บทที่ 3

ผลการทดลอง

3.1 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของมะเขือเทศเข้มข้น

มะเขือเทศเข้มข้นที่บรรจุกระป๋อง tin plate ขนาด 108 ออนซ์ จากบริษัท ดอยคำผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด โดยใช้มะเขือเทศพันธุ์ TW3, TW4 และพันธุ์อื่นๆที่ผ่านการตรวจสอบแล้ว นำมาระเหยน้ำภายใต้สภาวะสุญญากาศ ออกจนเหนียวข้นมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 28-30 องศาบริกซ์ แล้วบรรจุลงกระป๋อง มีน้ำหนักสุทธิ ไม่ต่ำกว่า 3,200 กรัม นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพตามข้อ 2.2.1 แสดงผลดังตารางที่ 3.1

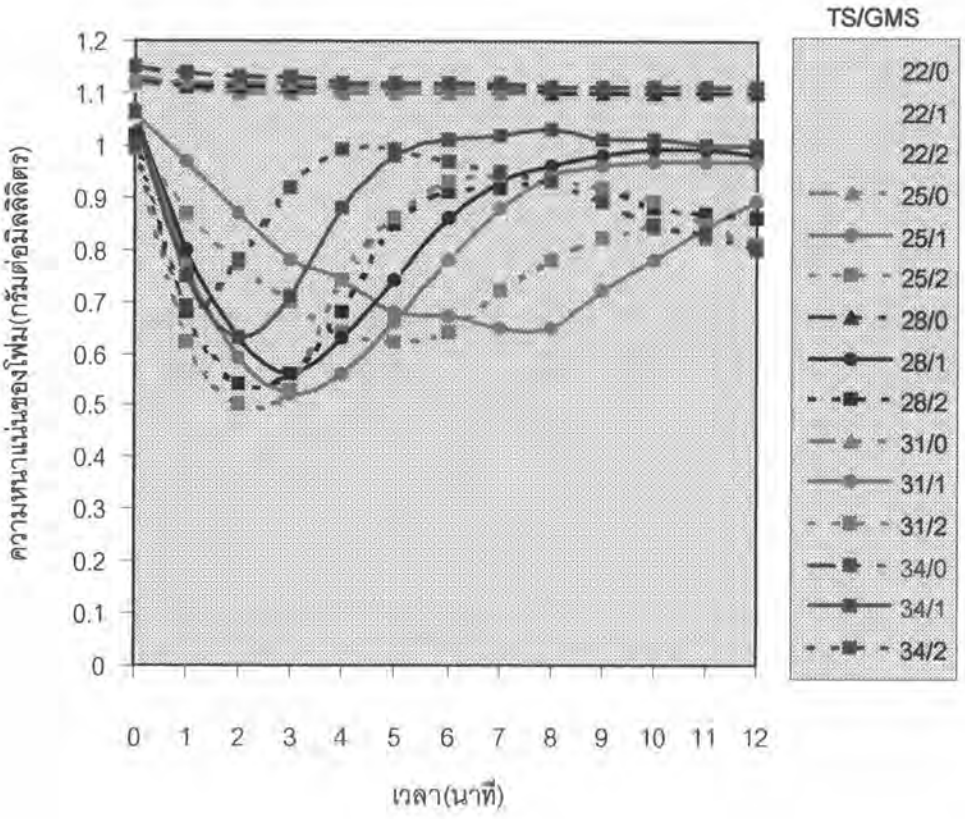
ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของมะเขือเทศเข้มข้น

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย $\pm$ เบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณความชื้น (% (โดยน้ำหนักเปียก))	70.48 $\pm$ 0.36
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	28.17 $\pm$ 0.29
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (% (โดยน้ำหนักเปียก))	29.52 $\pm$ 0.36
ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริก (% (โดยน้ำหนักแห้ง))	7.28 $\pm$ 0.04
ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	85.65 $\pm$ 1.47
ค่าสี	
L	37.50 $\pm$ 0.14
a	14.86 $\pm$ 0.19
b	11.19 $\pm$ 0.10
ความหนืด (พอยซ์) (มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 13 องศาบริกซ์)	131.37 $\pm$ 3.67

ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

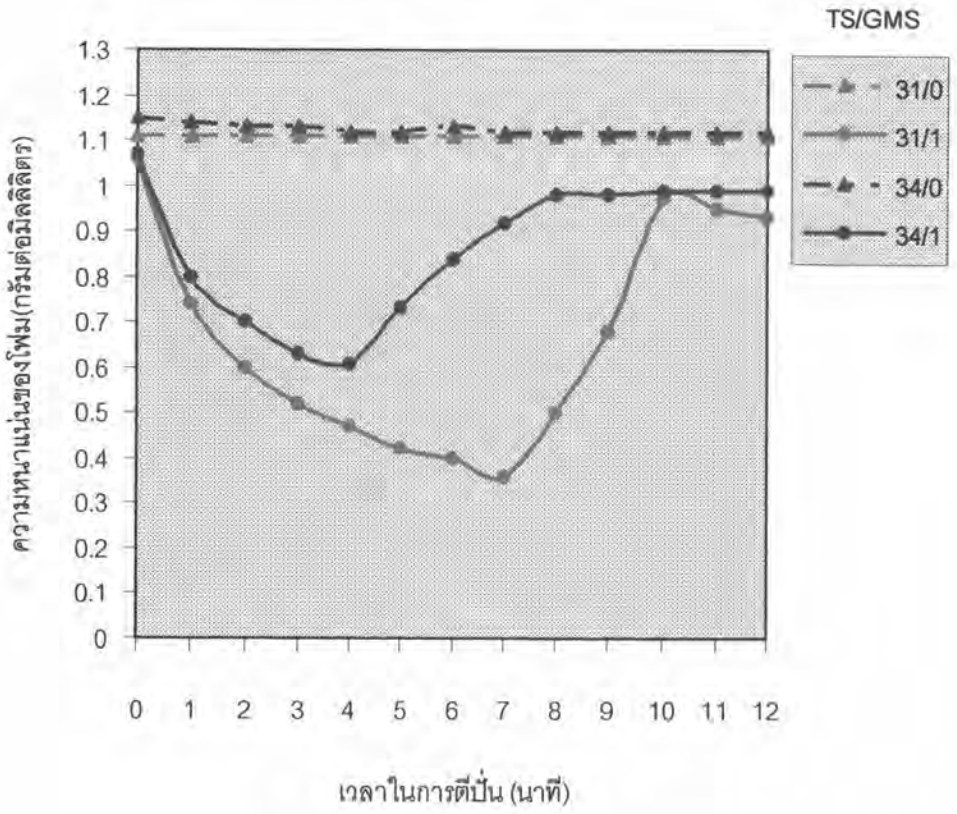
3.2 สภาวะการเกิดโฟมที่คงตัวในมะเขือเทศเข้มข้น

นำมะเขือเทศเข้มข้น ที่ผ่านการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพจากข้อ 3.1 แล้ว มาหาสภาวะการเกิดโฟมที่คงตัวตามข้อที่ 2.2.2 โดยแปรปริมาณของแข็งทั้งหมดในมะเขือเทศเข้มข้น 5 ระดับ คือ 22, 25, 28, 31 และ 34%(โดยน้ำหนักเปียก) แปรปริมาณ GMS 3 ระดับ คือ 0, 1 และ 2% (โดยน้ำหนักแห้ง) เวลาในการตีปั่นให้เกิดโฟม ตั้งแต่ 0 ถึง 12 นาที แล้วนำมาตรวจวัดความหนาแน่นของโฟม และอัตราการยุบตัวของโฟม โดยในขั้นแรกเป็นการวัดความหนาแน่นของโฟมที่มีการหยุดวัดทุก ๆ 1 นาที จนถึง 12 นาที แสดงผลดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของโฟมมะเขือเทศเข้มข้น กับเวลาในการตีปั่น ซึ่งแปรปริมาณของแข็งทั้งหมด(TS)ในมะเขือเทศเข้มข้น และปริมาณ GMS

ต่อมา มีการวัดความหนาแน่นของโฟมและอัตราการยุบตัวของโฟมต่อเนื่องกันตลอดการตีปั่นจนถึง 12 นาที เพื่อนำมาปฏิบัติใช้ได้จริง โดยเลือกศึกษาเฉพาะมะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31 และ 34 %(โดยน้ำหนักเปียก) มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) และไม่มีการเติม GMS แสดงผลดังรูปที่ 3.2 และตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของโฟมมะเขือเทศเข้มข้น กับเวลาในการตีปั่น ซึ่งแปรปริมาณของแข็งทั้งหมด(TS)ในมะเขือเทศเข้มข้น และปริมาณ GMS (ตีปั่นต่อเนื่อง)

ตารางที่ 3.2 ความหนาแน่นและอัตราการยุบตัวของโฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31 และ 34 %(โดยน้ำหนักเปียก) ที่เวลาในการตีปั่นตั้งแต่ 0 ถึง 12 นาที

เวลาตีปั่น (นาที)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด 31%(โดยน้ำหนักเปียก)				ปริมาณของแข็งทั้งหมด 34%(โดยน้ำหนักเปียก)			
	GMS 0%(โดยน้ำหนักแห้ง)		GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง)		GMS 0%(โดยน้ำหนักแห้ง)		GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง)	
	FD[3]	CR[4]	FD[3]	CR[4]	FD[3]	CR[4]	FD[3]	CR[4]
0	1.11	0.66	1.06	0.75	1.15	0.15	1.07	0.21
1	1.11	0.69	0.74	1.7	1.14	0.14	0.8	0.64
2	1.11	0.64	0.6	2.91	1.13	0.14	0.7	0.75
3	1.11	0.62	0.52	2.85	1.13	0.13	0.63	0.88
4	1.11	0.62	0.47	2.9	1.12	0.13	0.61	0.96
5	1.11	0.66	0.42	3.02	1.12	0.13	0.73	0.8
6	1.11	0.66	0.4	3.11	1.13	0.13	0.84	0.71
7	1.11	0.65	0.36	3.31	1.12	0.13	0.92	0.25
8	1.11	0.63	0.5	2.9	1.12	0.14	0.98	0.22
9	1.11	0.65	0.68	2.5	0.12	0.14	0.98	0.2
10	1.11	0.63	0.97	0.95	0.12	0.14	0.99	0.21
11	1.11	0.63	0.95	0.96	0.12	0.14	0.99	0.22
12	1.11	0.63	0.93	0.96	0.12	0.14	0.99	0.22

[3]FD คือ ความหนาแน่นของโฟม (foam density) (กรัมต่อมิลลิลิตร)

[4]CR คือ อัตราการยุบตัวของโฟม (foam collapse rate) (%(โดยปริมาตรโฟมต่อชั่วโมง))

