกวนที่เดิมเพกตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก มีปริมาณความชื้นสูงที่สุดเป็นร้อยละ 39.41 และไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับมะม่วงแก้วกวนที่เดิมเพกตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ส่วนมะม่วงแก้วกวนที่เดิมเพกตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนักมีปริมาณกรดที่ไต่เตเรตได้ทั้งหมดเทียบกับกรดมาลิกและค่าน้ำอิสระ

มากที่สุดเป็นร้อยละ 1.46 และ  $a_w$  เป็น 0.88 และมีค่า pH และปริมาณความชื้นน้อยที่สุดโดยมีค่า pH เป็น 4.12 และมีความชื้นเป็นร้อยละ 33.43 ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดของมะม่วงแก้วกวนทุกระดับเพศดินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และมีค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดอยู่ในช่วง 13.57 – 15.33 และ 46.98 – 51.69 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณความชื้นในมะม่วงแก้วกวนจากชุดควบคุม เดิมเพศดิน ร้อยละ 1 2 และ 3 โดยน้ำหนักมีแนวโน้มลดลง แต่มะม่วงแก้วและแรดกวนที่เดิมเพศดินร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนักมีปริมาณความชื้นที่สูง อาจเกิดได้จากความแปรปรวนของความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศของช่วงที่ทำการกวนซึ่งถ้ามีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมาก การระเหยของน้ำจากผลิตภัณฑ์ ในระหว่างการทิ้งให้เย็นมีการระเหยน้อยจึงทำให้เกิดความชื้นในผลิตภัณฑ์มีมาก ดังนั้นความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจึงมีความสำคัญต่อปริมาณความชื้นในอาหารด้วย (นิธิยา, 2543) และจากการวิเคราะห์ค่า  $a_w$  ของมะม่วงแก้วกวนซึ่งน่าจะลดลงตามปริมาณความชื้น แต่กลับมีค่าสูงอาจเกิดเนื่องจากการใช้ตัวอย่างในการวิเคราะห์หั่นละก้อน และสภาวะการเก็บตัวอย่างไม่ดีพอจึงอาจมีผลทำให้ผลการวิเคราะห์เกิดการแปรปรวนได้

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในกลุ่มที่ 2 พบว่ามะม่วงกวนทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ ตลับนาก พิมเสนมัน และฟ้าลั่น มีแนวโน้มของปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ทั้งหมดเทียบกับกรดมาลิก สูงขึ้นจากชุดควบคุม เดิมเพศดินร้อยละ 1 2 และ 3 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นพบว่าแนวโน้มลดลงจากชุดควบคุม เดิมเพศดินร้อยละ 1 2 และ 3 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.4 ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดในแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกันไป ในมะม่วงตลับนากกวนพบว่าปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดของมะม่วงตลับนากกวนทุกระดับเพศดินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังนั้นขอยกตัวอย่างในการวิเคราะห์เป็นมะม่วงตลับนากกวน จากตารางที่ 4.4 พบว่ามะม่วงตลับนากกวนชุดควบคุมมีค่า pH สูงที่สุดเป็น 3.54 และมีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้เทียบกับกรดมาลิกน้อยที่สุดมีค่าร้อยละ 3.11 ส่วนมะม่วงตลับนากกวนที่เดิมเพศดินร้อยละ 1 โดยน้ำหนักมีค่า pH น้อยที่สุดโดยมีค่า 3.46 ส่วนมะม่วงกวนที่เดิมเพศดินร้อยละ 2 โดยน้ำหนักมีปริมาณความชื้นสูงที่สุดมีค่าร้อยละ 43.25 และมะม่วงกวนที่เดิมเพศดินร้อยละ 3 โดยน้ำหนักมีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ทั้งหมดเทียบกับกรดมาลิกเป็นร้อยละ 3.74 และมีปริมาณความชื้นน้อยที่สุดเป็นร้อยละ 34.68 ซึ่งปริมาณความชื้นของมะม่วงตลับนากกวนนี้มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

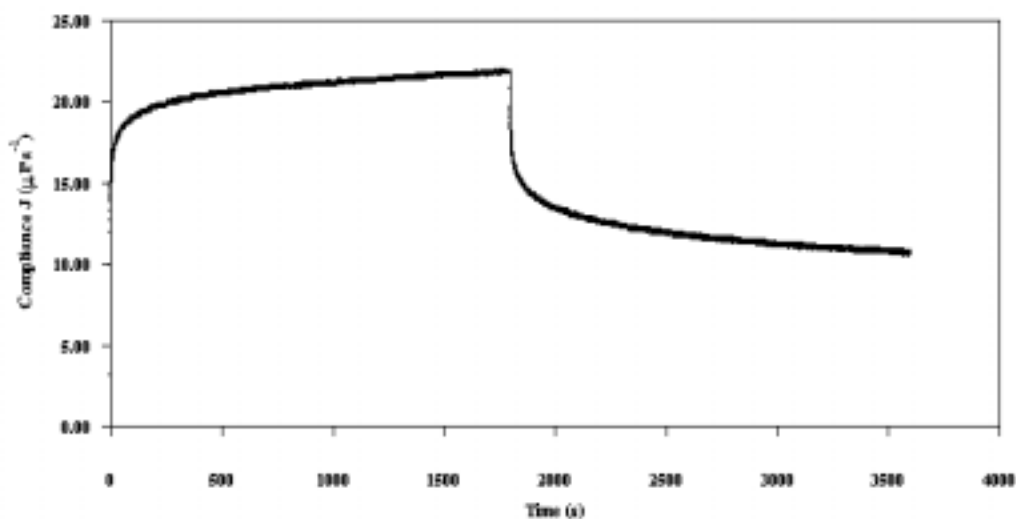


จากการวิเคราะห์ทางเคมีของมะม่วงกวนทั้งหมดแล้วพบว่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นอาจเกิดได้จากการที่ไม่ได้ควบคุมความชื้นของผลิตภัณฑ์ในช่วงหลังกวนเสร็จและทิ้งไว้ให้เย็นและสภาวะการเก็บผลิตภัณฑ์ที่ไม่เหมาะสมดังที่กล่าวมา รวมถึงการที่ไม่ได้ใช้ตัวอย่างเดียวกันทั้งหมดในการวิเคราะห์ หรืออาจเกิดการบิดเบือนค่า Refractive Index (RI) ที่แท้จริง เนื่องจากเพกตินสามารถละลายน้ำได้จึงมีน้ำจะผลทำให้ค่า RI ที่วัดได้เป็น RI ของเพกตินด้วย ซึ่งความแปรปรวนทั้งหมดมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีโดยเฉพาะความชื้นซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับอาหาร และองค์ประกอบอื่น เช่น น้ำตาลซึ่งเป็นส่วนประกอบหลัก ดังนั้นการแปรปรวนขององค์ประกอบที่เกิดขึ้นอาจส่งผลต่อค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกของมะม่วงกวนด้วย ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าที่แน่นอนจะต้องมีการควบคุมปริมาณน้ำหรือความชื้นหรือ  $a_w$  ให้เท่ากัน

#### 4.3 การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมและการศึกษาคุณสมบัติทางวิสโคอิลาสติกของมะม่วงกวน

##### 4.3.1 การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม

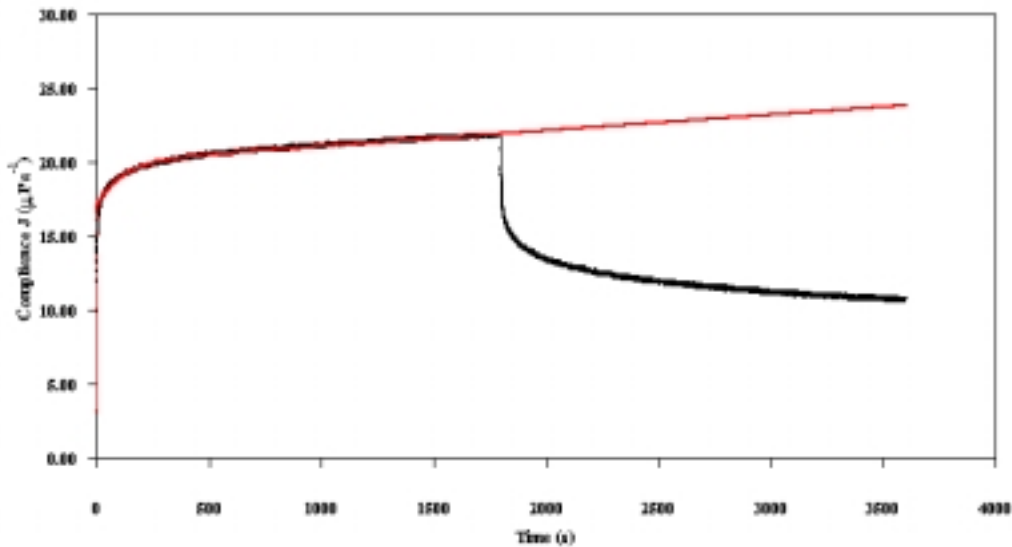
จากผลการทดสอบ creep กราฟทั้งหมดทุกหน่วยทดลองของมะม่วงกวนมีลักษณะกราฟที่ทดสอบได้เป็นดังรูปที่ 4.1 ดังนั้นจึงขอยกตัวอย่างการหาแบบจำลองโดยใช้กราฟ creep ของมะม่วงแรดกวนที่เติมเพกตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนักเป็นตัวอย่างในการหาแบบจำลองที่เหมาะสม



รูปที่ 4.1 ลักษณะกราฟ creep ของมะม่วงกวน

จากกราฟ creep ของผลการทดลองซึ่งมีลักษณะเหมือนแบบจำลอง 4 องค์ประกอบ ดังนั้นจึงหาค่าตัวแปรของแบบจำลองจากกราฟซึ่งมีค่าตัวแปรเป็นดังนี้ คือ  $J_0 = 3.15 \times 10^{-6}$   $J_1 = 1.69 \times 10^{-5}$   $\eta_0 = 9.40 \times 10^8$  และ  $\lambda_1 = 13.19$  (รายละเอียดในภาคผนวก ค) แทนค่าตัวแปรในแบบจำลองของแบบจำลองแมกซ์เวลล์ แบบจำลองเคลวิน และแบบจำลอง 4 องค์ประกอบ จากนั้น plot กราฟ compliance J เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทั้ง 3 แบบกับกราฟจากการทดลองจริงซึ่งได้สมการและกราฟเปรียบเทียบดังรายละเอียดในภาคผนวก ค (รูปที่ ค.4 - ค.6) และพบว่ากราฟจากทั้ง 3 แบบจำลองยังไม่เหมาะสมกับกราฟที่ได้จากการทดลองจริง ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลอง 6 องค์ประกอบซึ่งในการเปรียบเทียบกับแบบจำลอง 6 องค์ประกอบต้องมีการปรับค่าตัวแปรและเพิ่มตัวแปรอีก 2 ตัวคือ  $J_2$  และ  $\lambda_2$  ซึ่งสามารถหาค่าตัวแปรได้ดังนี้ คือ  $J_0 = 3.15 \times 10^{-6}$   $J_1 = 1.39 \times 10^{-5}$   $\lambda_1 = 0.37$   $J_2 = 3.00 \times 10^{-6}$   $\lambda_2 = 113.02$  และ  $\eta_0 = 9.40 \times 10^8$  ซึ่งมีสมการแบบจำลอง 6 องค์ประกอบและมีกราฟการเปรียบเทียบดังรูปที่ 4.2

$$J = 3.15 \times 10^{-6} + 1.39 \times 10^{-5} (1 - e^{-(t/0.37)}) + 3.00 \times 10^{-6} (1 - e^{-(t/113.02)}) + t / 9.40 \times 10^8$$



