บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลของการศึกษาสมบัติของสับปะรดที่ใช้ในงานวิจัย

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่ใช้ในงานวิจัยแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อสับปะรดที่ใช้ในงานวิจัย

องค์ประกอบทางเคมี	% (น้ำหนักสด) ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปริมาณน้ำ	81.4 - 86.2	83.9±1.4
ปริมาณน้ำตาล (Brix)	12.0 - 17.0	14.8±1.4
ค่าความเป็นกรดในรูปของกรดซิตริก	0.22 - 0.54	0.37±0.10

4.2 ผลของชนิด ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลา ต่อการลดปริมาณน้ำและการเพิ่มปริมาณน้ำตาลของสับปะรดในขั้นตอนการออสโมซิส

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่า water loss และ solid gain ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลที่สภาวะต่างๆ

ผลของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลา ต่อค่า water loss และ solid gain ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาล 3 ชนิดๆ ละ 15 สภาวะการทดลอง แสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 7 ค่า water loss และ solid gain ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่สภาวะต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองที่	ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล (°B)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม)	water loss กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด	solid gain กรัมของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด
1	50	30	6	19.57	11.82
2	50	70	6	31.25	17.56
3	70	30	6	26.40	20.02
4	70	70	6	40.66	28.81
5	50	50	4	23.07	11.64
6	50	50	8	26.30	14.22
7	70	50	4	33.00	21.25
8	70	50	8	35.78	23.34
9	60	30	4	19.63	11.67
10	60	30	8	22.57	15.52
11	60	70	4	34.68	18.92
12	60	70	8	35.13	22.71
13	60	50	6	35.28	15.83
14	60	50	6	31.25	12.43
15	60	50	6	30.35	16.40

ตารางที่ 8 ค่า water loss และ solid gain ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลกลูโคสซีรัปที่สภาวะต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองที่	ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล (°B)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม)	water loss กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด	solid gain กรัมของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด
1	50	30	6	19.16	10.92
2	50	70	6	36.65	9.95
3	70	30	6	25.21	17.52
4	70	70	6	44.66	18.17
5	50	50	4	25.34	11.84
6	50	50	8	31.43	15.16
7	70	50	4	32.89	13.93
8	70	50	8	40.41	15.02
9	60	30	4	20.21	13.05
10	60	30	8	24.92	15.39
11	60	70	4	38.65	10.67
12	60	70	8	44.90	10.30
13	60	50	6	32.68	7.67
14	60	50	6	36.99	8.33
15	60	50	6	33.86	12.43

ตารางที่ 9 ค่า water loss และ solid gain ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลกลูโคสเหลวที่สภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองที่	ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล (°B)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (ชม)	water loss กรัมน้ำ/ 100กรัม สับปะรดสด	solid gain กรัมของแข็ง/ 100กรัม สับปะรดสด
1	50	30	6	24.46	14.81
2	50	70	6	40.36	19.05
3	70	30	6	31.24	23.43
4	70	70	6	46.49	30.72
5	50	50	4	23.72	14.27
6	50	50	8	28.05	17.29
7	70	50	4	34.57	22.36
8	70	50	8	40.21	25.25
9	60	30	4	21.55	17.15
10	60	30	8	31.52	22.53
11	60	70	4	37.98	23.60
12	60	70	8	41.89	30.87
13	60	50	6	41.78	19.24
14	60	50	6	40.84	20.05
15	60	50	6	38.25	19.91

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อคัดเลือกสภาวะของตัวแปรที่เหมาะสม

ด้วยการนำค่า water loss และ solid gain มาหาความสัมพันธ์ กับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลา โดยวิธี multiple regression แสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการกำลังสองได้ดังนี้

ตารางที่ 10 สมการ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่า water loss , solid gain และ coefficient of determination (R^2) สำหรับสารละลายน้ำตาลซูโครส (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

Y	สมการ*	R^2
water loss	$Y = -67.537 + 1.091X_1 + 0.779X_2 + 8.038X_3 + 0.003X_1X_2 - 0.006X_1X_3 - 0.0156X_2X_3 - 0.006X_1^2 - 0.005X_2^2 - 0.528X_3^2$	0.9720
solid gain	$Y = 87.95 - 2.719X_1 - 0.577X_2 + 0.593X_3 + 0.0038X_1X_2 - 0.006X_1X_3 - 0.0004X_2X_3 + 0.025X_1^2 + 0.005X_2^2 + 0.047X_3^2$	0.9710

* - สมการ สำหรับ ความเข้มข้น (X_1) 50 - 70 °Brix
อุณหภูมิ (X_2) 30 - 70 °C
เวลา (X_3) 4 - 8 ชม.