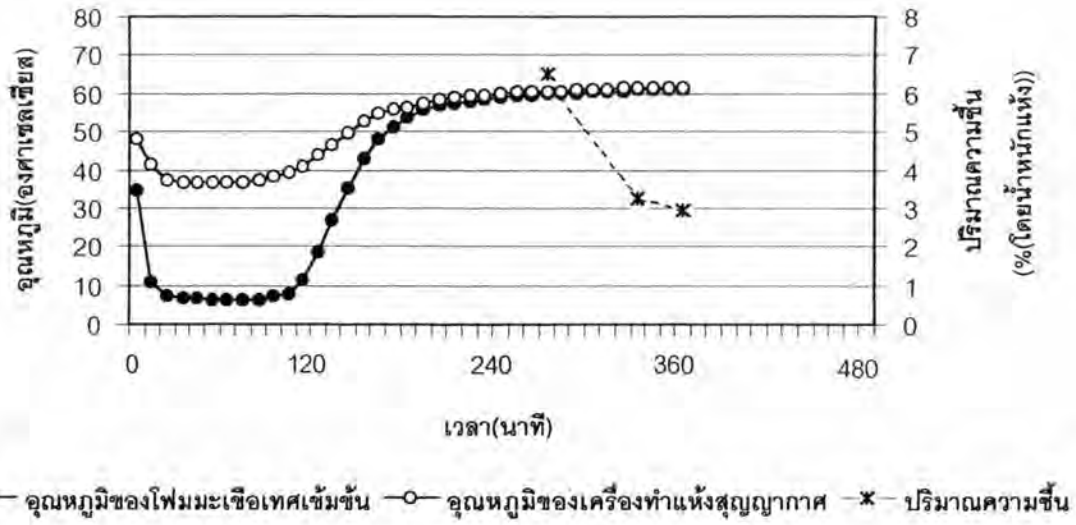
จากผลการทดลองพบว่า มะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31%(โดยน้ำหนักเปียก) มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) เวลาในการตีปั่นโฟม 7 นาที ทำให้มีความหนาแน่นของโฟม 0.36 กรัมต่อมิลลิลิตร และมีอัตราการยุบตัวของโฟม 3.31 %(โดยปริมาตรของโฟมต่อชั่วโมง)

3.3 สภาวะการทำแห้งสุญญากาศ

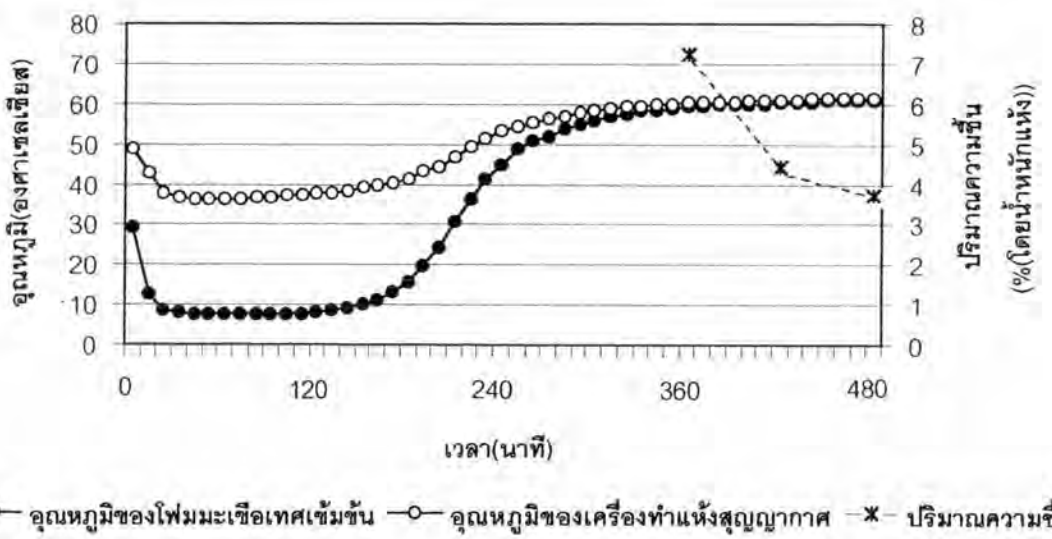
นำโฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่เลือกสภาวะการเกิดโฟมที่คงตัวจาก ข้อ 3.1 คือ มะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31% (โดยน้ำหนักเปียก) มีการเติม GMS 1 %(โดยน้ำหนักแห้ง) และใช้เวลาในการตีปั่น 7 นาที มาหาสภาวะในการทำแห้งสุญญากาศ โดยแปรอุณหภูมิทำแห้ง 2 ระดับ คือ 65 และ 75 องศาเซลเซียส แปรความหนาชั้นโฟม 2 ระดับ คือ 3 และ 5 มิลลิเมตร ขนาด 12 เซนติเมตร x 12 เซนติเมตร โดยในการทดลอง มีการเตรียมโฟมมะเขือเทศเข้มข้น ที่ไม่มีการเติม GMS ทำแห้งสุญญากาศโดยแปรสภาวะดังกล่าวข้างต้นรวมด้วย เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ (control) นำมาหาเวลาในการทำแห้ง และหาระยะการยุบตัวของโฟมมะเขือเทศเข้มข้นหลังจากทำแห้ง แล้วนำมะเขือเทศผงที่ได้ มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้านปริมาณวิตามินซี สมบัติทางกายภาพด้าน ค่าสีในรูปผงและหลังคืนตัว ความหนืดหลังคืนตัวและค่าการกระจายตัว รวมถึงประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะเขือเทศผงในรูปผงและหลังคืนตัว แสดงผลดังตารางที่ 3.3-3.35 และรูปที่ 3.3-3.10 ส่วนลักษณะของมะเขือเทศผงที่แปรปริมาณ GMS อุณหภูมิทำแห้ง และความหนาชั้นโฟม แสดงดังรูปที่ ฉ.1

3.3.1 เวลาที่เหมาะสมในการทำแห้ง

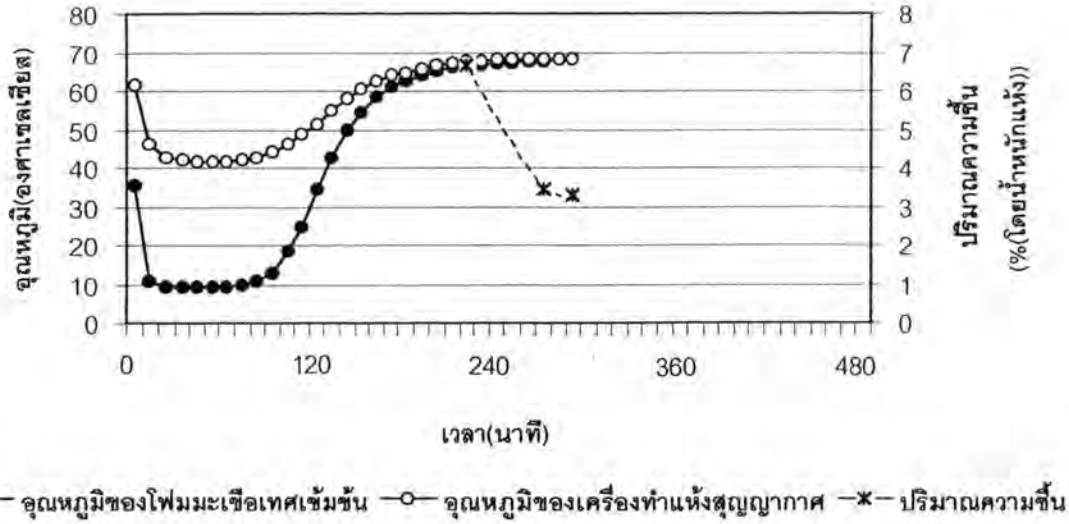
นำโฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่เลือกสภาวะการเกิดโฟมที่คงตัวจาก ข้อ 3.1 มาหาสภาวะในการทำแห้งสุญญากาศ โดยแปรปริมาณ GMS อุณหภูมิทำแห้ง และความหนาชั้นโฟม ดังกล่าวข้างต้น มาหา เวลาที่เหมาะสมในการทำแห้ง(drying time) ตามข้อ 2.2.3 โดยวัดอุณหภูมิของโฟมมะเขือเทศเข้มข้นและอุณหภูมิของเครื่องทำแห้งสุญญากาศทุก ๆ 10 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิทั้งสองใกล้เคียงกัน แล้วนำโฟมมะเขือเทศเข้มข้นออกมาหาปริมาณความชื้น จนมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 5% (โดยน้ำหนักแห้ง) แสดงผลดังรูปที่ 3.3–3.10 และตารางที่ 3.3-3.4



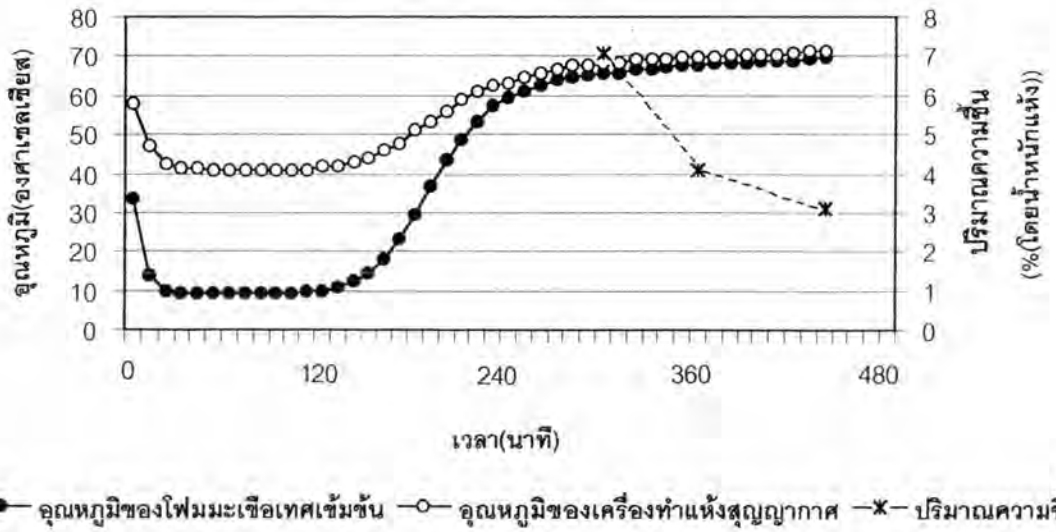
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ปริมาณความชื้น และเวลาในการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้น ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31%(โดยน้ำหนักเปียก) ที่ไม่มีการเติม GMS อุณหภูมิทำแห้ง 65 องศาเซลเซียส และมีความหนาชั้นโฟม 3 มิลลิเมตร



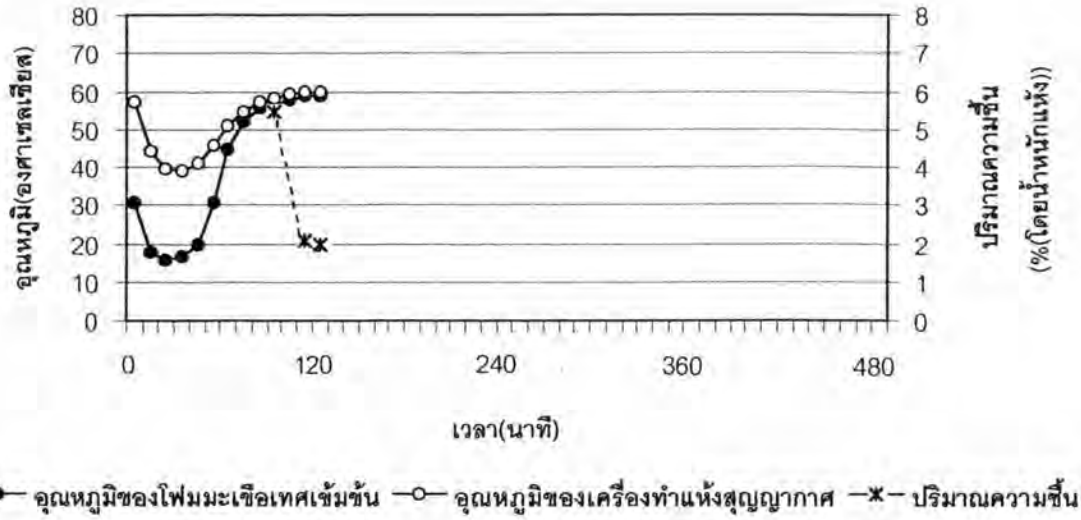
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ปริมาณความชื้น และเวลาในการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้น ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31%(โดยน้ำหนักเปียก) ที่ไม่มีการเติม GMS อุณหภูมิทำแห้ง 65 องศาเซลเซียส และมีความหนาชั้นโฟม 5 มิลลิเมตร