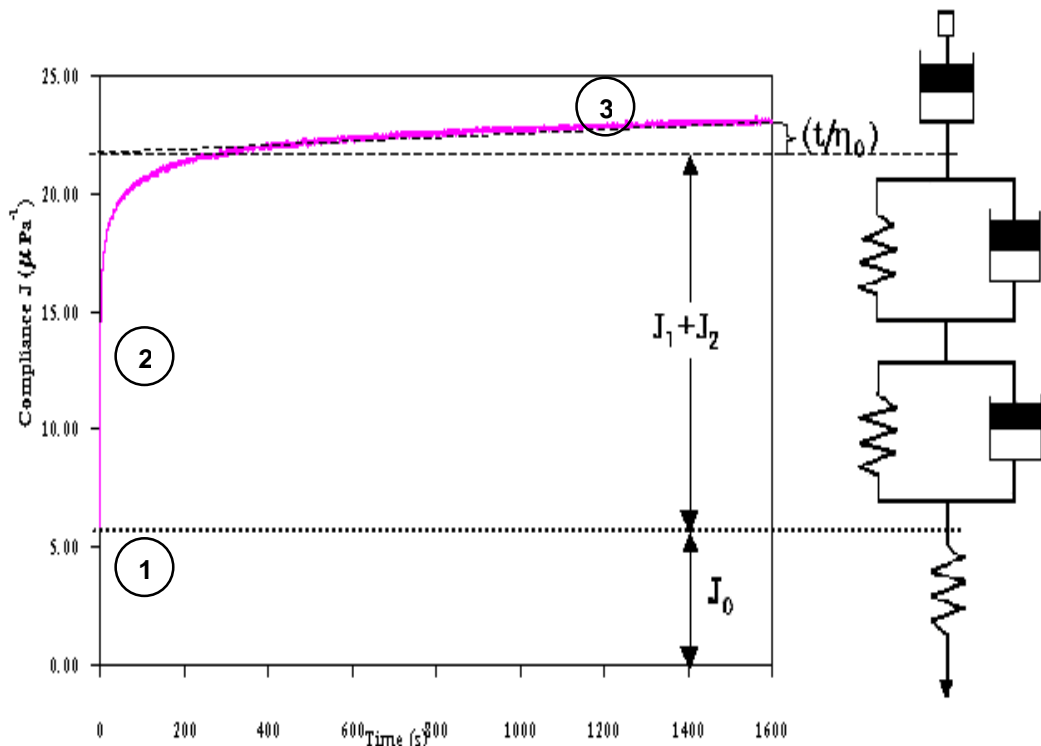
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบกราฟ creep จากการทดลองและแบบจำลอง 6 องค์ประกอบ

จากการเปรียบเทียบแบบจำลองข้างต้น พบว่าแบบจำลอง 6 องค์ประกอบมีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจากกราฟ creep ระหว่างการทดลองจริงและจากสมการแบบจำลองมีรูปแบบที่สอดคล้องกันพอดี และพบว่ามะม่วงกวนทั้ง 20 หน่วยทดลองมีผลการเปรียบเทียบเช่นเดียวกัน และแบบจำลองนี้สามารถนำไปใช้ในการอธิบายถึงสมบัติทางวิสโคอีลาสติกของมะม่วงกวนได้

### 4.3.2 การศึกษาคุณสมบัติทางวิสโคอีลาสติกของมะม่วงกวน

จากแบบจำลอง 6 องค์ประกอบซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองแมกซ์เวลล์ 1 หน่วย และแบบจำลองเคลวิน 2 หน่วย สามารถอธิบายคุณสมบัติวิสโคอีลาสติกของตัวอย่างมะม่วงกวนทุกหน่วยทดลองได้จากแบบจำลองดังกล่าว ในที่นี้จึงตัวอย่างมะม่วงกวนที่เติมเพกตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในการอธิบาย คือ จากการให้แรงคงที่ 1 นิวตันแก่ตัวอย่าง แล้ววัดค่าการเปลี่ยนแปลงความสูงของตัวอย่างในรูปของ compliance (J) พบว่าได้กราฟ creep ดังรูปที่ 4.3

มะม่วงกวนเติมเพกตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.3 กราฟ creep ของตัวอย่างมะม่วงกวนที่แสดงความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของแบบจำลอง 6 องค์ประกอบ

จากรูปที่ 4.3 กราฟ creep แบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่ compliance  $J_0$  เกิดการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด (instantaneous compliance) โดยที่เวลาไม่เปลี่ยนซึ่งเกิดเนื่องจากมะม่วงกวนมีสมบัติที่เป็นของแข็งที่มีความยืดหยุ่น (elastic) เช่นเดียวกับสปริง (spring) เมื่อออกแรงดึง (โดยแรงนั้นไม่ทำให้สปริงเสียหาย) สปริงเกิดการยืดตัวออกทันทีทันใด แต่เมื่อปล่อยหรือไม่ออกแรงดึงสปริงจะหดกลับสู่สภาพเดิม ดังนั้นสปริงจึงเป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แทนแบบจำลองส่วนนี้โดยค่า compliance  $J_0$  สามารถพิจารณาได้ในรูปของ  $E_0$  ; อีลาสติกโมดูลัส (elastic modulus)

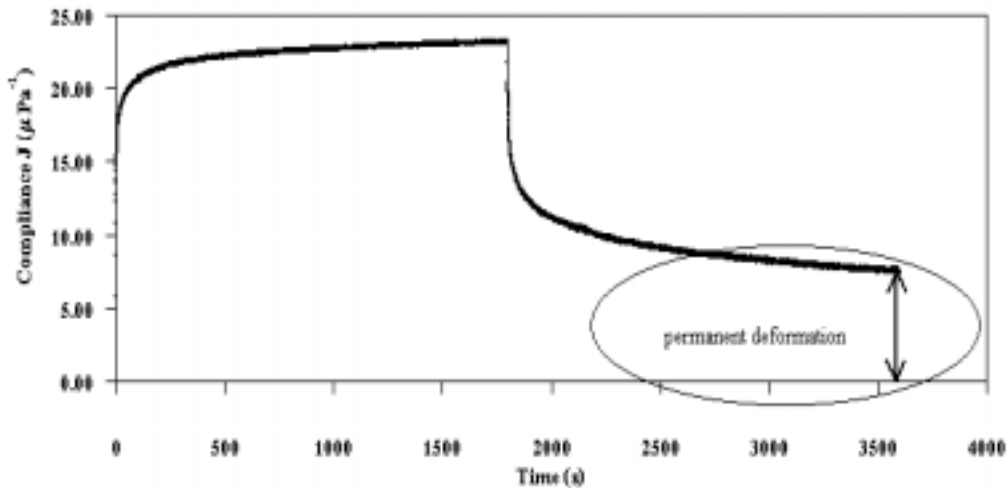
ซึ่งเป็นส่วนกลับของค่า  $J_0$  และเป็นพลังงานสะสมในวัสดุที่เป็นของแข็งและสามารถใช้พลังงานนั้นในการกลับคืนรูปร่างสู่สภาพเดิม (Ward and Hadley, 1995) ในช่วงนี้ถ้าอุณหภูมิออกมามะม่วงกวนจึงสามารถคืนสู่สภาพเดิมได้ เนื่องจากแรงที่กดไม่มากพอที่ทำให้พันธะในมะม่วงกวนเกิดการแตกหัก (Sherman, 1970) โดยสันนิษฐานว่าพันธะที่เกิดในมะม่วงกวนนี้เป็นพันธะที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์ (Non-covalent bond) คือ พันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดระหว่างน้ำและน้ำตาล หรือแรงยึดเหนี่ยวไฮโดรโฟบิกซึ่งเกิดระหว่างเพกตินกับเพกติน โดยการก่อพันธะมากขึ้นทำให้เจลมีความคงตัวและแข็งแรงมากขึ้น (Van Buren, 1991)

ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่ค่า compliance ขึ้นกับเวลา จากกราฟที่ได้พบว่าช่วงนี้ประกอบด้วยแบบจำลองของเคลวิน 2 หน่วย (4 องค์ประกอบ) โดยแบบจำลองเคลวินมีสปริงต่อขนานกับลูกสูบ (dashpot) ซึ่งเป็นสัญลักษณ์ที่ชี้แทนของเหลวที่ไม่ขึ้นกับเวลา หรือเป็นการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (permanent deformation) จึงแทนสัญลักษณ์ด้วยลูกสูบ (Blokma, 1972) ดังนั้นในช่วงนี้จึงมีสมบัติที่เป็นทั้งของแข็งและของเหลว โดยการเปลี่ยนรูปเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และเกิดเวลาการหน่วง (retardation time) เนื่องจากเมื่อให้แรงคงที่ค่าหนึ่งกระทำกับตัวอย่าง สปริงเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นทันทีแต่ลูกสูบค่อยๆ เกิดการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้เกิดเวลาของการหน่วงขึ้น จากแบบจำลองทำให้ทราบว่า compliance  $J$  ที่เกิดขึ้นมี 2 ค่า คือ  $J_1$  และ  $J_2$  ทำให้เกิดเวลาในการหน่วงขึ้น 2 ค่าเช่นกัน คือ  $\lambda_1$  และ  $\lambda_2$  ในส่วนโครงสร้างของมะม่วงกวนในช่วงนี้เกิดการแตกหักของพันธะบางส่วน ดังนั้นสมบัติความยืดหยุ่นของมะม่วงกวนจึงลดลง (Sherman, 1970)