ตารางที่ 11 สมการ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่า water loss , solid gain และ coefficient of determination (R^2) สำหรับสารละลายน้ำตาลกลูโคสซีรัป (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

Y	สมการ*	R^2
water loss	$Y = -70.222 + 1.798X_1 + 0.696X_2 + 1.846X_3$ $-0.002X_1X_2 + 0.018X_1X_3 + 0.0096X_2X_3$ $-0.014X_1^2 - 0.004X_2^2 - 0.155X_3^2$	0.9873
solid gain	$Y = 122.99 - 3.503X_1 - 0.447X_2 - 1.167X_3$ $+0.002X_1X_2 - 0.028X_1X_3 - 0.017X_2X_3$ $+0.031X_1^2 + 0.0038X_2^2 + 0.340X_3^2$	0.7046

* - สมการ สำหรับ ความเข้มข้น (X_1) 50 - 70 °Brix
อุณหภูมิ (X_2) 30 - 70 °C
เวลา (X_3) 4 - 8 ชม.

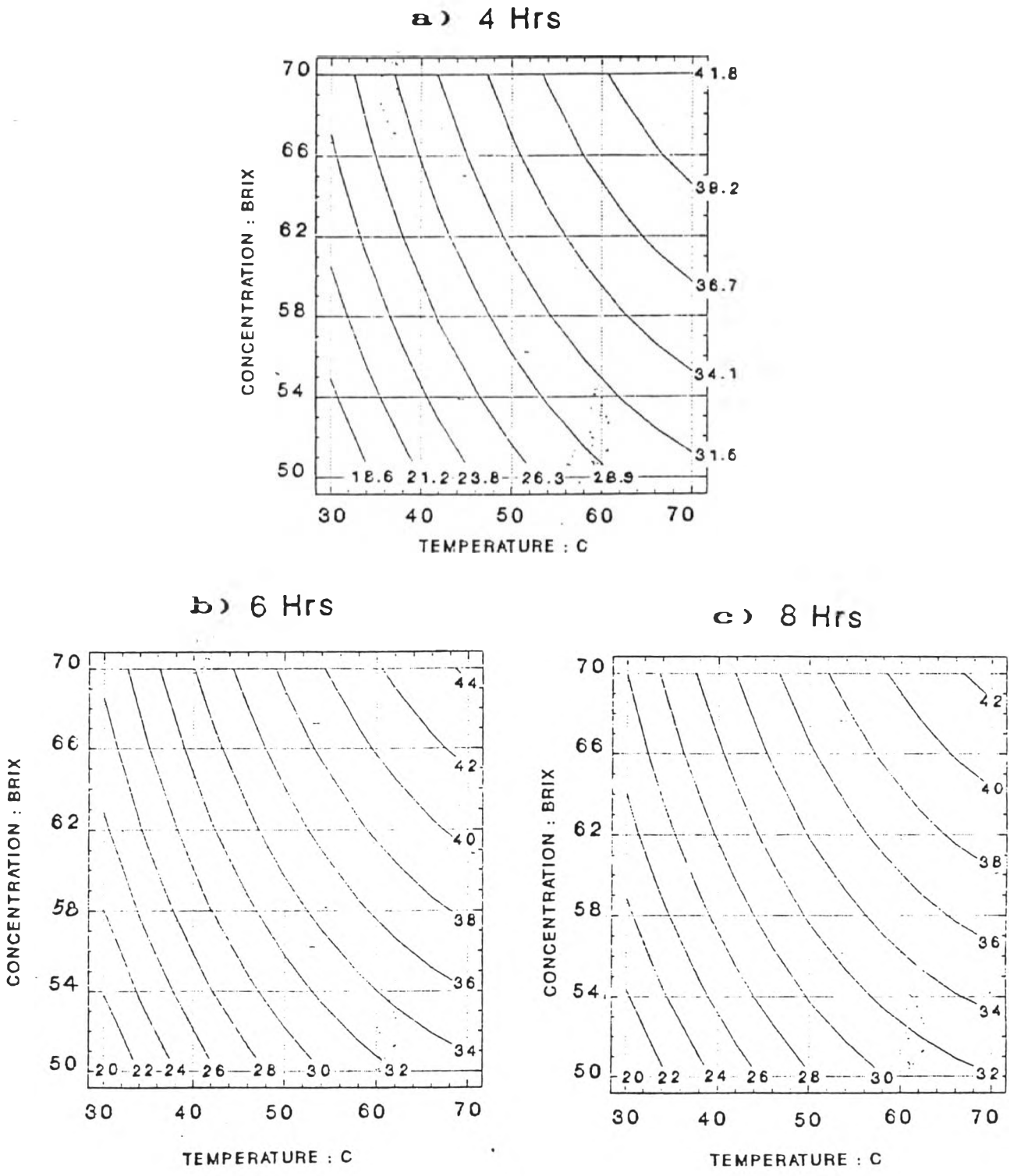
ตารางที่ 12 สมการ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษากับค่า water loss , solid gain และ coefficient of determination (R^2) สำหรับสารละลายน้ำตาลกลูโคสเหลว (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