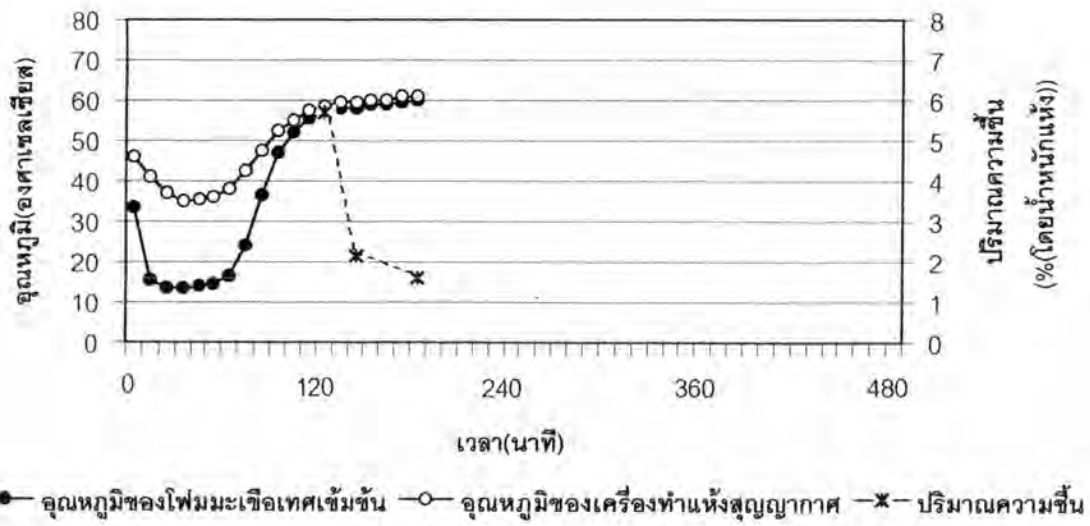
รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ปริมาณความชื้น และเวลาในการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้น ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31%(โดยน้ำหนักเปียก) ที่ไม่มีการเติม GMS อุณหภูมิทำแห้ง 75 องศาเซลเซียส และมีความหนาชั้นโฟม 3 มิลลิเมตร



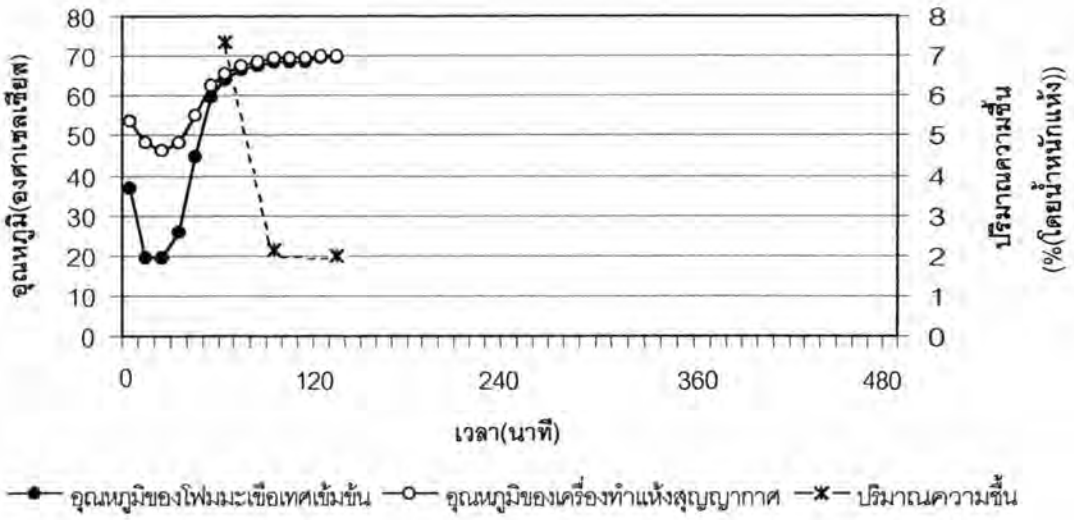
รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ปริมาณความชื้น และเวลาในการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้น ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31%(โดยน้ำหนักเปียก) ที่ไม่มีการเติม GMS อุณหภูมิทำแห้ง 75 องศาเซลเซียส และมีความหนาชั้นโฟม 5 มิลลิเมตร



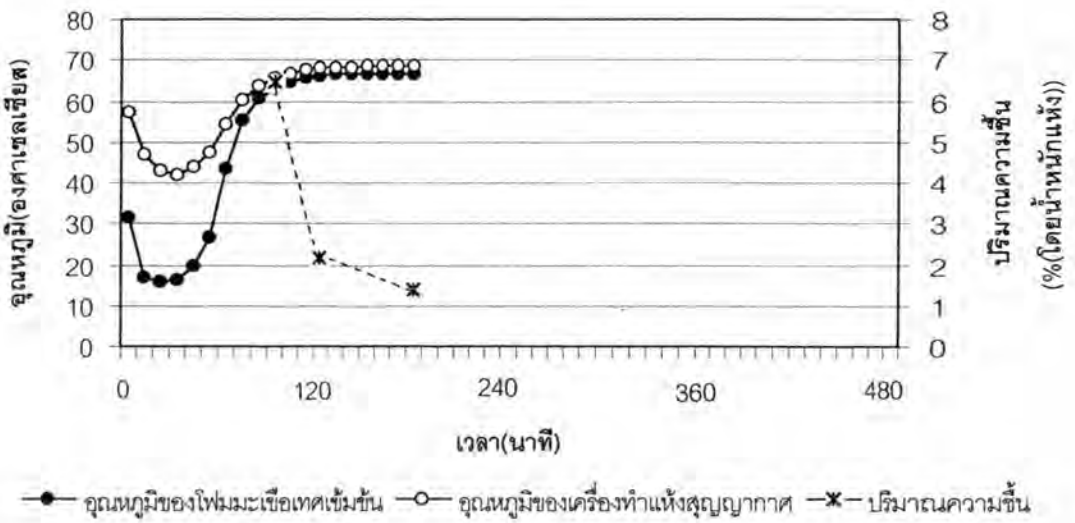
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ปริมาณความชื้นและเวลาในการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้น ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31%(โดยน้ำหนักเปียก)ที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) อุณหภูมิทำแห้ง 65 องศาเซลเซียส และมีความหนาชั้นโฟม 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ปริมาณความชื้นและเวลาในการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้น ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31%(โดยน้ำหนักเปียก)ที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) อุณหภูมิทำแห้ง 65 องศาเซลเซียส และมีความหนาชั้นโฟม 5 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ปริมาณความชื้นและเวลาในการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้น ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31%(โดยน้ำหนักเปียก)ที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) อุณหภูมิทำแห้ง 75 องศาเซลเซียส และมีความหนาชั้นโฟม 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ปริมาณความชื้นและเวลาในการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้น ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31%(โดยน้ำหนักเปียก)ที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) อุณหภูมิทำแห้ง 75 องศาเซลเซียส และมีความหนาชั้นโฟม 5 มิลลิเมตร

เมื่ออุณหภูมิของโฟมมะเขือเทศเข้มข้นและอุณหภูมิของเครื่องทำแห้งสุญญากาศใกล้เคียงกันแล้ว นำโฟมมะเขือเทศเข้มข้นออกมาหาปริมาณความชื้น จนมีความชื้นไม่เกิน 5% (โดยน้ำหนักแห้ง) แสดงผลดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ปริมาณความชื้นของโฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่ช่วงเวลาในการทำแห้งต่างๆ

เวลาในการทำแห้ง (นาที)	ปริมาณความชื้น (%(โดยน้ำหนักแห้))							
	GMS 0%(โดยน้ำหนักแห้ง)				GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง)			
	65 °ซ		75 °ซ		65 °ซ		75 °ซ	
	3 มม	5 มม	3 มม	5 มม	3 มม	5 มม	3 มม	5 มม
60							7.37	
90					5.44		2.13	6.48
110					2.08			
120					1.95	5.72		2.19
130							1.97	
140						2.17		
180						1.59		1.37
220			6.68					
270	6.51		3.42					
290			3.28					
300				7.08				
330	3.23							
360	2.95	7.25		4.1				
420		4.44						
440				3.12				
480		3.71						

พบว่าโฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 5%(โดยน้ำหนักแห้ง) และที่มีปริมาณความชื้น 5%(โดยน้ำหนักแห้ง) จะใช้เวลาในการทำแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 3.4 ซึ่งเวลาในการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณความชื้น 5%(โดยน้ำหนักแห้ง) ได้จากการคำนวณ โดย Interpolation จากกราฟในรูปที่ 3.3-3.10 และตารางที่ 3.3 (รายละเอียดวิธีการคำนวณในภาคผนวก ง.3)

ตารางที่ 3.4 เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง

ปริมาณGMS %(โดยน้ำหนักแห้ง)	อุณหภูมิทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	ความหนาชั้นโฟม (มิลลิเมตร)	ปริมาณความชื้น %(โดยน้ำหนักแห้ง)	เวลา[5] (นาที)	ปริมาณความชื้น %(โดยน้ำหนักแห้ง)	เวลา[6] (นาที)
0	65	3	3.47	330	5.00	298
		5	4.96	420	5.00	408
	75	3	3.6	270	5.00	246
		5	4.5	360	5.00	342
1	65	3	2.2	110	5.00	93
		5	2.28	140	5.00	124
	75	3	2.23	90	5.00	74
		5	2.29	120	5.00	100

[5] เวลาในการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้น ที่มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 5% (โดยน้ำหนักแห้ง) ที่ได้จากการทดลอง

[6] เวลาในการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้น ที่มีปริมาณความชื้น 5% (โดยน้ำหนักแห้ง) จากการคำนวณ โดย Interpolation

พบว่าโฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) ใช้เวลาทำแห้งสั้นกว่า โฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่ไม่มีการเติม GMS โดยที่ อุณหภูมิทำแห้ง 75 องศาเซลเซียส ความหนาชั้นโฟม 3 มิลลิเมตร ใช้เวลาทำแห้งสั้นที่สุด ในการทดลองครั้งนี้ ใช้เวลาในการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 5 %(โดยน้ำหนักแห้ง) ที่ได้จากการทดลอง ในการทดลองต่อไป ซึ่งเวลาในการทำแห้งที่แท้จริง ควรเป็นเวลาที่ทำให้โฟมมะเขือเทศเข้มข้นมีปริมาณความชื้น 5 %(โดยน้ำหนักแห้ง) จึงจะถูกต้อง ทำให้เวลาทำแห้งที่ใช้ในการทดลองต่อไปนั้น คลาดเคลื่อนประมาณ 30 นาที แต่จะพบว่า ผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น มีแนวโน้มคล้ายกัน

3.3.2 ระยะการยุบตัวของโฟมมะเขือเทศเข้มข้นหลังจากทำแห้ง

ภายหลังการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่เวลาต่างๆ ตามตารางที่ 3.4 แล้ว หาระยะการยุบตัว แสดงผลดังตารางที่ 3.5-3.8