ช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่ค่า compliance ไม่มีความสามารถในการคืนรูปได้ จึงแสดงสมบัติของของไหลโดยเมื่อมีแรงคงที่ค่าหนึ่งมากกระทำโดยเกิดการไหลไปและไม่มีการไหลกลับ เนื่องจากสมบัติของของไหลไม่มีความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานเหมือนของแข็ง จึงทำให้พลังงานสูญหายไป ในช่วงที่ 3 นี้จะพิจารณาการไหล (flow) ของวัสดุโดยพิจารณาจากค่าความชัน (slope) ซึ่งเป็นส่วนกลับของความหนืด โดยถ้าความหนืดมากนั่นคือความชันของกราฟน้อย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของค่าความเครียด (strain) ก็น้อย หมายถึงการมีสมบัติของแข็งที่มากขึ้นและส่งผลให้การไหลเกิดขึ้นน้อย และการไหลที่เกิดขึ้นในมะม่วงกวนเกิดจากการที่มะม่วงกวนมีน้ำเป็นองค์ประกอบซึ่งน้ำภายในเซลล์ก็มีสมบัติที่เป็นของไหล (Morrow and Mohsenin, 1966)

ในส่วนของการคืนรูป (recovery) พบว่าเมื่อถอนแรงแล้วกราฟ creep มีลักษณะที่สามารถคืนรูปได้ และพิจารณาการคืนรูป (ในส่วนที่อยู่ในวงกลม) ดังรูปที่ 4.4

มะม่วงแรงแทนความเค็มเพกตินร้อยละ 1 โดมน้ำหนัก



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการคืนรูปของมะม่วงแวน

จากรูปที่ 4.4 การคืนรูปของมะม่วงแวนไม่สามารถคืนรูปได้หมดเนื่องจากลักษณะของวัสดุวิสโคอิลาสติกซึ่งมีการยืดหยุ่นโดยมีการคืนรูปตามเวลาเหมือนสมบัติของของแข็ง แต่ไม่กลับไปสู่สภาพเริ่มต้นเนื่องจากมีลักษณะของของเหลวที่เกิดการไหลไปข้างหน้าโดยไม่มีการย้อนกลับสู่สภาพเดิมได้ (Christensen, 1971) ในที่นี้พิจารณาการคืนรูปจากค่า compliance  $J$  ที่เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (permanent deformation);  $J_{PD}$  ซึ่งพิจารณาจากค่า  $J$  ที่วินาทีที่ 3600 เนื่องจากเป็นจุดสุดท้ายของการทดสอบ ในส่วนโครงสร้างของมะม่วงแวนเกิดการแตกหักของพันธะเป็นบางส่วนจากการที่มีสมบัติของการไหลและไม่สามารถกลับคืนรูปเดิมได้

จากการศึกษาผลของปริมาณเพกตินที่มีต่อสมบัติวิสโคอิลาสติกของมะม่วงแวนโดยการผันแปรเพกติน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 1 2 3 โดยน้ำหนักและชุดควบคุม และเปรียบเทียบผลการตอบสนอง creep ของมะม่วงแวนในสายพันธุ์เดียวกัน จากมะม่วงแวน 5 สายพันธุ์ คือ แก้ว ตลับนาก พิมเสนมัน ฟ้ายัน และแรด พบว่าสามารถแบ่งผลการตอบสนอง creep ที่คล้ายกันได้เป็น 2 กลุ่ม ซึ่งแบ่งตามลำดับความสูงของกราฟจากสูงสุดไปต่ำสุด คือ

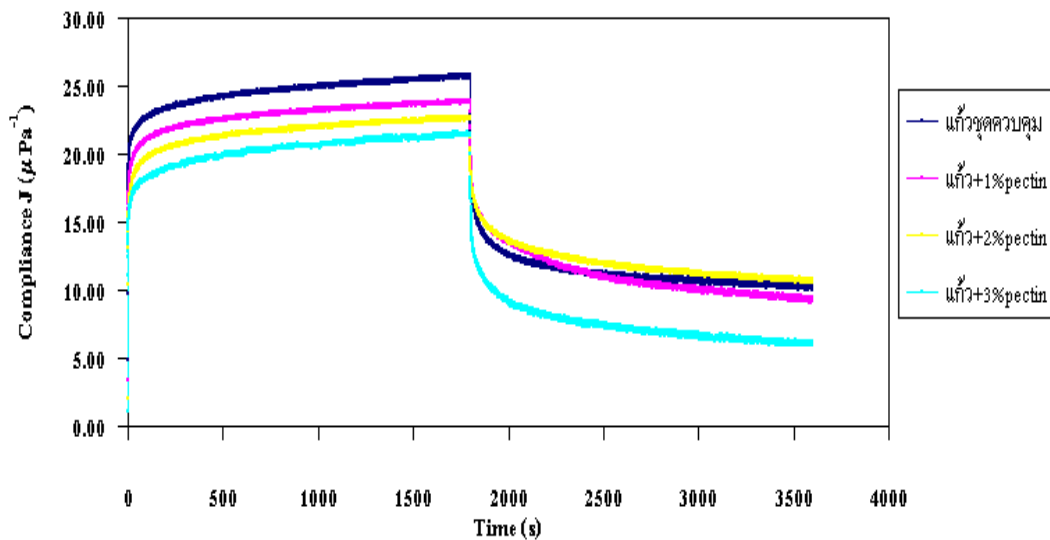
กลุ่มที่ 1 : มะม่วงแก้วและมะม่วงแรด ในกลุ่มนี้การเรียงลำดับความสูงของกราฟจากสูงสุดไปต่ำสุด คือ มะม่วงกวนชุดควบคุม เดิมเพกตินร้อยละ 1 2 และ 3 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

กลุ่มที่ 2 : มะม่วงตลับนาก พิมเสนมัน และฟ้าลั่น ในกลุ่มนี้มีการเรียงลำดับความสูงของกราฟจากสูงสุดไปต่ำสุด โดยไม่มีรูปแบบที่แน่นอนเหมือนกลุ่มแรก เช่น มะม่วงฟ้าลั่น กราฟที่สูงที่สุดเป็นมะม่วงกวนชุดควบคุม รองลงมาเป็นมะม่วงกวนที่เติมเพกตินร้อยละ 2 3 และ 1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เป็นต้น

กลุ่มที่ 1 : มะม่วงแก้วและมะม่วงแรดกวน ในที่นี้ยกตัวอย่างเป็นมะม่วงแก้วกวนเนื่องจากเห็นความแตกต่างของกราฟได้ดีกว่ามะม่วงแรดกวน

จากการเปรียบเทียบผลการตอบสนอง creep ของมะม่วงแก้วกวนที่มีปริมาณเพกตินต่างกันสามารถแสดงกราฟเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 4.5 และหาค่าตัวแปรของสมบัติวิสโคอีลาสติก (viscoelastic parameter) คือ  $J_0$ ,  $\eta_0$ ,  $E_0$  และ  $J_{PD}$  ได้ดังตารางที่ 4.5

กราฟเปรียบเทียบมะม่วงแก้วกวนที่มีปริมาณเพกตินต่างกัน



รูปที่ 4.5 กราฟผลการตอบสนอง creep compliance ของมะม่วงแก้วกวนที่มีปริมาณเพกตินร้อยละ 1 2 3 โดยน้ำหนักและชุดควบคุม

จากกราฟการเปรียบเทียบและค่าตัวแปรของแบบจำลองซึ่งสามารถบอกคุณสมบัติวิสโคอีลาสติกได้ โดยในด้านอาหารใช้ตัวแปร compliance  $J_0$  หรือ อีลาสติกโมดูลัส (elastic modulus ;  $E_0$ ) แทนสมบัติอีลาสติกหรือความเป็นของแข็งของวัสดุ ในที่นี้จึงใช้ค่า  $E_0$  ในการอธิบายเพื่อให้เข้าใจได้ง่าย และใช้ค่าความหนืด (viscosity ;  $\eta_0$ ) แทนการเกิดการไหล (flow) ซึ่งเป็นสมบัติของของเหลวของวัสดุ และพิจารณาการคืนรูปจากค่า  $J_{PD}$  ซึ่งมีลักษณะที่เป็นทั้งของแข็งและของเหลวรวมกัน แต่ในที่นี้วิเคราะห์โดยใช้สมบัติของของเหลวเป็นหลักเนื่องจากวัสดุทุกชนิดมีความสามารถในการไหลได้ (Steffe, 1996)

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ในแบบจำลอง 6 องค์ประกอบของมะม่วงแก้วกวนที่มีปริมาณเพกตินร้อยละ 1 2 3 โดยน้ำหนัก และชดควบคุม

ปริมาณเพกติน	ค่าตัวแปรทางสมบัติวิสโคอีลาสติก (viscoelastic parameter)			
	$J_0$ ( $\mu\text{Pa}^{-1}$ )	$E_0$ (MPa)	$\eta_0$ (GP)	$J_{PD}$ ( $\mu\text{Pa}^{-1}$ )
ชดควบคุม	4.87 <sup>a</sup> ± 0.34	0.21 <sup>d</sup> ± 0.01	1.00 ± 0.82	10.20 <sup>ab</sup> ± 0.51
ร้อยละ 1 (w/w)	3.33 <sup>b</sup> ± 0.14	0.03 <sup>c</sup> ± 0.01	1.01 ± 0.02	9.20 <sup>b</sup> ± 0.95
ร้อยละ 2 (w/w)	2.06 <sup>c</sup> ± 0.15	0.48 <sup>b</sup> ± 0.04	1.17 ± 0.48	10.80 <sup>a</sup> ± 1.12
ร้อยละ 3(w/w)	1.08 <sup>d</sup> ± 0.05	0.93 <sup>a</sup> ± 0.04	0.81 ± 0.01	6.04 <sup>c</sup> ± 0.55

- หมายเหตุ - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- แถวที่ไม่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษ หมายถึง ค่าที่แสดงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อปริมาณเพกตินเพิ่มขึ้นจากชดควบคุมถึงร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มะม่วงแก้วกวนมีกราฟ creep ที่มีความสูงของเส้นกราฟที่ลดลง คือ กราฟชดควบคุมมีความสูงของกราฟมากที่สุด ถัดมาเป็นกราฟมะม่วงแก้วกวนที่เติมเพกตินร้อยละ 1 2 และ 3 โดยน้ำหนักตามลำดับ และจากตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาค่า  $E_0$  พบว่าเมื่อเพิ่มเพกติน ค่า  $E_0$  เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยที่การเพิ่มขึ้นของค่า  $E_0$  สามารถบอกได้ถึงสมบัติของแข็งที่เพิ่มมากขึ้นซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของความเครียด โดยถ้าการเปลี่ยนแปลงของความเครียดมีน้อยเมื่อความเค้นคงที่ หมายถึงวัสดุมีความแข็งมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มปริมาณเพกตินเป็นการเพิ่มการก่อ cross-link และเกิดจังก์ชันโซนมากขึ้น ทำให้เจลของเพกตินมีความคงตัวและ