Y	สมการ*	R^2
water loss	$Y = -199.542 + 4.679X_1 + 0.752X_2 + 16.297X_3$ $-0.0008X_1X_2 + 0.017X_1X_3 - 0.016X_2X_3$ $-0.036X_1^2 + 0.003X_2^2 - 1.272X_3^2$	0.9633
solid gain	$Y = -8.872 + 0.989X_1 - 0.802X_2 - 0.877X_3$ $+0.0038X_1X_2 - 0.0016X_1X_3 + 0.005X_2X_3$ $-0.006X_1^2 + 0.007X_2^2 + 0.164X_3^2$	0.9642

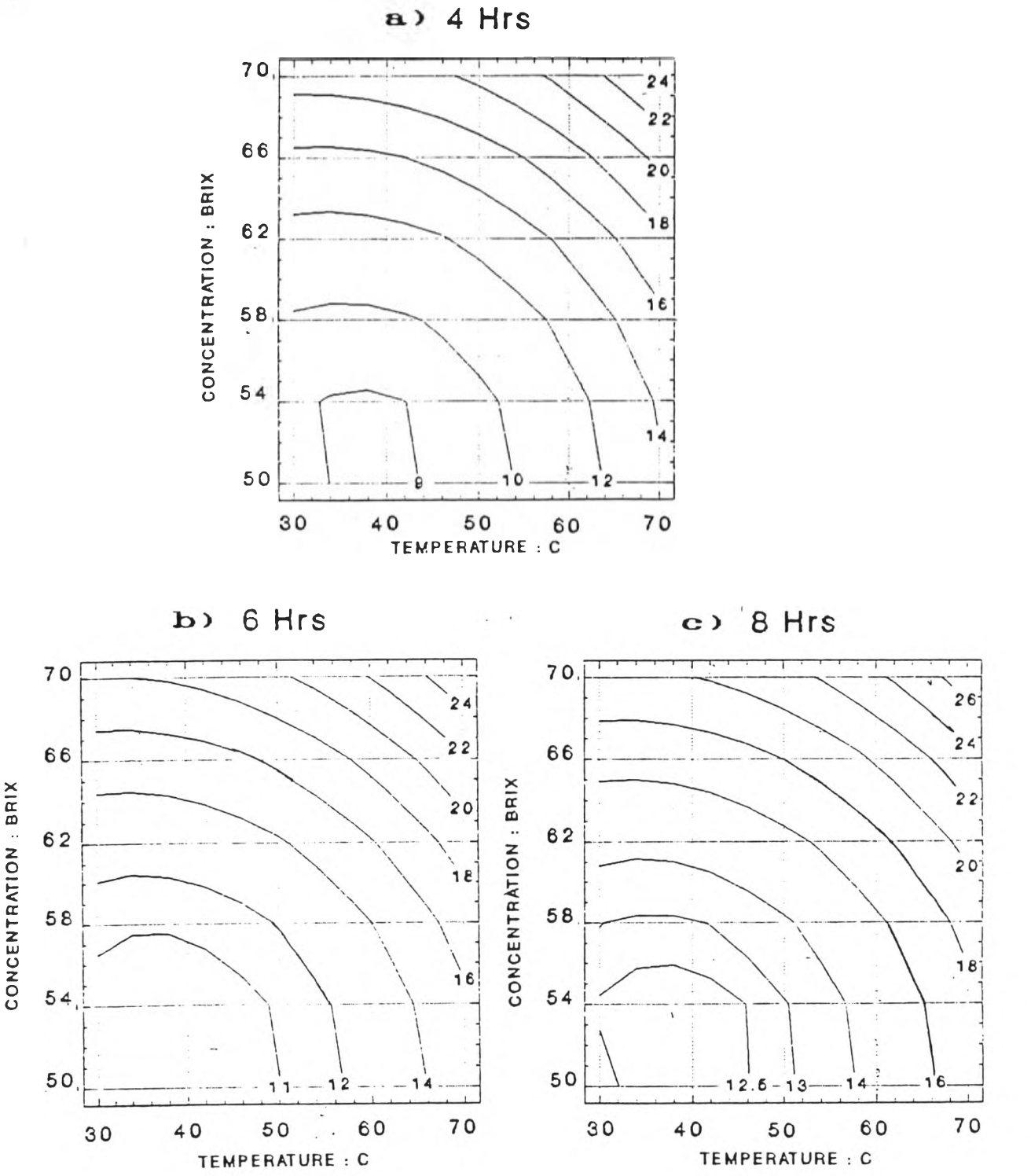
* - สมการ สำหรับ ความเข้มข้น (X_1) 50 - 70 °Brix
อุณหภูมิ (X_2) 30 - 70 °C
เวลา (X_3) 4 - 8 ชม.