ตารางที่ 3.5 ระยะการยุบตัวของโฟมมะเขือเทศเข้มข้นหลังจากทำแห้ง

ปริมาณ GMS	อุณหภูมิทำแห้ง	ความหนาชั้นโฟม (มิลลิเมตร)		ระยะการยุบตัว
(%(โดยน้ำหนักแห้ง))	(องศาเซลเซียส)	ก่อนทำแห้ง	หลังทำแห้ง	(มิลลิเมตร)
0	65	3	2.20±0.2	0.80±0.2
		5	3.30±0.2	1.70±0.2
	75	3	1.70±0.1	1.30±0.1
		5	3.00±0.1	2.00±0.1
1	65	3	1.10±0.1	1.90±0.1
		5	1.20±0.1	3.80±0.1
	75	3	1.10±0.1	1.90±0.1
		5	1.20±0.1	3.80±0.1

ตารางที่ 3.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนระยะการยุบตัวของโฟมมะเขือเทศเข้มข้นหลังจากทำแห้ง โดยแปรปริมาณ GMS อุณหภูมิทำแห้ง และความหนาชั้นโฟม

SOV	d.f.	MS
ปริมาณ GMS (A)	1	12.04*
อุณหภูมิทำแห้ง (B)	1	0.28*
ความหนาชั้นโฟม(C)	1	11.21*
AB	1	0.282*
AC	1	1.927*
BC	1	6.67E-03
ABC	1	2.67E-02
error	16	1.17E-02

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Symmetric Factorial Design ขนาด 2x2x2 พบว่า อิทธิพลปริมาณ GMS อิทธิพลอุณหภูมิทำแห้ง อิทธิพลความหนาชั้นโฟม อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ GMS กับอุณหภูมิทำแห้ง และอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ GMS กับความหนาชั้นโฟม มีผลต่อระยะการยุบตัวของโฟมมะเขือเทศเข้มข้นหลังจากทำแห้ง อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้น ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย จึงพิจารณาเฉพาะอิทธิพลร่วม เท่านั้น ผลการวิเคราะห์แสดงดัง ตารางที่ 3.7-3.8

ตารางที่ 3.7 ระยะการยุบตัวของโฟมมะเขือเทศเข้มข้นหลังจากทำแห้ง เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ GMS กับอุณหภูมิทำแห้ง

ปริมาณ GMS (%(โดยน้ำหนักแห้ง))	อุณหภูมิทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิเมตร)
0	65	$1.22^{b} \pm 0.51$
	75	$165^{b} \pm 0.39$
1	65	$2.85^{a} \pm 1.04$
	75	$2.85^{a} \pm 1.08$

a, b ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า โฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่มีการเติม GMS 1% (โดยน้ำหนักแห้ง) มีระยะการยุบตัวมากกว่า โฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่ไม่มีการเติม GMS โดยที่ โฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่ไม่มีการเติม GMS การเพิ่มอุณหภูมิทำแห้งจาก 65 เป็น 75 องศาเซลเซียส ทำให้ระยะการยุบตัวเพิ่มขึ้น ในขณะที่โฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) การเพิ่มอุณหภูมิไม่มีผลต่อระยะการยุบตัว อย่างมีนัยสำคัญ $p \leq 0.05$)

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่า โฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) และมีอุณหภูมิทำแห้ง 65 และ 75 องศาเซลเซียส มีระยะการยุบตัวมากสุด อย่างมีนัยสำคัญ $p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3.8 ระยะการยุบตัวของโฟมมะเขือเทศเข้มข้นหลังจากทำแห้ง เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ GMS กับความหนาชั้นโฟม

ปริมาณ GMS (%(โดยน้ำหนักแห้ง))	ความหนาชั้นโฟม (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิเมตร)
0	3	$1.03^{c}\pm0.31$
	5	$1.83^{b}\pm0.22$
1	3	$1.88^{b}\pm0.08$
	5	$3.82^{a}\pm0.08$

a, b, c ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p\leq0.05$)

พบว่า โฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่ไม่มีการเติม GMS การเพิ่มความหนาชั้นโฟม จาก 3 เป็น 5 มิลลิเมตร ทำให้ระยะการยุบตัวเพิ่มขึ้นน้อย ในขณะโฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) การเพิ่มความหนาของชั้นโฟม ทำให้ระยะการยุบตัวเพิ่มขึ้นมากอย่างมีนัยสำคัญ($p\leq0.05$)

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่า โฟมมะเขือเทศเข้มข้นที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) และมีความหนาชั้นโฟม 5 มิลลิเมตร มีระยะการยุบตัวมากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

3.3.3 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของมะเขือเทศผง

ภายหลังการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้น นำมาบดและร่อนให้เป็นผง ตามข้อ 2.2.3 แล้วนำมา วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ด้านปริมาณวิตามินซี แสดงผลดังตารางที่ 3.9-3.13

ตารางที่ 3.9 ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศผง

ปริมาณ GMS (%(โดยน้ำหนักแห้ง))	อุณหภูมิทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	ความหนาชั้นโฟม (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
0	65	3	40.96±1.04
		5	39.25±1.24
	75	3	36.16±0.31
		5	33.17±1.16
1	65	3	36.86±1.12
		5	35.85±0.09
	75	3	32.74±1.53
		5	30.77±1.74

ตารางที่ 3.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศผง โดยแปรปริมาณ GMS อุณหภูมิทำแห้ง และความหนาชั้นโฟม

SOV	d.f.	MS
ปริมาณ GMS (A)	1	66.75*
อุณหภูมิทำแห้ง (B)	1	150.97*
ความหนาชั้นโฟม(C)	1	22.22*
AB	1	1.07
AC	1	1.08
BC	1	1.87
ABC	1	0.04
error	16	1.33

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Symmetric Factorial Design ขนาด 2x2x2 พบว่า อิทธิพลปริมาณ GMS อิทธิพลอุณหภูมิทำแห้ง และอิทธิพลความหนาชั้นโฟม มีผลต่อปริมาณวิตามินซีอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) ดังนั้นในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย จึงพิจารณาเฉพาะอิทธิพลปริมาณ GMS อิทธิพลอุณหภูมิทำแห้ง และอิทธิพลความหนาชั้นโฟม ผลการวิเคราะห์แสดง ดังตารางที่ 3.11-3.13

ตารางที่ 3.11 ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศผง เมื่อพิจารณาอิทธิพลปริมาณ GMS

ปริมาณ GMS (%(โดยน้ำหนักแห้))	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
0	$37.39^{a} \pm 3.23$
1	$34.05^{b} \pm 2.76$

a, b ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

พบว่า มะเขือเทศผงที่ไม่มีการเติม GMS มีปริมาณวิตามินซีสูงกว่ามะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง)อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3.12 ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศผง เมื่อพิจารณาอิทธิพลอุณหภูมิทำแห้ง

อุณหภูมิทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
65	$38.23^{a} \pm 2.26$
75	$33.21^{b} \pm 2.30$

a, b ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

พบว่า มะเขือเทศผงที่อุณหภูมิทำแห้ง 65 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซีสูงกว่ามะเขือเทศผงที่อุณหภูมิทำแห้ง 75 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3.13 ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศผง เมื่อพิจารณาอิทธิพลความหนาชั้นโฟม

ความหนาชั้นโฟม (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
3	36.68^{a}±3.19
5	34.76^{b}±3.45

a, b ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

พบว่า มะเขือเทศผงที่มีความหนาชั้นโฟม 3 มิลลิเมตร มีปริมาณวิตามินซีสูงกว่ามะเขือเทศผงที่มีความหนาชั้นโฟม 5 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการทดลอง จะเห็นได้ว่า มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) มีอุณหภูมิทำแห้งและความหนาชั้นโฟมเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลง ซึ่งในการทดลองพบว่า มีปริมาณวิตามินซีในมะเขือเทศผงอยู่ในช่วง 30.77-40.96 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 3.9

3.3.4 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของมะเขือเทศผง

ภายหลังการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้น นำมาบดและร่อนให้เป็นผงตามข้อ 2.2.3 แล้วนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้าน สีในรูปผงและหลังคืนตัว ค่าการกระจายตัว และความหนืดหลังคืนตัว แสดงผลดังตารางที่ 3.14–3.25

ตารางที่ 3.14 ค่าสี (L, a, b) ของมะเขือเทศผงที่วัดในรูปผง

ปริมาณ GMS (%(โดยน้ำหนักแห้ง))	อุณหภูมิทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	ความหนาชั้นโฟม (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน		
			L	a	b
0	65	3	50.23±1.61	27.50±0.56	38.29±0.37
		5	52.78±1.08	24.82±0.59	37.90±0.30
	75	3	53.93±1.13	24.18±0.95	36.88±0.32
		5	54.68±0.67	22.54±0.47	35.28±0.81
1	65	3	60.35±1.17	20.30±0.93	33.06±0.35
		5	60.83±0.34	19.77±0.36	32.68±0.48
	75	3	61.71±0.37	19.17±0.36	31.18±0.95
		5	62.18±0.69	18.52±0.57	30.89±0.80

ตารางที่ 3.15 ค่าสี (L, a, b) ของมะเขือเทศผงที่วัดหลังคืนตัว (28 องศาบริกซ์)

ปริมาณ GMS (%(โดยน้ำหนักแห้ง))	อุณหภูมิทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	ความหนาชั้นโฟม (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน		
			L	a	b
0	65	3	35.84±1.00	16.02±0.66	12.38±0.50
		5	36.20±0.93	15.65±0.51	12.50±0.65
	75	3	36.75±0.28	15.59±0.49	12.84±0.74
		5	37.15±0.43	15.48±0.54	12.89±0.65
1	65	3	37.81±0.29	14.88±0.49	13.51±0.65
		5	38.03±0.43	14.84±0.49	14.10±0.73
	75	3	38.19±0.40	14.68±0.68	14.23±0.73
		5	38.50±0.45	14.39±0.58	14.49±0.73

ตารางที่ 3.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี (L, a, b) ของมะเขือเทศผงในรูปผงและหลังคืนตัว โดยแปรปริมาณ GMS อุณหภูมิทำแห้ง และความหนาชั้นโฟม

SOV	d.f.	MS					
		ในรูปผง			ในรูปการคืนตัว		
		L	a	b	L	a	b
ปริมาณ GMS (A)	1	419.34*	169.66*	158.16*	16.39*	5.84*	12.26*
อุณหภูมิทำแห้ง (B)	1	25.88*	23.86*	22.18*	2.74*	0.58	1.45
ความหนาชั้นโฟม(C)	1	6.74*	11.3*	2.66*	0.63	0.25	0.38
AB	1	3.15	3.85*	0.05	0.38	1.07E-03	0.02
AC	1	2.07	3.71*	0.66	0.02	8.07E-03	0.17
BC	1	1.22	0.32	0.46	6.34E-03	1.50E-04	0.06
ABC	1	1.2	0.5	0.62	1.20E-03	0.1	0.02
error	16	0.95	0.4	0.36	0.35	0.31	0.46