แข็งแรงมากขึ้น (Oakenfull, 1991) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ma *et al* (1996, 1997) ซึ่งศึกษาคุณสมบัติวิสโคอิลาสติกของเซลดาคีส์ที่มีไขมันและที่ลดไขมัน โดยมีรายงานว่าค่า  $J_0$  มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างที่เป็นร่างแหของโปรตีนที่ไม่เสียสภาพ โดยซีส์ที่มีค่า  $J_0$  ที่มีค่าน้อยจะมีลักษณะที่แข็งกว่าซีส์ที่มีค่า  $J_0$  มาก

นอกจากนี้สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกตินที่เพิ่มขึ้นกับค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกตินกับค่าตัวแปร  $J_0$  และ  $E_0$  พบว่าปริมาณเพกตินมีผลต่อค่า  $J_0$  โดยความสัมพันธ์ที่ได้เป็นสมการเส้นตรง โดย  $y$  เป็นค่า  $J_0$  และ  $x$  เป็นปริมาณเพกติน และจากค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) = 0.99 อธิบายได้ว่า ปริมาณเพกตินมีผลต่อค่า  $J_0$  คิดเป็นร้อยละ 99 โดยถ้าเพิ่มปริมาณเพกตินให้มากขึ้นอีก ค่า  $J_0$  ที่ได้มีค่าน้อยลงอีกเห็นได้จากสมการมีค่าติดลบ และค่า  $E_0$  สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกันโดยปริมาณเพกตินที่เพิ่มมีผลต่อค่า  $E_0$  ที่เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 89 ดังนั้นปริมาณเพกตินที่เพิ่มขึ้นจึงมีผลต่อค่า  $J_0$  และ  $E_0$

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของปริมาณเพกตินและค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกมะม่วงแก้วหวาน

y	สมการ regression	ค่า $R^2$
$J_0$ (Pa <sup>-1</sup> )	$J_0 = -1.00 \times 10^{-6} * \text{เพกติน} + 6.00 \times 10^{-6}$	$R^2 = 0.99$
$E_0$ (Pa)	$E_0 = 2.36 \times 10^5 * \text{เพกติน} + 1.26 \times 10^5$	$R^2 = 0.89$
$\eta_0$ (P)	$\eta_0 = -4.01 \times 10^7 * \text{เพกติน} + 1.06 \times 10^9$	$R^2 = 0.13$
$J_{PD}$ (Pa <sup>-1</sup> )	$J_{PD} = -1.09 \times 10^{-6} * \text{เพกติน} + 1.07 \times 10^{-5}$	$R^2 = 0.44$

จากตารางที่ 4.5 พิจารณาว่าค่า  $\eta_0$  พบว่ามะม่วงแก้วหวานมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเพกตินเพิ่มจากชุดควบคุม ร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เมื่อเพิ่มเพกตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนักพบว่าความหนืดมีค่าน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาในรูปของการไหล พบว่าลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นในช่วงนี้จึงมีค่าน้อยเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นมีค่าน้อยและความหนืดมีค่ามาก แต่จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าความหนืดของมะม่วงแก้วหวานทั้ง 4 หน่วยการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังนั้นลักษณะการไหลของมะม่วงแก้วหวานทั้ง 4 หน่วยทดลองนี้จึงมีลักษณะที่ไม่แตกต่างกันเนื่องจากความหนืดที่ไม่ต่างกันทางสถิติ และสอดคล้องกับความหนืดที่มีค่ามากจะมีแรงต้านการไหลที่มาก (Ma *et al*, 1996) และจากการหาความสัมพันธ์



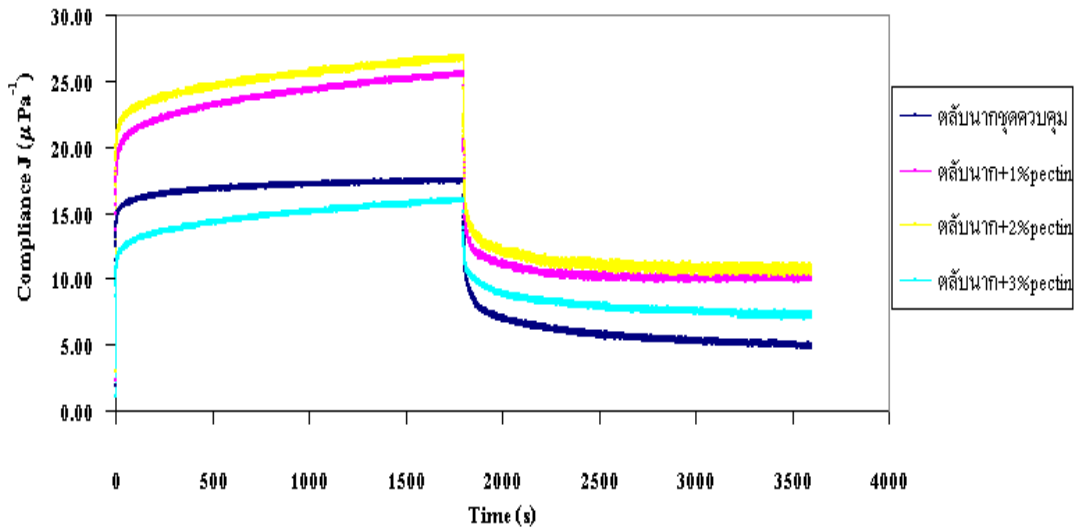
เชิงเส้นระหว่างปริมาณเพคตินที่เพิ่มขึ้นกับค่าความหนืด พบว่าการเพิ่มเพคตินมีผลต่อการลดลงของความหนืดเพียงร้อยละ 13 ซึ่งมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก

ในส่วนของกรคืนรูป (recovery) เมื่อพิจารณาวัสดุที่สมบัติของของแข็งมาก ความสามารถในการคืนรูปสู่จุดเริ่มต้นจะมาก เนื่องจากมีการเก็บสะสมพลังงานและใช้ในการคืนรูป (Ward and Hadley, 1995) ดังนั้นเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรโดยถ้าค่า  $J_{PD}$  มีค่าต่ำมาก ๆ แสดงว่ามีสมบัติอีลาสติกมากจึงมีผลทำให้สามารถคืนรูปได้มาก ดังนั้นจึงมีสมบัติการไหลที่น้อยซึ่งการเกิดเนื่องความหน่วงของลูกสูบจากแบบจำลองเคลวินน้อยนั่นเอง และจากผลการทดลองดังรูปที่ 4.5 พบว่ากราฟของมะม่วงแก้วกวนที่เติมเพคตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนักมีเส้นกราฟที่ต่ำที่สุดและมีค่า  $J_{PD}$  ต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งหมายถึงมะม่วงแก้วกวนที่เติมเพคตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนักนี้มีสมบัติของของแข็งมากที่สุดและมีสมบัติในการไหลน้อยที่สุด ส่วนมะม่วงแก้วกวนที่เติมเพคตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนักมีเส้นกราฟและค่า  $J_{PD}$  ที่ต่ำกว่าชุดควบคุมจึงมีสมบัติของแข็งที่มากกว่าและสมบัติการไหลที่น้อยกว่า ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่า  $J_{PD}$  ของชุดควบคุมน่าจะมีอีลาสติกน้อยที่สุดและมีการไหลมากที่สุด แต่จากกราฟพบว่ามะม่วงแก้วกวนที่เติมเพคตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนักมีสมบัติการไหลที่มากกว่า ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากการให้เวลาทดสอบที่ไม่นานพอจึงทำให้ไม่เห็นคุณสมบัติการไหลที่แท้จริง และเมื่อพิจารณาปริมาณความชื้น (ตารางที่ 4.4) พบว่ามะม่วงแก้วกวนที่เติมเพคตินร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนักมีปริมาณความชื้นมากและมากกว่าชุดควบคุมซึ่งสอดคล้องกับการไหลที่มากในช่วงที่เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรนี้

**กลุ่มที่ 2 :** มะม่วงตลับนาก พิมเสนมัน และฟ้าลั่น ในที่นี้ขอยกตัวอย่างเป็นมะม่วงตลับนากเนื่องจากมีกราฟที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนและมีกราฟที่ไม่เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือ การเพิ่มปริมาณเพคตินน่าจะมีผลทำให้สมบัติทางวิสโคอีลาสติกโดยเฉพาะ  $E_0$  และความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งผลการทดลองเป็นดังนี้

จากกราฟผลการตอบสนอง creep compliance ของมะม่วงตลับนากกวนที่มีปริมาณเพคตินต่างกัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งจากรูปพบว่ากราฟของมะม่วงตลับนากกวนที่เติมเพคตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนักมีกราฟที่สูงที่สุด ถัดมาเป็นกราฟมะม่วงตลับนากกวนที่เติมเพคตินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ชุดควบคุม และเติมเพคตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนักตามลำดับ และหาค่าตัวแปร  $J_0$ ,  $\eta_0$ ,  $E_0$  และ  $J_{PD}$  ได้ดังตารางที่ 4.7

กราฟเปรียบเทียบมะม่วงตลับนากหวานที่มีปริมาณเพกตินต่างกัน



รูปที่ 4.6 กราฟผลการตอบสนอง creep compliance ของมะม่วงตลับนากหวานที่มีปริมาณเพกตินร้อยละ 1 2 3 โดยน้ำหนักและชดควบคุม

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ในแบบจำลอง 6 องค์ประกอบของมะม่วงตลับนากหวานที่มีปริมาณเพกตินร้อยละ 1 2 3 โดยน้ำหนัก และชดควบคุม

ปริมาณเพกติน	ค่าตัวแปรทางสมบัติวิสโคอีลาสติก (viscoelastic parameter)			
	$J_0$ ( $\mu\text{Pa}^{-1}$ )	$E_0$ (MPa)	$\eta_0$ (GP)	$J_{PD}$ ( $\mu\text{Pa}^{-1}$ )
ชดควบคุม	$1.86^c \pm 0.06$	$0.54^b \pm 0.01$	$2.34 \pm 0.45$	$4.75^c \pm 0.31$
ร้อยละ 1 (w/w)	$2.27^b \pm 0.21$	$0.44^c \pm 0.03$	$0.63 \pm 0.25$	$10.10^a \pm 0.81$
ร้อยละ 2 (w/w)	$2.96^a \pm 0.06$	$0.34^d \pm 0.01$	$0.58 \pm 0.06$	$10.80^a \pm 0.25$
ร้อยละ 3(w/w)	$1.14^d \pm 0.06$	$0.88^a \pm 0.02$	$0.73 \pm 0.05$	$7.45^b \pm 0.40$

- หมายเหตุ - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- แถวที่ไม่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษ หมายถึง ค่าที่แสดงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากค่าตัวแปรทางวิสโคอีลาสติกของแบบจำลองมะม่วงตลับนากวน ดังตารางที่ 4.7 พบว่าตัวอย่างที่เติมเพกตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีค่า  $E_0$  มากที่สุด ค่า  $E_0$  ที่สูงถัดมาเป็นตัวอย่างมะม่วงตลับนากวนชุดควบคุม และจากนั้นเป็นตัวอย่างที่เติมเพกตินร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ตามลำดับซึ่งมีค่าสอดคล้องกับเส้นกราฟที่ต่ำที่สุดไปสูงที่สุด โดยค่า  $J_0$  และ  $E_0$  มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังนั้นมะม่วงตลับนากวนที่มีเพกตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนักจึงมีสมบัติที่เป็นของแข็งมากที่สุด ส่วนมะม่วงกวนชุดควบคุมเติมเพกตินร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก มีความแข็งแรงน้อยลง ตามลำดับ และค่าโมดูลัสสอดคล้องกับการก่อพันธะของเพกตินคือ เมื่อก่อพันธะมากขึ้นทำให้เจลมีการก่อ cross-link และเกิดจังก์ชันโซนมากขึ้นในโครงสร้าง (Katsuta *et al.*, 1990)

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกตินกับค่าตัวแปร  $J_0$  และ  $E_0$  พบว่าค่า  $J_0$  มีแนวโน้มลดลงซึ่งสัมพันธ์กับค่าแนวโน้มของ  $E_0$  ที่เพิ่มขึ้นและสอดคล้องกับเมื่อเพิ่มเพกตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนักแล้ว ตัวอย่างมะม่วงกวนมีสมบัติอีลาสติกเพิ่มขึ้น แต่จากค่าสหสัมพันธ์ที่ได้พบว่าการเพิ่มปริมาณเพกตินมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มค่าอีลาสติกโมดูลัสคิดเป็นเพียงร้อยละ 25 ซึ่งถือว่าสัมพันธ์กันน้อยมาก อาจเกิดเนื่องจากการที่มะม่วงกวนที่เติมเพกตินร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนักมีค่า  $E_0$  น้อยกว่าชุดควบคุมซึ่งถ้าเป็นไปตามสมมติฐานที่ว่า การเพิ่มเพกตินเป็นการเพิ่มค่า  $E_0$  แล้วค่า  $E_0$  ของมะม่วงกวนที่เติมเพกตินร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนักน่าจะมากกว่าชุดควบคุมโดยการเกิดผลการทดลองเช่นนี้อาจเนื่องมาจากมะม่วงกวนที่เติมเพกตินร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนักมีปริมาณความชื้นมากกว่าชุดควบคุมดังตารางที่ 4.4 ดังนั้นจึงมีผลทำให้ค่าสหสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ไปด้วย

**ตารางที่ 4.8** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกตินและค่าตัวแปรทางวิสโคอีลาสติกมะม่วงตลับนากวน

y	สมการ regression	ค่า $R^2$
$J_0$ (Pa <sup>-1</sup> )	$J_0 = -1.46 \times 10^{-7} * \text{เพกติน} + 2.28 \times 10^{-6}$	$R^2 = 0.06$
$E_0$ (Pa)	$E_0 = 9.14 \times 10^4 * \text{เพกติน} + 4.11 \times 10^5$	$R^2 = 0.25$
$\eta_0$ (P)	$\eta_0 = -4.90 \times 10^8 * \text{เพกติน} + 1.80 \times 10^9$	$R^2 = 0.55$
$J_{PD}$ (Pa <sup>-1</sup> )	$J_{PD} = -1.09 \times 10^{-7} * \text{เพกติน} + 9.11 \times 10^{-6}$	$R^2 = 0.01$

ส่วนค่าความหนืด (viscosity ;  $\eta_0$ ) จากตารางที่ 4.7 พบว่ามะม่วงตลับนากวนมีค่าความหนืดของตัวอย่างค่ามากที่สุด และความหนืดของตัวอย่างที่เติมเพกตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนักมีค่าความหนืดน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และเมื่อพิจารณาความชื้นซึ่งเป็นส่วนกลับ

กับค่า  $\eta_0$  ของกราฟทั้ง 4 หน่วยการทดลอง พบว่าความชันของมะม่วงดัดแปลงที่เติมเพกตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีเส้นกราฟที่ชันกว่าของมะม่วงกวนชุดควบคุมซึ่งเส้นกราฟที่ชันกว่า มีความหมายว่า มีการเปลี่ยนแปลงความเครียด (strain) ของมะม่วงดัดแปลงที่เติมเพกตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนักมากกว่า ดังนั้นจึงมีสมบัติของการไหลมากกว่าและมีความหนืดที่น้อยกว่าซึ่งสอดคล้องกับการที่ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นที่สูง (ตารางที่ 4.4) ดังนั้นการที่ตัวอย่างมะม่วงกวนที่เติมเพกตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนักมีความหนืดน้อยที่สุดอาจเนื่องมาจากการมีปริมาณความชื้นมากที่สุด และผลของการเติมเพกตินมีความสัมพันธ์เพียงปานกลางกับความหนืดที่มีแนวโน้มลดลงซึ่งพิจารณาได้จากค่าสหสัมพันธ์คิดเป็นร้อยละ 55 ดังตารางที่ 4.8 ซึ่งผลการทดลองไม่เป็นไปในแนวเดียวกับงานวิจัยของ Qiu *et al.* (1990) ที่ศึกษาการเพิ่มปริมาณเพกตินและปริมาณน้ำตาลในเยลลี่ ซึ่งพบว่ามีค่าอีลาสติกโมดูลัสและความหนืดที่สูง

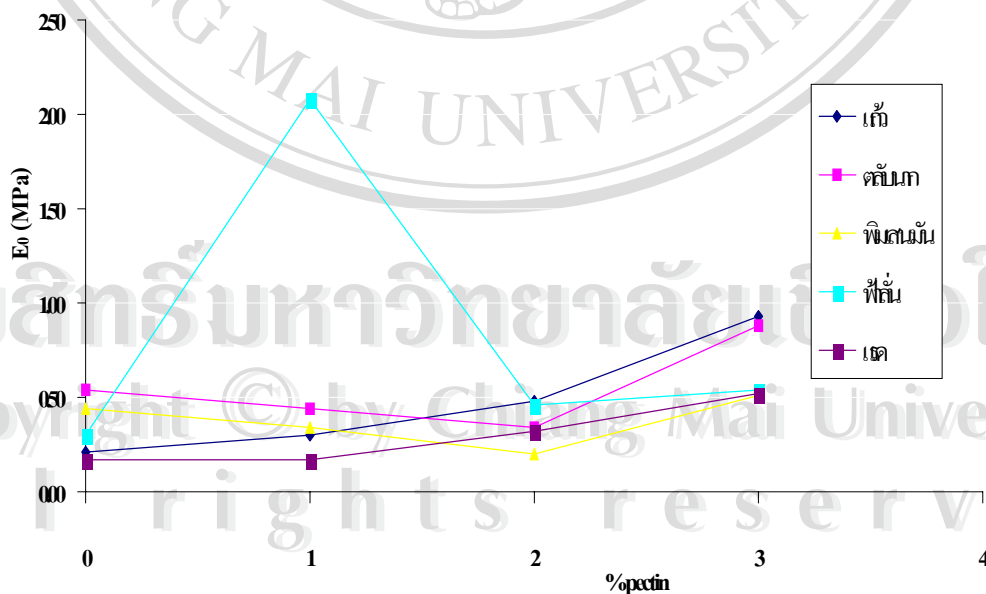
ในส่วนของการคืนรูปจากตารางที่ 4.7 พบว่าค่า  $J_{PD}$  ของมะม่วงดัดแปลงที่เติมเพกตินร้อยละ 2 โดยน้ำหนักมีค่าสูงที่สุด ดังนั้นการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรหรือการไหลจึงมีมากที่สุด รองมาเป็นร้อยละ 1-3 โดยน้ำหนัก และชุดควบคุม และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังนั้นค่า  $J_{PD}$  น่าจะแปรผกผันกับค่า  $E_0$  โดยกราฟของมะม่วงกวนที่เติมเพกตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก น่าจะเป็นกราฟที่ต่ำที่สุด แต่จากการทดลองกราฟของมะม่วงกวนชุดควบคุมมีค่าต่ำที่สุดอาจเกิดเนื่องจากการใช้เวลาในการทดลองไม่นานพอจึงทำให้เกิดปิดบังการไหลที่แท้จริงก็ว่าได้ หรืออาจเกิดเนื่องจากการเกิดจังก์ชันโซนของเจลไม่สมบูรณ์พอ เนื่องจากการก่อเจลและเกิดจังก์ชันโซนที่สมบูรณ์ต้องมี pH ที่เหมาะสม คือ ประมาณ 3.0 – 3.2 (พวงทองและคณะ, 2541) โดยไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) ของกรดจะจับกับประจุลบของหมู่คาร์บอกซิล ( $COO^-$ ) ของเพกตินดังนั้นจึงลดการผลักรันของประจุลบของหมู่คาร์บอกซิลของเพกตินและเกาะกันเป็นร่างตาข่าย แต่จากผลการทดลองของทั้งมะม่วงแก้วกวนและดัดแปลงซึ่งมี pH อยู่ในช่วง 3.5 – 4.4 จึงเป็นไปได้ว่าการเกิดเจลของมะม่วงกวนไม่สมบูรณ์พอจึงส่งผลให้เกิดการไหลในช่วงของการคืนรูปมากขึ้น

จากผลการทดลองชุดที่ 2 เห็นได้ว่าปริมาณเพกตินมีผลต่อค่าตัวแปร  $J_0$ ,  $E_0$ ,  $\eta_0$  และ  $J_{PD}$  โดยการเพิ่มปริมาณเพกตินทำให้ค่า  $J_0$  และ  $J_{PD}$  มีค่าลดลง และทำให้ค่า  $E_0$  และ  $\eta_0$  มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นการเพิ่มความแข็งให้ผลิตภัณฑ์ ซึ่งความผันแปรที่เกิดขึ้นอาจเกิดเนื่องจากการความผันแปรขององค์ประกอบทางเคมี เช่น ปริมาณความชื้น และ ค่า pH ดังนั้นจากผลการทดลองของตัวอย่างมะม่วงกวนทั้ง 2 กลุ่มโดยรวมแล้วการเพิ่มของปริมาณเพกตินมีผลต่อค่าตัวแปรทางวิสโคอีลาสติก (viscoelastic parameter) ของมะม่วงกวนได้ โดยทำให้ค่า  $E_0$  และ  $\eta_0$  เพิ่มขึ้นและทำให้ค่า  $J_0$  และ