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Symmetric Factorial Design ขนาด 2x2x2 พบว่า อิทธิพลปริมาณ GMS มีผลต่อ ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง(a) และค่าสีเหลือง (b) ทั้งในรูปผงและหลังคืนตัว อิทธิพลอุณหภูมิทำแห้ง มีผลต่อ ค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง(a) และค่าสีเหลือง (b) ในรูปผง และค่าความสว่าง (L) ในรูปหลังคืนตัว อิทธิพลความหนาชั้นโฟม มีผลต่อค่าความสว่าง (L) ค่าสีแดง(a) และค่าสีเหลือง (b) ในรูปผง อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ GMS กับอุณหภูมิทำแห้ง และอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ GMS กับความหนาชั้นโฟม มีผลต่อค่าสีแดง(a) ในรูปผงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย จึงแยกวิเคราะห์ โดยในรูปผง ค่าความสว่าง (L) และค่าสีเหลือง (b) พิจารณาเฉพาะอิทธิพลปริมาณ GMS อิทธิพลอุณหภูมิทำแห้ง และอิทธิพลความหนาชั้นโฟม ส่วนค่าสีแดง(a) พิจารณาเฉพาะอิทธิพลร่วมเท่านั้น ในรูปหลังคืนตัว ค่าความสว่าง (L) พิจารณาเฉพาะอิทธิพลปริมาณ GMS และอิทธิพลอุณหภูมิทำแห้ง ส่วนค่าสีแดง(a) และค่าสีเหลือง (b) พิจารณาเฉพาะอิทธิพลปริมาณ GMS ผลการวิเคราะห์แสดงดัง ตารางที่ 3.17-3.21

ตารางที่ 3.17 ค่าสี(L, b) ในรูปผง และค่าสี (L, a, b) ในรูปหลังคืนตัวของมะเขือเทศผง เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปริมาณ GMS

ปริมาณ GMS (%(โดยน้ำหนักแห้ง))	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	ในรูปผง		ในรูปการคืนตัว		
	L	b	L	a	b
0	52.91^{b}±2.02	37.09^{a}±1.29	36.48^{b}±0.81	15.68^{a}±0.52	12.65^{b}±0.59
1	61.27^{a}±0.97	31.95^{b}±1.13	38.14^{a}±0.43	14.70^{b}±0.52	14.08^{a}±0.71

a, b ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จากวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) มีค่าความความสว่าง(L) ทั้งในรูปผงและหลังคืนตัว และค่าสีเหลือง(b) ในรูปหลังคืนตัวมีค่าสูงกว่า ส่วนค่าสีเหลือง(b) ในรูปผงและค่าสีแดง(a) ในรูปหลังคืนตัวมีค่าต่ำกว่า มะเขือเทศผงที่ไม่มีการเติม GMS อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3.18 ค่าสี (L, b) ในรูปผงและค่าสี (L) ในรูปหลังคืนตัวของมะเขือเทศผง เมื่อพิจารณาอิทธิพลอุณหภูมิทำแห้ง

อุณหภูมิทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ในรูปผง		ในรูปการคืนตัว
	L	b	L
65	56.05^{b}±4.94	35.48^{a}±2.76	36.97^{b}±1.18
75	58.13^{a}±4.05	33.56^{b}±2.78	37.65^{a}±0.83

a, b ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

พบว่า มะเขือเทศผงที่อุณหภูมิทำแห้ง 65 องศาเซลเซียส มีค่าความสว่าง(L) ทั้งในรูปผงและหลังคืนตัวต่ำกว่า ส่วนค่าสีเหลือง(b) ในรูปผงสูงกว่า มะเขือเทศผงที่อุณหภูมิทำแห้ง 75 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3.19 ค่าสี(L, b) ในรูปผงของมะเขือเทศผง เมื่อพิจารณาอิทธิพลความหนาชั้นโฟม

ความหนาชั้นโฟม (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	L	b
3	56.56^{b}±4.99	34.85^{a}±3.02
5	57.62^{a}±4.20	34.19^{b}±2.82

a, b ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

ในรูปผง พบว่า มะเขือเทศผงที่มีความหนาชั้นโฟม 3 มิลลิเมตร มีค่าความสว่าง(L) ต่ำกว่า และค่าสีเหลือง(b) สูงกว่ามะเขือเทศผง ที่มีความหนาชั้นโฟม 5 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3.20 ค่าสี(a) ในรูปผงของมะเขือเทศผง เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ GMSกับอุณหภูมิทำแห้ง

ปริมาณ GMS (%(โดยน้ำหนักแห้ง))	อุณหภูมิทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	65	26.16^{a}±1.56
	75	23.36^{b}±1.12
1	65	20.04^{c}±0.69
	75	18.85^{c}±0.55

a, b, c ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

พบว่า มะเขือเทศผงที่มีเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) มีค่าสีแดง(a) ต่ำกว่ามะเขือเทศผงที่ไม่มีเติม GMS โดยที่ มะเขือเทศผงที่ไม่มีเติม GMS การเพิ่มอุณหภูมิทำแห้งจาก 65 เป็น 75 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าสีแดง(a)ในรูปผงลดลงมาก ในขณะที่มะเขือเทศผงที่มีเติม GMS 1% (โดยน้ำหนักแห้ง) การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ค่าสีแดง(a)ลดลงน้อยอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3.21 ค่าสี (a) ในรูปผง เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง ปริมาณ GMS กับความหนาชั้นโฟม

ปริมาณ GMS (%(น้ำหนักแห้ง))	ความหนาชั้นโฟม (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	3	$25.84^{a}\pm1.95$
	5	$23.68^{b}\pm1.33$
1	3	$19.74^{c}\pm0.88$
	5	$19.15^{c}\pm0.81$

a, b, c ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p\leq0.05$)

พบว่า มะเขือเทศผงที่ไม่มีการเติม GMS การเพิ่มความหนาชั้นโฟม จาก 3 เป็น 5 มิลลิเมตร ทำให้ค่าสีแดง(a) ในรูปผงลดลงมาก ในขณะที่มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1 %(โดยน้ำหนักแห้ง) การเพิ่มความหนาของชั้นโฟม ทำให้ค่าสีแดง(a) ในรูปผงลดลงน้อยอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

ดังนั้น จากการทดลองจะเห็นได้ว่า มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1 %(โดยน้ำหนักแห้ง) จะให้ค่าความสว่าง(L) สูงกว่า ส่วนค่าสีแดง(a)และค่าสีเหลือง(b) ต่ำกว่ามะเขือเทศผงที่ไม่มีการเติม GMS การเพิ่มอุณหภูมิทำแห้งและความหนาชั้นโฟม จะให้ค่าความสว่าง(L) เพิ่มขึ้น ส่วนค่าสีแดง(a) และค่าสีเหลือง(b) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ($p\leq0.05$) และเมื่อนำเอามะเขือเทศผงมาคืนตัว พบว่า มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1 %(โดยน้ำหนักแห้ง) จะให้ค่าความสว่าง(L) และค่าสีเหลือง(b) สูงกว่า ส่วนค่าสีแดง(a) ต่ำกว่า และการเพิ่มอุณหภูมิทำแห้ง ทำให้ค่าความสว่าง (L)เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 3.22 ค่าการกระจายตัวและความหนืดของมะเขือเทศผงหลังคืนตัว

ปริมาณ GMS	อุณหภูมิทำแห้ง	ความหนาชั้นโฟม	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน	
			ค่าการกระจายตัว	ความหนืด
(%โดยน้ำหนักแห้ง)	(องศาเซลเซียส)	(มิลลิเมตร)	$(OD_{520})^{7}$	(พอยซ์)
0	65	3	0.155±0.008	75.45± 0.81
		5	0.151±0.007	71.34±1.16
	75	3	0.130±0.006	69.02±1.63
		5	0.122±0.003	64.37±1.76
1	65	3	0.209±0.013	84.78±1.51
		5	0.208±0.016	82.79±1.26
	75	3	0.211±0.007	81.54±1.41
		5	0.206±0.010	80.21±1.02

[7] OD_{520} คือ optical density (ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร)

ตารางที่ 3.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการกระจายตัวและความหนืดของมะเขือเทศผงหลังคืนตัว โดยแปรปริมาณ GMS อุณหภูมิทำแห้ง และความหนาชั้นโฟม

SOV	d.f.	MS	
		ค่าการกระจายตัว	ความหนืด
ปริมาณ GMS (A)	1	2.88E-02*	905.65*
อุณหภูมิทำแห้ง (B)	1	1.11E-03*	138.58*
ความหนาชั้นโฟม(C)	1	1.17E-04	54.69*
AB	1	1.05E-03*	21.53*
AC	1	1.20E-05	11.11*
BC	1	2.60E-05	6.33E-03
ABC	1	3.75E-07	0.53
error	16	9.18E-05	1.83

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Symmetric Factorial Design ขนาด 2x2x2 พบว่า อิทธิพลปริมาณ GMS อิทธิพลอุณหภูมิทำแห้ง และอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ GMS กับอุณหภูมิทำแห้ง มีผลต่อค่าการกระจายตัวและความหนืด ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ GMS กับความหนาชั้นโฟม มีผลต่อความหนืด อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย จึงแยกวิเคราะห์ โดยค่าการกระจายตัว พิจารณาเฉพาะอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ GMS กับอุณหภูมิทำแห้ง ส่วนความหนืด พิจารณาเฉพาะอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ GMS กับอุณหภูมิทำแห้ง และอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ GMS กับความหนาชั้นโฟม ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.24-3.25

ตารางที่ 3.24 ค่าการกระจายตัวและความหนืดของมะเขือเทศผงหลังคืนตัว เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณGMS กับอุณหภูมิทำแห้ง

ปริมาณ GMS (%(โดยน้ำหนักแห้ง))	อุณหภูมิทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน	
		ความหนืด (พอยซ์)	ค่าการกระจายตัว (OD_{520})[7]
0	65	73.40^{c}±2.43	0.153^{c}±0.007
	75	66.70^{a}±2.96	0.126^{b}±0.006
1	65	83.79^{a}±1.65	0.209^{a}±0.013
	75	80.88^{b}±1.32	0.208^{a}±0.008

[7] OD_{520} คือ optical density (ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร)

a, b, c ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) มีค่าการกระจายตัวและความหนืดสูงกว่ามะเขือเทศผงที่ไม่มีการเติม GMS โดยที่มะเขือเทศผงที่ไม่มีการเติม GMS การเพิ่มอุณหภูมิทำแห้งจาก 65 เป็น 75 องศาเซลเซียส ทำให้ค่าการกระจายตัวและความหนืดลดลงมาก ในขณะที่มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) การเพิ่มอุณหภูมิ มีผลทำให้ความหนืดลดลงน้อย และไม่มีผลต่อค่าการกระจายตัวอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3.25 ความหนืดของมะเขือเทศผงหลังคืนตัว เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ GMS กับความหนาชั้นโฟม

ปริมาณ GMS (%(โดยน้ำหนักแห้ง))	ความหนาชั้นโฟม (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน (พอยซ์)
0	3	72.24^{b}±3.71
	5	67.86^{c}±4.04
1	3	83.16^{a}±1.10
	5	81.50^{a}±1.75

a, b, c ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

พบว่า มะเขือเทศผงที่ไม่มีการเติม GMS การเพิ่มความหนาชั้นโฟม จาก 3 เป็น 5 มิลลิเมตร ทำให้ความหนืดลดลงมากในขณะที่มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) การเพิ่มความหนาชั้นโฟม ทำให้ความหนืดลดลงน้อยอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

3.3.5 ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะเขือเทศผงในรูปผงและหลังคืนตัว(ซอสมะเขือเทศ)

ภายหลังการทำแห้งโฟมมะเขือเทศเข้มข้น นำมาบดและร่อนให้เป็นผงแล้วตามข้อ 2.2.3แล้วนำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะเขือเทศผงในรูปผงและหลังคืนตัว(ซอสมะเขือเทศ) แสดงผลดัง ตารางที่ 3.26-3.35