$J_{PD}$  ลดลง จากการพิจารณาค่า  $J_0$  ที่ลดลงบอกได้ถึงสมบัติความเป็นของแข็งที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของความเครียดน้อย และ  $E_0$  ที่เพิ่มขึ้นบอกถึงค่าอีลาสติคโมดูลัสซึ่งเป็นพลังงานสะสมในวัสดุที่มากขึ้น ซึ่งเมื่อได้รับแรงกระทำคงที่ค่าหนึ่งแล้วสามารถใช้พลังงานนั้นกลับสู่รูปเดิมได้ ซึ่งสอดคล้องกับการก่อเจลและเกิดจังก์ชัน โชนมากขึ้นจึงทำให้มีแรงต้านการกดได้มากขึ้น ส่วนค่า  $\eta_0$  ที่เพิ่มขึ้นบอกถึงลักษณะการไหลที่มีน้อยลงซึ่งหมายถึงความเป็นของแข็งที่เพิ่มขึ้น และค่า  $J_{PD}$  หรืออีกนัยหนึ่งคือการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรที่ลดลง บอกถึงความสามารถในการคืนรูปของมะม่วงกวนที่คืนรูปได้มากขึ้นเนื่องจากค่า  $J_{PD}$  ที่น้อย หมายถึงการเปลี่ยนแปลงของความเครียดที่น้อย ดังนั้นสมบัติของแข็งจึงมากขึ้น

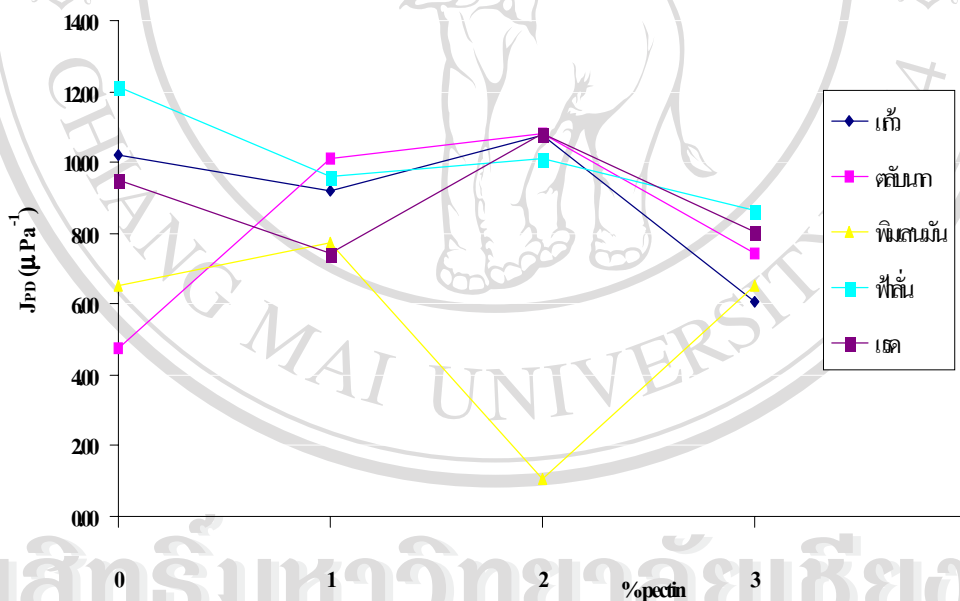
#### การพิจารณาผลสรุปโดยรวมของมะม่วงกวนทั้ง 5 สายพันธุ์

จากผลการตอบสนองกราฟ creep compliance ของมะม่วงกวนทั้ง 5 สายพันธุ์ ได้แก่ มะม่วงแก้ว ตลับนาก พิมเสนมัน ฟ้ายัน และแรด โดยการผันแปรปริมาณเพกติน 4 ระดับคือเติมเพกตินร้อยละ 1 2 และ 3 โดยน้ำหนัก และชุดควบคุม โดยการพิจารณานี้ได้พิจารณาสมบัติหลักของวัสดุทั่วไป คือ สมบัติของแข็งในรูปของอีลาสติคโมดูลัส ;  $E_0$  และสมบัติการไหลของของไหลในรูปของการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ;  $J_{PD}$  โดยมีกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกตินกับค่าตัวแปรทางวิสโคอีลาสติคทั้งสองค่าดังรูปที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกตินกับค่าอีลาสติคโมดูลัส ( $E_0$ )

จากรูปที่ 4.7 สรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณเพกตินจากชุดควบคุม เติมเพกตินร้อยละ 1 2 และ 3 โดยน้ำหนัก พบว่าในมะม่วงแก้วกวน ตลับนากวน และแรดกวนมีแนวโน้มของความเป็นอิลาสติกเพิ่มขึ้นเนื่องจากเส้นแนวโน้มของมะม่วงกวนทั้ง 3 สายพันธุ์มีแนวโน้มของเส้นเพิ่มขึ้น แต่ในมะม่วงพืชมะม่วงกวน ความเป็นอิลาสติกมีแนวโน้มที่ค่อนข้างคงที่ และมะม่วงฟ้าลั่นกวนมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อพิจารณาจากเส้นแนวโน้มจากการเติมเพกตินร้อยละ 0 1 2 และ 3 โดยน้ำหนัก และเมื่อพิจารณาจากสมการ regression และค่าสหสัมพันธ์ดังตารางที่ 4.9 พบว่ามะม่วงแก้วกวน ตลับนากวน พืชมะม่วงกวน และแรดกวนมีแนวโน้มของความเป็นอิลาสติกเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเพกตินเพิ่มขึ้น แต่มะม่วงฟ้าลั่นกลับมีแนวโน้มของความเป็นอิลาสติกลดลง ซึ่งคล้ายกับผลการวิเคราะห์จากกราฟ แต่จากค่าสหสัมพันธ์พบว่า การเพิ่มปริมาณเพกตินมีผลอย่างมากต่อมะม่วงแก้วและแรดกวน โดยมีค่าสหสัมพันธ์คิดเป็นร้อยละ 90 และ 87 ตามลำดับ แต่ในมะม่วงตลับนากวนและพืชมะม่วงกวนมีความสัมพันธ์กันน้อย ดังนั้นจึงสรุปว่าการเพิ่มเพกตินมีผลต่อการเพิ่มความเป็นอิลาสติกของมะม่วงแก้วและแรดกวน



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกตินกับค่าการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ( $J_{pd}$ )

จากรูปที่ 4.8 สรุปได้ว่ามะม่วงแก้วกวน พืชมะม่วงกวน และฟ้าลั่นกวนมีแนวโน้มของกราฟลดลง แสดงว่าเมื่อมีเพกตินเพิ่มขึ้นในมะม่วงทั้ง 3 สายพันธุ์ค่า  $J_{pd}$  จะมีค่าที่ลดลงด้วยซึ่งหมายถึงมีการไหลที่ลดลง ความเป็นของแข็งก็เพิ่มขึ้น ส่วนมะม่วงแรดกวนมีแนวโน้มของค่า  $J_{pd}$  ที่ค่อนข้างคงที่ และมะม่วงตลับนากวนพบว่าค่า  $J_{pd}$  มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นคือ มีแนวโน้มของการไหลที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง แต่เมื่อพิจารณาสมการ regression และค่าสหสัมพันธ์ที่ได้จากตารางที่ 4.9 พบว่า

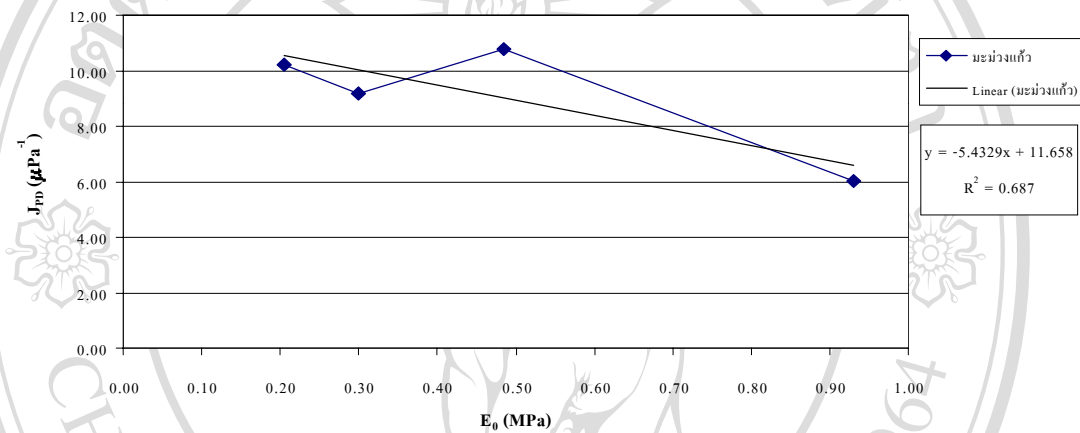
มะม่วงแก้วกวน พิมเสนมันกวน ฟาลันกวน และแรดกวน มีแนวโน้มของสมการที่ลดลงเมื่อเพกตินเพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงเมื่อเพิ่มเพกตินการไหลของมะม่วงทั้ง 4 สายพันธุ์มีการไหลที่ลดลงหรืออีกนัยหนึ่งคือมีสมบัติของแข็งที่เพิ่มขึ้น ส่วนมะม่วงตลับนากกวนมีแนวโน้มของค่า  $J_{PD}$  ที่เพิ่มขึ้น หมายถึงการเพิ่มเพกตินทำให้มะม่วงตลับนากมีสมบัติการไหลที่มากขึ้น แต่จากค่าสหสัมพันธ์การเพิ่มปริมาณเพกตินมีผลต่อการลดลงของการไหลในมะม่วงฟาลันอย่างมากแต่เมื่อพิจารณาควบคู่กับค่า  $E_0$  แล้วพบว่าความเป็นอิลาสติกก็มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน ดังนั้นการเพิ่มปริมาณเพกตินไม่น่าจะมีผลต่อค่า  $E_0$  และ  $J_{PD}$  ของมะม่วงฟาลัน และเช่นกันในมะม่วงตลับนากกวนที่การเพิ่มเพกตินมีแนวโน้มทำให้ค่า  $E_0$  และ  $J_{PD}$  เพิ่มขึ้นในขณะเดียวกัน ดังนั้นปริมาณเพกตินไม่น่าจะมีผลต่อสมบัติวิสโคอิลาสติกของมะม่วงตลับนาก

จากการพิจารณาที่ปริมาณเพกตินระดับเดียวกันจากรูปที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกที่ได้มีค่าที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ที่ระดับเพกตินชุดควบคุมที่ไม่ใส่เพกตินพบว่าค่า  $E_0$  ของมะม่วงตลับนากกวนมีค่ามากที่สุดและสอดคล้องกับรูปที่ 4.8 ซึ่งค่า  $J_{PD}$  ของมะม่วงตลับนากกวนมีค่าน้อยที่สุดซึ่งหมายถึง ที่ชุดควบคุมมะม่วงตลับนากกวนมีความเป็นอิลาสติกมากที่สุด มีสมบัติของของแข็งมากที่สุดและมีการไหลเกิดขึ้นน้อยที่สุด เป็นต้น ดังนั้นสายพันธุ์มะม่วงที่แตกต่างกันที่ปริมาณเพกตินระดับเดียวกันทำให้มีค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกต่างกัมีผลให้สมบัติทางวิสโคอิลาสติกแตกต่างกันไปด้วย

**ตารางที่ 4.9** ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกตินกับค่าอิลาสติกโมดูลัส ( $E_0$ ) และค่าการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ( $J_{PD}$ ) ของมะม่วงกวนทั้ง 5 สายพันธุ์

มะม่วง	สมการ regression ของ $E_0$ (Pa)	ค่า $R^2$	สมการ regression ของ $J_{PD}$ ( $Pa^{-1}$ )	ค่า $R^2$
แก้ว	$E_0 = 2.36 \times 10^5 * \text{เพกติน} + 1.26 \times 10^5$	0.90	$J_{PD} = -1.09 \times 10^{-6} * \text{เพกติน} + 1.07 \times 10^{-5}$	0.44
ตลับนาก	$E_0 = 9.14 \times 10^4 * \text{เพกติน} + 4.11 \times 10^5$	0.25	$J_{PD} = 8.85 \times 10^{-7} * \text{เพกติน} + 6.95 \times 10^{-6}$	0.17
พิมเสนมัน	$E_0 = 7.89 \times 10^3 * \text{เพกติน} + 3.60 \times 10^5$	0.01	$J_{PD} = -6.67 \times 10^{-7} * \text{เพกติน} + 6.47 \times 10^{-6}$	0.08
ฟาลัน	$E_0 = -9.24 \times 10^4 * \text{เพกติน} + 9.84 \times 10^5$	0.02	$J_{PD} = -9.96 \times 10^{-7} * \text{เพกติน} + 1.16 \times 10^{-5}$	0.77
แรด	$E_0 = 1.19 \times 10^5 * \text{เพกติน} + 1.16 \times 10^5$	0.87	$J_{PD} = -1.09 \times 10^{-7} * \text{เพกติน} + 9.11 \times 10^{-6}$	0.01

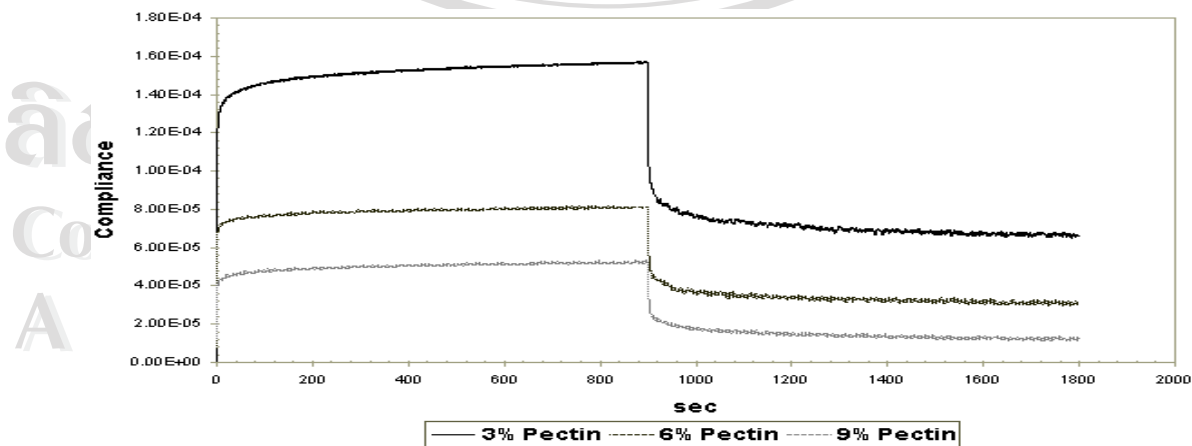
ดังนั้นจากผลการทดลองโดยรวมของมะม่วงทั้ง 5 สายพันธุ์สรุปได้ว่ามะม่วงกวนที่เป็นไปตามสมมติฐานที่เมื่อเพิ่มปริมาณเพกตินแล้วจะทำให้สมบัติอิลาสติกของมะม่วงกวนเพิ่มขึ้นเห็นได้ชัดเจนในมะม่วงแก้วกวนและมะม่วงแรดกวน ส่วนมะม่วงพิมเสนมันกวนมีผลการวิเคราะห์เช่นเดียวกันแต่จากค่าสหสัมพันธ์ที่ต่ำมากซึ่งบอกได้ว่าการเพิ่มปริมาณเพกตินมีผลน้อยมาก ดังนั้นจึงใช้ตัวอย่างมะม่วงแก้วกวนในการแสดงผลของความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นอิลาสติกที่เพิ่มขึ้นกับการไหลที่ลดลง ซึ่งจะแสดงในรูปของค่า  $E_0$  และ  $J_{PD}$  โดยความสัมพันธ์ของค่า  $E_0$  และ  $J_{PD}$  ของมะม่วงแก้วกวนคิดเป็นร้อยละ 69 แสดงได้ดังกราฟที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิลาสติกโมดูลัส ( $E_0$ ) และค่าการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ( $J_{PD}$ )

### 4.3.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางวิสโคอิลาสติกของเจลเพกติน

จากการวัด creep ของเจลเพกตินเพื่อเปรียบเทียบและยืนยันกับผลการทดลองที่ได้จะได้อกราฟ creep ดังรูปที่ 4.10 และหาค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกได้ดังตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบ creep ของเจลเพกติน



ตารางที่ 4.10 แสดงค่าตัวแปรทางวิสโคอีลาสติกของเจลเพกติน

ปริมาณเพกติน	ค่าตัวแปรทางสมบัติวิสโคอีลาสติก (viscoelastic parameter)		
	$E_0$ (MPa)	$\eta_0$ (GP)	$J_{PD}$ ( $\mu\text{Pa}^{-1}$ )
ร้อยละ 3 (w/w)	$0.02^c \pm 0.02$	$0.21 \pm 0.38$	$60.00^a \pm 2.00$
ร้อยละ 6 (w/w)	$0.05^b \pm 0.01$	$0.27 \pm 0.52$	$31.00^b \pm 1.20$
ร้อยละ 9 (w/w)	$0.06^a \pm 0.02$	$0.25 \pm 0.20$	$12.20^c \pm 2.05$

- หมายเหตุ - ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- แถวที่ไม่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษ หมายถึง ค่าที่แสดงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากรูปที่ 4.10 ผลการทดลองใช้เจลเพกตินในการทดสอบ creep พบว่าเจลที่เติมเพกตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนักมีกราฟที่สูงที่สุด รองลงมาเป็นกราฟของเจลที่เติมเพกตินร้อยละ 6 และ 9 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณเพกตินมีผลในการเพิ่มสมบัติของแข็งของเจลอย่างเห็นได้ชัดและยังสอดคล้องกับค่า  $E_0$  ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 4.10 และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของการเพิ่มปริมาณเพกตินกับค่า  $E_0$  หรือความเป็นอีลาสติก ดังตารางที่ 4.11 พบว่าการเพิ่มปริมาณเพกตินมีความสัมพันธ์อย่างมากกับการเพิ่มสมบัติอีลาสติกของเจลเพกตินโดยคิดเป็นร้อยละ 97 ดังนั้นการเพิ่มเพกตินเป็นการเพิ่มสมบัติอีลาสติก

ตารางที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของปริมาณเพกตินและค่าตัวแปรทางวิสโคอีลาสติกเจลเพกติน

y	สมการ regression	ค่า $R^2$
$E_0$ (Pa)	$E_0 = 2.12 \times 10^4 * \text{เพกติน} + 2.33 \times 10^4$	$R^2 = 0.97$
$\eta_0$ (P)	$\eta_0 = -2.00 \times 10^7 * \text{เพกติน} + 7.00 \times 10^7$	$R^2 = 0.64$
$J_{PD}$ ( $\text{Pa}^{-1}$ )	$J_{PD} = -9.00 \times 10^{-7} * \text{เพกติน} + 9.00 \times 10^{-5}$	$R^2 = 0.97$

เมื่อพิจารณาความหนืดพบว่าความหนืดของเจลเพกตินไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในส่วนของการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรของเจลเพกตินทั้ง 3 หน่วยการทดลอง พบว่าค่า  $J_{PD}$

ของเจลที่มีเพกตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนักมีค่าสูงที่สุด และค่า  $J_{PD}$  ของเจลเพกตินมีค่าลดลงเมื่อปริมาณเพกตินเพิ่มเป็นร้อยละ 6 และ 9 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 4.10 ซึ่งหมายถึงเจลที่มีเพกตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีสมบัติของแข็งน้อยที่สุดหรืออีกนัยหนึ่งคือมีการไหลมากที่สุดนั่นเอง ดังนั้นเจลที่มีเพกตินร้อยละ 6 และ 9 โดยน้ำหนัก จึงมีการไหลที่ลดลงและมีความแข็งเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่า  $E_0$  ที่เพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของการเพิ่มปริมาณเพกตินต่อการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร จากตารางที่ 4.11 พบว่าการเพิ่มเพกตินมีแนวโน้มในการลดค่า  $J_{PD}$  ของเจลเพกตินและมีความสัมพันธ์กันอย่างมากระหว่างร้อยละ 97 ดังนั้นการเพิ่มเพกตินเป็นการลดการไหลของผลิตภัณฑ์นั่นเอง และยังสอดคล้องกับงานวิจัยที่ว่าเจลของสารจำพวกสารประกอบเพกตินนั้นจะแสดงสมบัติของแข็งมากกว่าสมบัติของของเหลว (Alvarez *et al.*, 1998)

จากการทดสอบ creep ของเจลเพกตินสามารถใช้เปรียบเทียบและยืนยันผลการทดลองของมะม่วงกวนได้ โดยแนวโน้มของค่า  $E_0$  และ  $J_{PD}$  ของมะม่วงแก้วกวนและแรดกวนเป็นไปในแนวทางเดียวกับเจลของเพกติน ซึ่งช่วยสนับสนุนว่าการเพิ่มเพกตินมีผลต่อค่าตัวแปรของสมบัติวิสโคอิลาสติกของมะม่วงแก้วกวนและแรดกวน การทดลองโดยใช้เจลของเพกตินนี้เห็นผลการทดลองได้ชัดเจนมากซึ่งเกิดจากการใช้น้ำตาลกับเพกตินในการเกิดเจลซึ่งมีผลกระทบจากองค์ประกอบภายในน้อย แต่จากตัวอย่างที่เป็นมะม่วงซึ่งมีองค์ประกอบที่เป็น complex จึงทำให้เกิดความแปรปรวนของค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกของแบบจำลองนี้ได้