ตารางที่ 3.26 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะเขือเทศผง

ปริมาณ GMS (%(โดยน้ำหนักแห้ง))	อุณหภูมิทำแห้ง (°ซ)	ความหนาชั้นโฟม (มิลลิเมตร)	คะแนนเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน			
			สี (10)	กลิ่น (10)	ความร่วน (10)	การยอมรับรวม (9)
0	65	3	8.30±0.49	6.87±0.83	3.13±0.64	5.87±0.83
		5	8.23+0.42	6.72±0.70	3.20±0.56	5.53±0.74
	75	3	7.73±0.46	6.60±0.63	3.27±0.59	5.66±0.72
		5	7.87 ±0.35	6.33±0.62	3.13±0.74	5.34±0.52
1	65	3	5.80±0.53	6.07±0.60	8.60±0.63	6.37±0.48
		5	5.76±0.45	5.80±0.86	8.33±0.82	6.30±0.41
	75	3	5.47±0.64	5.33±0.82	8.73±0.88	6.23±0.56
		5	5.53±0.67	5.33±0.70	8.47±0.64	6.10±0.71

ตารางที่ 3.27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น ความร่วน และการยอมรับรวมของมะเขือเทศผง โดยแปรปริมาณ GMS อุณหภูมิทำแห้ง และความหนาชั้นโฟม

SOV	d.f.	MS			
		สี	กลิ่น	ความร่วน	การยอมรับรวม
ปริมาณ GMS (A)	1	172.80*	30.00*	858.68*	12.68*
อุณหภูมิทำแห้ง (B)	1	4.41*	6.53*	0.21	1.01
ความหนาชั้นโฟม(C)	1	0.01	0.83	0.68	1.41*
AB	1	0.3	0.53	0.08	0.01
AC	1	0	0.03	0.41	0.41
BC	1	0.21	0.03	0.08	0.01
ABC	1	0.03	0.3	0.08	0.01
block	14	0.48*	0.42	1.34*	1.56*
error	98	0.23	0.59	0.34	0.26

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Symmetric Factorial with Complete Block Design พบว่า มีอิทธิพลปริมาณ GMS มีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสทุกด้าน อิทธิพลอุณหภูมิทำแห้ง มีผลต่อคะแนนด้านสีและกลิ่น อิทธิพลความหนาชั้นโฟม มีผลต่อคะแนนด้านการยอมรับรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นในการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ย จึงแยกวิเคราะห์โดยคะแนนด้านสีและกลิ่น พิจารณาเฉพาะอิทธิพลปริมาณ GMS และอิทธิพลอุณหภูมิทำแห้ง คะแนนด้านความร่วน พิจารณาเฉพาะอิทธิพลปริมาณ GMS ส่วนคะแนนด้านการยอมรับรวม พิจารณาเฉพาะอิทธิพลปริมาณ GMS และอิทธิพลความหนาชั้นโฟม ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.28-3.30

ตารางที่ 3.28 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น ความร่วนและการยอมรับรวมของมะเขือเทศผง เมื่อพิจารณาอิทธิพลปริมาณ GMS

ปริมาณ GMS (%(โดยน้ำหนักแห้ง))	คะแนนเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	สี (10)	กลิ่น (10)	ลักษณะปรากฏ (10)	การยอมรับรวม (9)
0	$8.04^{a}\pm0.49$	$6.63^{a}\pm0.71$	$3.18^{b}\pm0.62$	$5.60^{b}\pm0.74$
1	$5.64^{b}\pm0.58$	$5.63^{b}\pm0.84$	$8.53^{a}\pm0.75$	$6.25^{a}\pm0.55$

a, b ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) มีคะแนนด้านสีและกลิ่น ต่ำกว่า และความร่วนและการยอมรับรวมสูงกว่า มะเขือเทศผงที่ไม่มีการเติม GMS อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3.29 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสีและกลิ่นของมะเขือเทศผง เมื่อพิจารณาอิทธิพลอุณหภูมิทำแห้ง

อุณหภูมิทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	คะแนนเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	สี (10)	กลิ่น (10)
65	7.03^{a}±1.34	6.37^{a}±0.86
75	6.65^{b}±1.28	5.90^{b}±0.93

a, b ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

มะเขือเทศผงที่มีอุณหภูมิทำแห้ง 65 องศาเซลเซียส มีคะแนนด้านสีและกลิ่นสูงกว่ามะเขือเทศผงที่มีอุณหภูมิทำแห้ง 75 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3.30 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับรวมของมะเขือเทศผง เมื่อพิจารณาอิทธิพลความหนาชั้นโฟม

ความหนาชั้นโฟม (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน (9)
3	6.03^{a}±0.71
5	5.82^{b}±0.74

a, b ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

พบว่า มะเขือเทศผงที่มีความหนาชั้นโฟม 3 มิลลิเมตร มีคะแนนด้านการยอมรับรวมสูงกว่า มะเขือเทศผงที่มีความหนาชั้นโฟม 5 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3.31 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของซอสมะเขือเทศ ที่ใช้มะเขือเทศผงเป็นวัตถุดิบในการผลิต

ปริมาณ GMS (%(โดยน้ำหนักแห้ง))	อุณหภูมิทำแห้ง (°ซ)	ความหนาชั้นโฟม (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน			
			สี (10)	กลิ่นรส (10)	ความหนืด (10)	การยอมรับรวม (9)
0	65	3	9.06±0.59	6.20±0.68	6.73±0.80	6.56±0.65
		5	8.93±0.59	6.30±0.75	6.77±0.73	6.14±0.54
	75	3	8.33±0.90	6.20±0.84	6.47±0.52	6.10±0.51
		5	8.20±0.68	6.20±0.92	6.13±0.72	6.03±0.48
1	65	3	7.87±0.83	6.27±0.84	7.87±0.74	7.23±0.59
		5	7.80±0.68	6.23±0.78	7.73±0.68	7.20±0.62
	75	3	7.60±0.74	6.20±0.92	7.53±0.67	7.00±0.46
		5	7.60±0.63	6.30±0.94	7.50±0.65	6.90±0.51

ตารางที่ 3.32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส ความหนืด และการยอมรับรวมของซอสมะเขือเทศที่ใช้มะเขือเทศผงเป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยแปรปริมาณ GMS อุณหภูมิทำแห้ง และความหนาชั้นโฟม

SOV	d.f.	MS			
		สี	กลิ่นรส	ความหนืด	การยอมรับรวม
ปริมาณ GMS (A)	1	25.21*	0.02	38.53*	23.41*
อุณหภูมิทำแห้ง (B)	1	7.01*	0.02	4.03*	2.41*
ความหนาโฟม(C)	1	0.21	0.05	0.41	0.68
AB	1	1.88*	0.02	0.21	0
AC	1	0.08	2.08E-03	0.03	0.3
BC	1	0.01	2.08E-03	0.13	0.13
ABC	1	0.01	0.1	0.41	0.41
block	14	2.28*	4.64*	0.13	0.29
error	98	0.26	0.14	0.53	0.3

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Symmetric Factorial with Complete Block Design พบว่า อิทธิพลปริมาณ GMS และอิทธิพลอุณหภูมิทำแห้ง มีผลต่อคะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสี ความหนืดและการยอมรับรวม อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ GMS กับอุณหภูมิทำแห้ง มีผลต่อคะแนนด้านสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) และพบว่า อิทธิพลปริมาณ GMS อิทธิพลอุณหภูมิทำแห้ง และอิทธิพลความหนาชั้นโฟมไม่มีผลต่อคะแนนด้านกลิ่นรสอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ดังนั้นในการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ย จึงแยกวิเคราะห์โดยคะแนนด้านสี พิจารณาเฉพาะอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ GMS กับอิทธิพลอุณหภูมิทำแห้ง คะแนนด้านความหนืดและการยอมรับรวม พิจารณาเฉพาะอิทธิพลปริมาณ GMS และอิทธิพลอุณหภูมิทำแห้ง ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.33-3.35

ตารางที่ 3.33 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสี ของซอสมะเขือเทศที่ใช้มะเขือเทศผงเป็นวัตถุดิบในการผลิต เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ GMS กับอุณหภูมิทำแห้ง

ปริมาณ GMS (%(โดยน้ำหนักแห้ง))	อุณหภูมิทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน (10)
0	65	$9.00^{a}\pm0.59$
	75	$8.27^{b}\pm0.79$
1	65	$7.83^{c}\pm0.75$
	75	$7.60^{c}\pm0.67$

a, b, c ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p\leq0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) มีคะแนนด้านสีต่ำกว่ามะเขือเทศผงที่ไม่มีการเติม GMS โดยที่ มะเขือเทศผงที่ไม่มีการเติม GMS การเพิ่มอุณหภูมิทำแห้งจาก 65 เป็น 75 องศาเซลเซียส ทำให้คะแนนด้านสี ลดลงมาก ในขณะที่มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) การเพิ่มอุณหภูมิทำให้คะแนนด้านสี ลดลงน้อยอย่างมีนัยสำคัญ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 3.34 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความหนืดและการยอมรับรวมของซอสมะเขือเทศที่ใช้มะเขือเทศผงเป็นวัตถุดิบในการผลิต เมื่อพิจารณาอิทธิพลปริมาณ GMS

ปริมาณ GMS (%(โดยน้ำหนักแห้ง))	ค่าเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ความหนืด (10)	การยอมรับรวม (9)
0	6.53^{b}±0.73	6.21^{b}±0.58
1	7.66^{a}±0.69	7.09^{a}±0.55

a, b ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

มะเขือเทศผงที่มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) มีคะแนนด้านความหนืดและการยอมรับรวมสูงกว่ามะเขือเทศผงที่ไม่มีการเติม GMS อย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3.35 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านความหนืดและการยอมรับรวม ของซอสมะเขือเทศที่ใช้มะเขือเทศผงเป็นวัตถุดิบในการผลิต เมื่อพิจารณาอิทธิพลอุณหภูมิทำแห้ง

อุณหภูมิทำแห้ง (องศาเซลเซียส)	คะแนนเฉลี่ย±เบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ความหนืด (10)	การยอมรับรวม (9)
65	7.23^{a}±0.89	6.79^{a}±0.75
75	6.91^{b}±0.89	6.51^{b}±0.65

a, b ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

อุณหภูมิทำแห้ง 65 องศาเซลเซียส มีคะแนนด้านความหนืดและการยอมรับรวมสูงกว่าอุณหภูมิทำแห้ง 75 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ฉะนั้น จากการพิจารณา ผลของปริมาณ GMS อุณหภูมิทำแห้ง และความหนาชั้นโฟม ต่อคุณภาพด้านต่างๆ ของมะเขือเทศผง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งสุญญากาศ คือ มะเขือเทศเข้มข้นที่มีการเติม GMS 1 %(โดยน้ำหนักแห้ง) อุณหภูมิทำแห้ง 65 องศาเซลเซียส และมีความหนาชั้นโฟม 3 มิลลิเมตร ในการศึกษาขั้นต่อไป

3.4 องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะเขือเทศผงที่ผลิตขึ้นเปรียบเทียบกับมะเขือเทศผงทางการค้า และ moisture sorption isotherm ของมะเขือเทศผงที่ผลิตขึ้น