#### 4.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติก

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในตอนต้นที่ 2 เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบที่น่าจะมีผลต่อสมบัติทางวิสโคอิลาสติกแล้วพบว่าจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยรวมของมะม่วงกวนทั้ง 5 สายพันธุ์แล้ว พบว่ามะม่วงกวนทุกสายพันธุ์มีปริมาณกรดที่ไตเตรตได้ทั้งหมดเทียบกับกรดมาลิกมากขึ้น และมีค่า pH ที่ลดลง แต่ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการเกิดเจลเป็น 3.0 – 3.2 (พวงทองและคณะ, 2541) ดังนั้นปริมาณกรดในการทดลองนี้จึงไม่น่าจะมีผลต่อค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกของมะม่วงกวนจึงไม่ได้พิจารณาความสัมพันธ์ ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดในมะม่วงกวนเกือบทุกสายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) จากค่าการวิเคราะห์ทางเคมีดังตารางที่ 4.4 ดังนั้นในการทดลองนี้จึงไม่ได้พิจารณาปริมาณน้ำตาลน่าจะมีผลต่อสมบัติทางวิสโคอิลาสติกของมะม่วงกวน

จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณความชื้นมีแนวโน้มที่ลดลง แต่ในมะม่วงกวนที่เติมเพกตินร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนักเกือบทุกสายพันธุ์จะมีปริมาณความชื้นที่สูงกว่าชุดควบคุมซึ่งน่าจะต่ำกว่า ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศของช่วงที่ทำการกวนน่าจะมีผลต่อปริมาณความชื้นของตัวอย่างมะม่วงกวนที่เกิดความแปรปรวนนี้ เนื่องจากในเดือนมกราคมที่ทำการทดลองความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีความแตกต่างกันมากซึ่งอยู่ในช่วงร้อยละ 76 – 93 (ภาคผนวก จ) ดังนั้นการแปรปรวนของปริมาณความชื้นน่าจะ มีผลต่อสมบัติทางวิสโคอิลาสติกของมะม่วงกวนด้วย ส่วนปริมาณน้ำอิสระน่าจะแปรผันตามปริมาณความชื้น สมการความสัมพันธ์และค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับตัวแปรทางสมบัติวิสโคอิลาสติกของมะม่วงกวนทั้ง 5 สายพันธุ์ มีผลตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (MC) กับค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติก

มะม่วง	y	สมการ regression	ค่า R <sup>2</sup>
แก้ว	E <sub>0</sub> (Pa)	$E_0 = -4.70 \times 10^4 * MC + 2.20 \times 10^6$	R <sup>2</sup> = 0.21
	η <sub>0</sub> (P)	$\eta_0 = 3.66 \times 10^7 * MC - 3.45 \times 10^8$	R <sup>2</sup> = 0.62
	J <sub>PD</sub> (Pa <sup>-1</sup> )	$J_{PD} = 4.22 \times 10^{-7} * MC - 6.43 \times 10^{-6}$	R <sup>2</sup> = 0.39
ตลับนาถ	E <sub>0</sub> (Pa)	$E_0 = -5.60 \times 10^4 * MC + 2.75 \times 10^6$	R <sup>2</sup> = 0.76
	η <sub>0</sub> (P)	$\eta_0 = -5.11 \times 10^7 * MC + 3.07 \times 10^9$	R <sup>2</sup> = 0.05
	J <sub>PD</sub> (Pa <sup>-1</sup> )	$J_{PD} = 4.44 \times 10^{-7} * MC - 9.14 \times 10^{-6}$	R <sup>2</sup> = 0.34
พิมเสนมัน	E <sub>0</sub> (Pa)	$E_0 = -2.05 \times 10^5 * MC + 1.24 \times 10^6$	R <sup>2</sup> = 0.29
	η <sub>0</sub> (P)	$\eta_0 = -8.50 \times 10^7 * MC + 5.03 \times 10^9$	R <sup>2</sup> = 0.40
	J <sub>PD</sub> (Pa <sup>-1</sup> )	$J_{PD} = 3.31 \times 10^{-8} * MC + 4.22 \times 10^{-6}$	R <sup>2</sup> = 0.00
ฟ้าลั่น	E <sub>0</sub> (Pa)	$E_0 = 2.12 \times 10^4 * MC - 6.38 \times 10^6$	R <sup>2</sup> = 0.28
	η <sub>0</sub> (P)	$\eta_0 = -3.80 \times 10^7 * MC + 2.32 \times 10^9$	R <sup>2</sup> = 0.10
	J <sub>PD</sub> (Pa <sup>-1</sup> )	$J_{PD} = 3.76 \times 10^{-7} * MC + 3.16 \times 10^{-6}$	R <sup>2</sup> = 0.30
แรด	E <sub>0</sub> (Pa)	$E_0 = -2.36 \times 10^4 * MC + 1.16 \times 10^6$	R <sup>2</sup> = 0.13
	η <sub>0</sub> (P)	$\eta_0 = 6.43 \times 10^7 * MC - 1.21 \times 10^9$	R <sup>2</sup> = 0.32
	J <sub>PD</sub> (Pa <sup>-1</sup> )	$J_{PD} = -2.34 \times 10^{-7} * MC + 1.75 \times 10^{-5}$	R <sup>2</sup> = 0.15

จากตารางที่ 4.12 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกของมะม่วงกวนทั้งหมด 5 สายพันธุ์โดยมีความสัมพันธ์เป็นสมการ regression แบบเส้นตรง พบว่าในมะม่วงแก้วกวนการเพิ่มปริมาณความชื้นมีผลทำให้ค่า  $E_0$  มีแนวโน้มลดลง ค่า  $\eta_0$  และ  $J_{PD}$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงการลดลงของสมบัติอิลาสติกและการเพิ่มการไหลของมะม่วงแก้วกวนมากขึ้น ในทางกลับกัน คือ ถ้าลดปริมาณความชื้นให้น้อยลงจะมีผลทำให้สมบัติอิลาสติกเพิ่มขึ้นและการไหลลดลงซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของมะม่วงแก้วกวนที่ปริมาณความชื้นลดลงจากชุดควบคุมไปเป็นมะม่วงกวนที่เติมเพกตินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ซึ่งเห็นได้ว่ามีผลทำให้สมบัติอิลาสติกมากขึ้นด้วยจากผลการวิเคราะห์ที่ผ่านมา ดังนั้นการปริมาณความชื้นมีผลต่อค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกของมะม่วงแก้วกวน

ส่วนมะม่วงตลับนากวนมีแนวโน้มของความสัมพันธ์นี้เหมือนมะม่วงพิมเสนมัน คือการเพิ่มปริมาณความชื้นมีผลทำให้ค่า  $E_0$  และค่า  $\eta_0$  ลดลง แต่มีค่า  $J_{PD}$  เพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงการเพิ่มความชื้นทำให้ความเป็นอิลาสติกลดลงและค่าความหนืดลดลงและมีการไหลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งน่าจะเป็นแนวโน้มที่ถูกต้องเนื่องจากความสอดคล้องกันของค่า  $E_0$ ,  $\eta_0$  และ  $J_{PD}$  เพราะการลดลงของสมบัติของแข็งน่าจะเป็นการเพิ่มขึ้นของสมบัติของเหลวในเจล ดังเห็นได้จากผลการทดลองในเจลเพกตินเมื่อพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์แล้วพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์กันน้อยมากๆ แต่จะเห็นได้ชัดในความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกับค่า  $E_0$  ของมะม่วงตลับนากวนซึ่งคิดเป็นร้อยละ 76 ดังนั้นจึงสรุปว่าปริมาณความชื้นมีผลต่อตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกของมะม่วงตลับนากวนและพิมเสนมันกวน

ส่วนในมะม่วงฟาลันกวนการเพิ่มปริมาณความชื้นมีผลทำให้ค่า  $E_0$  และ  $J_{PD}$  เพิ่มขึ้น ส่วน ค่า  $\eta_0$  มีแนวโน้มที่ลดลง ซึ่งความสัมพันธ์นี้ไม่น่าจะสอดคล้องกันเนื่องจากเมื่อสมบัติอิลาสติกเพิ่มขึ้นสมบัติการไหลน่าจะลดลงโดยพิจารณาจากผลการวิเคราะห์จากเจลเพกตินในตอน ที่ 3 แต่จากความสัมพันธ์ของมะม่วงฟาลันซึ่งเพิ่มทั้งสองค่าและค่าสหสัมพันธ์มีค่าน้อย ดังนั้นปริมาณความชื้นมีผลน้อยมากกับค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกของมะม่วงฟาลันกวน ส่วนมะม่วงแรดกวน จากตารางที่ 4.12 พบว่าการเพิ่มปริมาณความชื้นมีผลให้ค่า  $E_0$  และ  $J_{PD}$  ลดลง และมีผลให้ค่า  $\eta_0$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นซึ่งวิเคราะห์ได้เหมือนมะม่วงฟาลันกวน และค่าสหสัมพันธ์ที่ได้มีค่าน้อยมาก ดังนั้นปริมาณความชื้นมีผลน้อยมากกับค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกของมะม่วงแรดกวน

สรุปโดยรวมแล้วปริมาณความชื้นมีผลต่อค่าตัวแปรทางวิสโคอิลาสติกของตัวอย่างมะม่วงกวนทั้ง 5 สายพันธุ์ คือ การเพิ่มปริมาณความชื้นมีผลให้ค่า  $E_0$  และ  $\eta_0$  ลดลง แต่มีค่า  $J_{pd}$  เพิ่มขึ้น หมายถึง เมื่อความชื้นเพิ่มทำให้ความเป็นอิลาสติกและความหนืดลดลงซึ่งสอดคล้องกับการไหลหรือการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรที่เพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น เห็นได้จากมะม่วงแก้วกวน พิมเสนมันกวน และตลับนากกวนซึ่งเห็นได้ชัดมากในมะม่วงตลับนากกวนที่ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อค่า  $E_0$  หรือความเป็นอิลาสติกที่ลดลง แต่ส่วนใหญ่จะมีความสัมพันธ์กันน้อยอาจเกิดเนื่องจากการหาความสัมพันธ์เป็นแบบสมการเส้นตรง ดังนั้นการเฉลี่ยของข้อมูลจึงมีแนวโน้มที่ทำให้เห็นได้ไม่ชัดเจน และอาจเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของปริมาณความชื้นของตัวอย่างมะม่วงกวนจึงทำให้ค่าสหสัมพันธ์ที่ได้มีค่าน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
 Copyright © by Chiang Mai University  
 All rights reserved