นำมะเขือเทศผงที่เลือกสภาวะการผลิตได้จากข้อ 3.2 และ 3.3 คือ มะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31 % (โดยน้ำหนักเปียก) มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) ตีปั่นเป็นเวลา 7 นาที ทำแห้งสุญญากาศภายใต้ความดันสัมบูรณ์ 1±0.5 นิ้วปรอท ที่อุณหภูมิทำแห้ง 65 องศาเซลเซียส มีความหนาชั้นโฟม 3 มิลลิเมตร ขนาด 12 เซนติเมตร x 12 เซนติเมตร เป็นเวลา 110 นาที มาเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส กับมะเขือเทศผงทางการค้าที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นกระจาย และหา moisture sorption isotherm แสดงผลดังตารางที่ 3.36-3.38 และรูปที่ 3.11 ส่วนลักษณะของมะเขือเทศผงที่ผลิตขึ้นและมะเขือเทศผงทางการค้า แสดงดังรูปที่ ฉ.2

ตารางที่ 3.36 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของมะเขือเทศผงที่ผลิตขึ้นกับมะเขือเทศผงทางการค้า

องค์ประกอบ	มะเขือเทศผง	
	ทางการค้า[8]	ที่ผลิตขึ้น
ปริมาณความชื้น(%(โดยน้ำหนักเปียก))	สูงสุด 5.0	2.15±0.14
ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริก(%(โดยน้ำหนักเปียก))	5.5-9.0	6.93±0.14
ความหนาแน่นปรากฏ(กรัมต่อมิลลิลิตร)	0.6	0.77±0.03
ค่าสีในรูปผง		
L	45.69±0.01	60.35±1.17
a	28.22±0.03	20.30±0.93
b	32.20±0.03	33.06±0.35
ค่าสีในรูปหลังคืนตัว(28 องศาบริกซ์)		
L	32.01±1.47	37.81±0.29
a	12.61±1.15	14.88±0.49
b	9.69±0.59	13.51±0.65

[8]ปริมาณความชื้น ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริก และความหนาแน่นปรากฏ ในมะเขือเทศผงทางการค้า ได้ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต (รายละเอียดในภาคผนวก จ.2)

ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะเขือเทศผงในรูปผง โดยใช้เป็นสารให้กลิ่นรสในข้าวเกรียบ ซึ่งใช้มะเขือเทศผง 7% (โดยน้ำหนักเปียก) ทดสอบในด้านสี กลิ่นรส ความกรอบ และการยอมรับรวม แสดงผลดังตารางที่ 3.37-3.38

ตารางที่ 3.37 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวเกรียบรสมะเขือเทศที่ใช้มะเขือเทศผงเป็นสารให้กลิ่นรส

ข้าวเกรียบรสมะเขือเทศ	สี (9)	กลิ่นรส^{ns} (9)	ความกรอบ^{ns} (9)	การยอมรับรวม^{ns} (9)
มะเขือเทศผงทางการค้า	6.87^{b}±0.99	6.73±1.16	7.87±0.99	6.93±0.88
มะเขือเทศผงที่ผลิตขึ้น	7.67^{a}±1.05	7.13±0.92	7.87±0.52	7.47±0.74

a, b ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ($p > 0.05$)

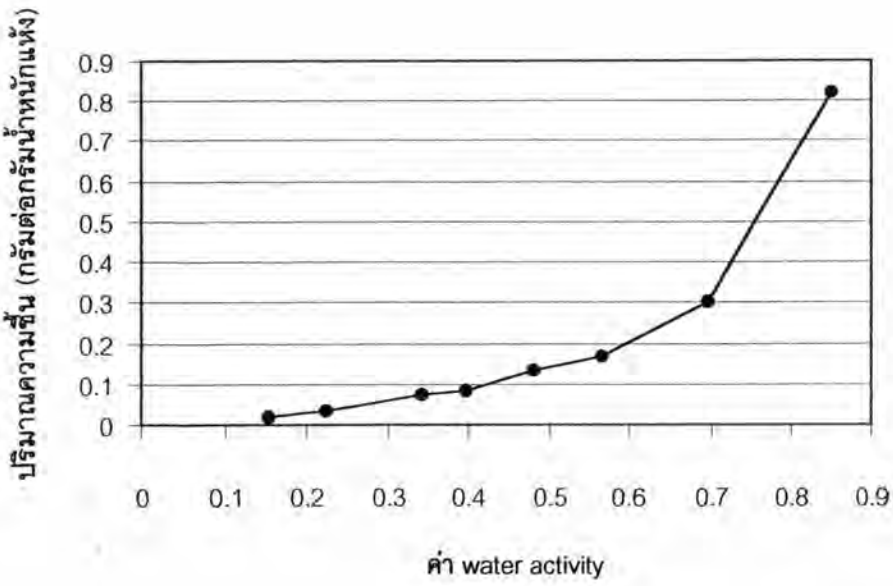
ตารางที่ 3.38 ผลการทดสอบ T-Test ของข้าวเกรียบรสมะเขือเทศ

paired samples	d.f.	$t_{จากการคำนวณ}$	$t_{.05,14}$
สี	14	-2.86*	2.145
กลิ่นรส	14	-1.15	
ความกรอบ	14	0	
การยอมรับรวม	14	-2.09	

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี T-Test พบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนชอบด้านสีของข้าวเกรียบรสมะเขือเทศ ที่ใช้มะเขือเทศผงที่ผลิตขึ้นเป็นสารให้กลิ่นรส มากกว่าข้าวเกรียบรสมะเขือเทศ ที่ใช้มะเขือเทศผงทางค้าเป็นสารให้กลิ่นรส แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) ส่วนคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส ความกรอบ และการยอมรับรวม ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

moisture sorption isotherm ของมะเขือทศผงที่ผลิตขึ้น แสดงผลดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 moisture sorption isotherm ของมะเขือทศผงที่ผลิตขึ้น ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

3.5 ผลของ silicon dioxide(SiO_2) ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะเขือเทศผงระหว่างการเก็บ

นำมะเขือเทศผงที่เลือกสภาวะการผลิตได้จากข้อ 3.2 และ 3.3 คือ มะเขือเทศเข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 31 % (โดยน้ำหนักเปียก) มีการเติม GMS 1%(โดยน้ำหนักแห้ง) ตีปั่นเป็นเวลา 7 นาที ทำแห้งสุญญากาศภายใต้ความดันสัมบูรณ์ 1$\pm$0.5 นิ้วปรอท ที่อุณหภูมิทำแห้ง 65 องศาเซลเซียส มีความหนาชั้นโฟม 3 มิลลิเมตร ขนาด 12 เซนติเมตร x 12 เซนติเมตร เป็นเวลา 110 นาที มาศึกษาผลของ SiO_2 โดยแปรปริมาณ SiO_2 เป็น 3 ระดับคือ 0, 0.5 และ 1.0 % (โดยน้ำหนักเปียก) ต่อการเปลี่ยนคุณภาพของมะเขือเทศผง ที่บรรจุภายใต้กาซไนโตรเจนในถุงลามิเนต(PET/PE/Al/PE/LLDPE) ขนาด15 เซนติเมตร x18 เซนติเมตร และเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง (35-40 องศาเซลเซียส) นาน 6 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุก 2 สัปดาห์

ผลการวิเคราะห์ ผลของ SiO_2 ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ ของมะเขือเทศผงระหว่างการเก็บ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ค่า water activity %uncaking ปริมาณวิตามินซี ค่าสี และค่าการกระจายตัว แสดงผลดังตารางที่ 3.39-3.48 และรูปที่ 3.12-3.13 ส่วนลักษณะของมะเขือเทศผง ที่แปรปริมาณ SiO_2 หลังจากเก็บที่อุณหภูมิห้อง (35-40 องศาเซลเซียส) นาน 6 สัปดาห์ แสดงผลดังรูปที่ ฉ.3

ตารางที่ 3.39 ปริมาณความชื้น ค่า water activity และ %uncaking ของมะเขือเทศผง โดยแปรปริมาณ SiO_2และระยะเวลาเก็บ

ปริมาณ SiO_2	ระยะเวลาการเก็บ	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
		ปริมาณความชื้น	ค่า water activity	%uncaking
(%(โดยน้ำหนักเปียก))	(สัปดาห์)	(%(โดยน้ำหนักแห้ง))		
0	0	2.32±0.09	0.139±0.004	100^{a}±0.00
	2	2.46±0.28	0.137±0.007	99.50^{a}±0.24
	4	2.68±0.38	0.145±0.004	94.93^{d}±0.91
	6	2.93±0.08	0.167±0.008	91.82^{e}±1.28
0.5	0	2.34±0.10	0.138±0.001	100^{a}±0.00
	2	2.43±0.45	0.139±0.002	99.80^{a}±0.10
	4	2.58±0.28	0.140±0.003	97.21^{bc}±0.64
	6	2.85±0.03	0.163±0.003	96.45^{c}±0.39
1	0	2.32±0.29	0.138±0.001	100^{a}±0.00
	2	2.41±0.36	0.138±0.002	99.86^{a}±0.01
	4	2.61±0.09	0.143±0.001	99.76^{a}±0.18
	6	2.82±0.05	0.163±0.008	98.00^{b}±0.95

a, b, c,... ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3.40 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณความชื้น ค่า water activity และ %uncaking ของมะเขือเทศผง โดยแปรปริมาณ SiO_2และระยะเวลาเก็บ

SOV	d.f.	MS		
		ปริมาณความชื้น	ค่า water activity	%uncaking
SiO_2(A)	2	0.008	1.03E-05	16.56*
ระยะเวลาเก็บ(B)	3	0.339*	9.68E-04*	28.13*
AB	6	0.002	4.90E-06	5.30*
error	12	0.063	2.09E-05	0.34

*แตกต่างอย่างนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

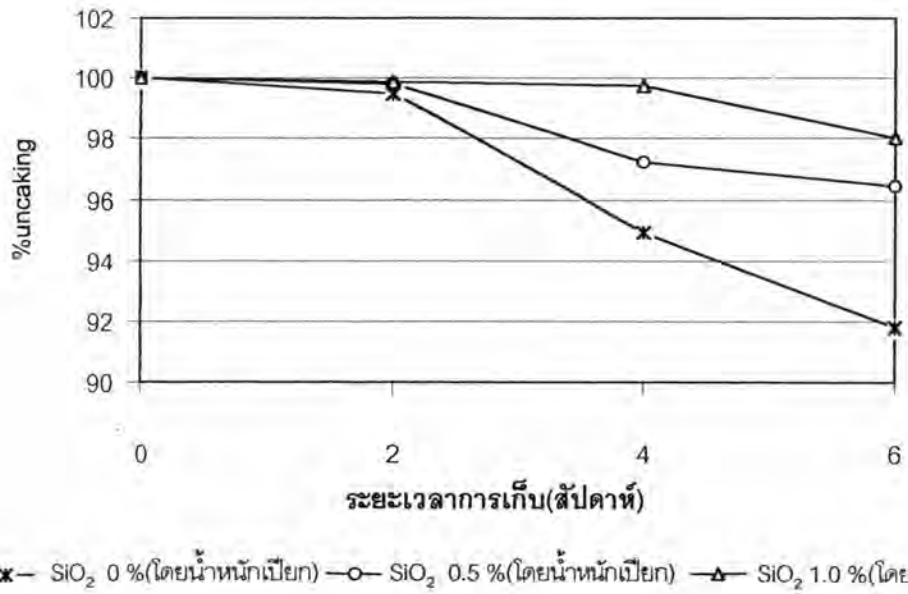
จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Asymmetric Factorial Design ขนาด 3x4 พบว่าอิทธิพลปริมาณ SiO_2 มีผลต่อ %uncaking อิทธิพลระยะเวลาเก็บมีผลต่อ ปริมาณความชื้น และ ค่า water activity และ %uncaking อิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ SiO_2 กับระยะเวลาการเก็บ มีผลต่อ %uncaking อย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) ดังนั้นในการพิจารณาค่าเฉลี่ย จึงแยกวิเคราะห์ โดยปริมาณความชื้น และ ค่า water activity พิจารณาเฉพาะอิทธิพลระยะเวลาการเก็บ ส่วน %uncaking พิจารณาเฉพาะอิทธิพลร่วมเท่านั้น ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.41 และรูปที่ 3.12

ตารางที่ 3.41 ปริมาณความชื้น และ ค่า water activity ของมะเขือเทศผง เมื่อพิจารณาอิทธิพลระยะเวลาเก็บ

ระยะเวลาเก็บ	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
	ปริมาณความชื้น	ค่า water activity
(สัปดาห์)	(%(โดยน้ำหนักแห้ง))	
0	$2.32^{b} \pm 0.14$	$0.138^{b} \pm 0.004$
2	$2.43^{b} \pm 0.29$	$0.138^{b} \pm 0.002$
4	$2.62^{ab} \pm 0.22$	$0.143^{b} \pm 0.003$
6	$2.87^{a} \pm 0.07$	$0.164^{a} \pm 0.006$

a, b ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า มะเขือเทศผงมีปริมาณความชื้น และค่า water activity เพิ่มขึ้น หลังจากเก็บนาน 6 สัปดาห์



รูปที่ 3.12 ผลของอิทธิพลร่วมระหว่าง SiO_2 กับระยะเวลาการเก็บ ที่มีผลต่อ %uncaking ของมะเขือเทศผง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า ในช่วง 2 สัปดาห์แรก มะเขือเทศผงที่มีการเติม SiO_2 ทุกระดับความเข้มข้น มี %uncaking คงที่ แต่หลังจากเก็บนานกว่า 2 สัปดาห์ขึ้นไป มะเขือเทศผงที่มีการเติม SiO_2 ทุกระดับความเข้มข้น มี %uncaking ลดลง อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และพบว่า มะเขือเทศผงที่มีการเติม SiO_2 1 %(โดยน้ำหนักเปียก) มี %uncaking ลดลงน้อยสุดหลังจากเก็บนาน 6 สัปดาห์ อย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3.42 ปริมาณวิตามินซี และค่าการกระจายตัวของมะเขือเทศผง โดยแปรปริมาณ SiO_2 และระยะเวลาการเก็บ

ปริมาณ SiO_2	ระยะเวลาเก็บ	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
		วิตามินซี	การกระจายตัว
(%(โดยน้ำหนักเปียก))	(สัปดาห์)	(มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	(OD_{520})[7]
0	0	38.66±1.63	0.209^{a}±0.001
	2	37.12±1.55	0.204^{bc}±0.001
	4	35.36±0.51	0.189^{d}±0.003
	6	33.89±0.33	0.169^{e}±0.003
0.5	0	35.12±0.93	0.204^{bc}±0.001
	2	35.93±0.88	0.205^{bc}±0.001
	4	34.36±0.59	0.202^{bc}±0.001
	6	31.29±1.67	0.201^{c}±0.002
1	0	31.69±0.60	0.206^{ab}±0.001
	2	31.37±0.01	0.204^{bc}±0.001
	4	29.63±0.53	0.202^{bc}±0.003
	6	28.20±1.41	0.203^{bc}±0.002

[7] OD_{520} คือ optical density (ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร)

a, b, c,... ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3.43 การวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณวิตามินซี และค่าการกระจายตัวของมะเขือเทศผงโดยแปรปริมาณ SiO_2 และระยะเวลาเก็บ

SOV	d.f.	MS	
		ปริมาณวิตามินซี	ค่าการกระจายตัว
SiO_2(A)	2	75.23*	2.88E-04*
ระยะเวลาเก็บ(B)	3	20.41*	2.95E-04*
AB	6	0.84	1.81E-04*
error	12	1.07	3.67E-06

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Asymmetric Factorial Design ขนาด 3x4 พบว่า อิทธิพลปริมาณ SiO_2 และอิทธิพลระยะเวลาเก็บ มีผลต่อปริมาณวิตามินซี และค่าการกระจายตัว ส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณ SiO_2 กับระยะเวลาเก็บ มีผลต่อค่าการกระจายตัวอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) ดังนั้น ในการพิจารณาค่าเฉลี่ย จึงแยกวิเคราะห์เฉพาะ โดยปริมาณวิตามินซี พิจารณาเฉพาะอิทธิพลปริมาณ SiO_2และ อิทธิพลระยะเวลาเก็บ ส่วนค่าการกระจายตัวพิจารณาเฉพาะอิทธิพลร่วมเท่านั้น ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.44-3.45 และรูปที่ 3.13

ตารางที่ 3.44 ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศผง เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปริมาณ SiO_2

ปริมาณ SiO_2 (%(โดยน้ำหนักเปียก))	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
0	36.26^{a}±2.11
0.5	34.17^{b}±2.05
1	30.22^{c}±1.62

a, b, c ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

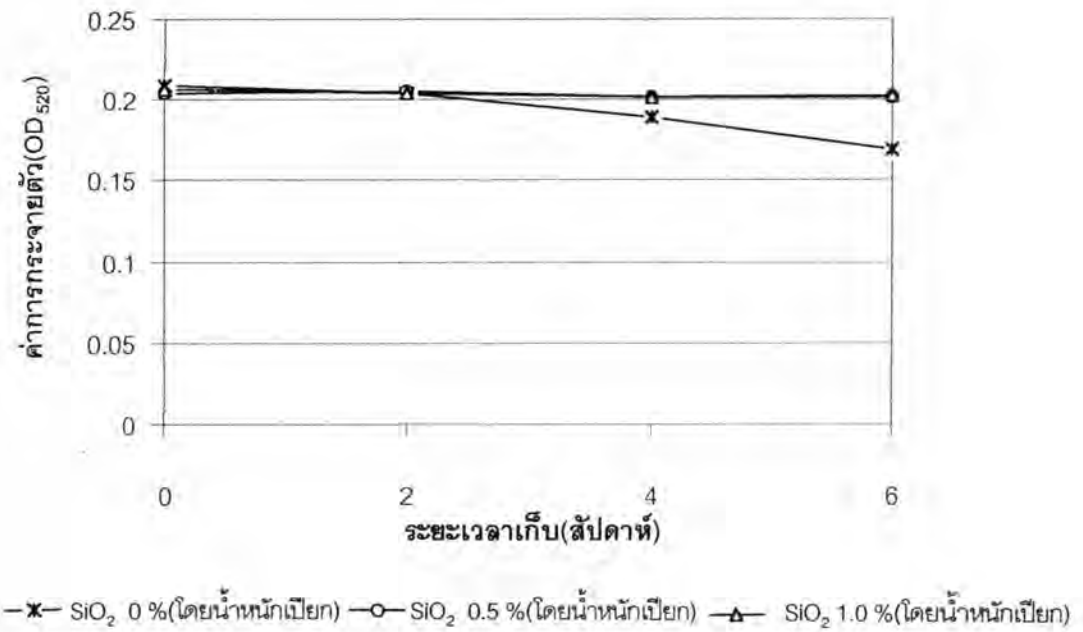
จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า การเพิ่มปริมาณ SiO_2 ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3.45 ปริมาณวิตามินซีของมะเขือเทศผง เมื่อพิจารณาอิทธิพลระยะเวลาเก็บ

ระยะเวลาเก็บ (สัปดาห์)	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง)
0	35.15^{a}±3.24
2	34.80^{a}±2.83
4	33.11^{b}±2.77
6	31.13^{c}±2.73

a, b, c ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

พบว่า ระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยระยะเวลาการเก็บ 2 สัปดาห์แรก ปริมาณวิตามินซีลดลงเล็กน้อย



รูปที่ 3.13 ผลของอิทธิพลร่วมระหว่าง SiO_2 กับระยะเวลาการเก็บ ที่มีผลต่อค่าการกระจายตัวของมะเขือเทศผง

พบว่า มะเขือเทศที่ไม่มีการเติม SiO_2 เมื่อเก็บเป็นระยะเวลานานขึ้น จะทำให้ค่าการกระจายตัวลดลงมาก ในขณะที่ มะเขือเทศผงที่มีการเติม SiO_2 0.5 และ 1.0 %(โดยน้ำหนักเปียก) หลังจากเก็บเป็นระยะเวลานานขึ้น ค่าการกระจายตัวค่อนข้างคงที่อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3.46 ค่าสี (L, a, b) ของมะเขือเทศผง โดยแปรปริมาณ SiO_2 และระยะเวลาการเก็บ

ปริมาณ SiO_2 (%(โดยน้ำหนักแห้ง))	ระยะเวลาการเก็บ (สัปดาห์)	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
		L	a	b
0	0	60.34±0.61	21.25±0.93	34.15±1.00
	2	59.96±1.11	21.09±0.76	34.01±0.76
	4	58.48±0.45	20.01±0.76	32.66±0.71
	6	57.13±0.76	19.22±1.12	31.57±0.78
0.5	0	60.13±0.82	20.97±0.70	33.99±0.95
	2	60.07±0.75	20.96±0.78	33.91±0.71
	4	58.97±1.27	19.99±0.81	32.52±0.70
	6	58.09±0.62	18.56±0.82	31.90±0.18
1	0	59.95±0.69	20.89±0.82	33.86±0.98
	2	59.92±0.66	20.88±0.79	33.58±0.59
	4	58.44±0.61	20.14±0.52	32.64±0.67
	6	57.75±1.38	19.34±0.75	31.80±0.32

ตารางที่ 3.47 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าสี (L, a, b) ของมะเขือเทศผง โดยแปรปริมาณ SiO_2 และระยะเวลาการเก็บ

SOV	d.f.	MS		
		L	a	b
SiO_2(A)	2	0.28	0.16	0.04
ระยะเวลาเก็บ(B)	3	8.35*	5.30*	6.79*
AB	6	0.15	0.1	0.06
error	12	0.73	0.66	0.54

*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ Asymmetric Factorial Design ขนาด 3x4 พบว่า อิทธิพลระยะเวลาเก็บ มีผลต่อค่าความสว่าง(L) ค่าสีแดง(a) และค่าสีเหลือง(b) ของมะเขือเทศผงอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) ดังนั้นในการพิจารณาค่าสี(L, a, b) จึงพิจารณาเฉพาะอิทธิพลระยะเวลาเก็บ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.48

ตารางที่ 3.48 ค่าเฉลี่ย(L, a, b) ของมะเขือเทศผง เมื่อพิจารณาอิทธิพลระยะเวลาเก็บ

ระยะเวลาเก็บ	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
(สัปดาห์)	L	a	b
0	60.14^{a}±0.58	21.04^{a}±0.66	34.00^{a}±0.77
2	59.98^{a}±0.67	20.97^{a}±0.61	33.83^{a}±0.57
4	58.63^{b}±0.71	20.04^{ab}±0.55	32.60^{b}±0.94
6	57.65^{b}±0.87	19.04^{b}±0.80	31.75^{b}±0.41

a, b ตัวอักษรกำกับต่างกันของข้อมูลในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า ระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ทำให้ค่าความสว่าง(L) ค่าสีแดง(a) และค่าสีเหลือง (b) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ($p \leq 0.05$) โดยในช่วง 2 สัปดาห์แรกค่าสี (L, a, b) ลดลงเล็กน้อย