จากสมการที่ได้ จะเห็นว่า R^2 มีค่าสูง ดังนั้นจึงใช้สมการนี้ในการคำนวณ ค่า water loss และ solid gain ภายในช่วงของตัวแปรที่ศึกษาได้ จากนั้นใช้โปรแกรมสำเร็จรูป STATGRAPHICS สร้าง contour plot ของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลา ต่อค่า water loss และ solid gain สำหรับน้ำตาลต่างชนิดกัน โดยกำหนดให้เวลาคงที่ ที่ 4, 6 และ 8 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 13 - 18

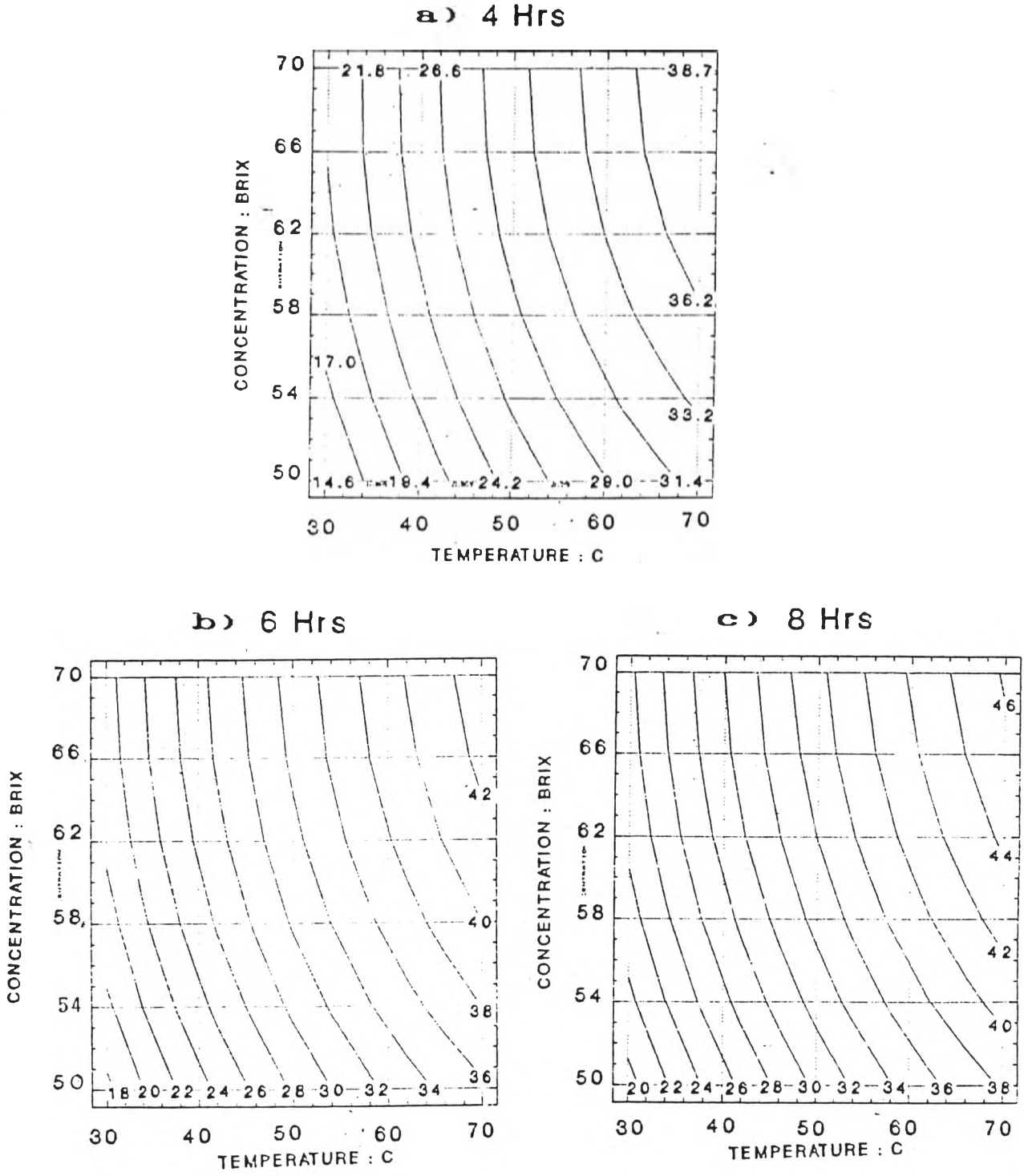
จากสมการที่ได้ สามารถคำนวณค่าสูงสุดและต่ำสุดของ water loss และ solid gain ได้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป STATGRAPHICS ค่าดังกล่าวแสดงในตารางที่ 13



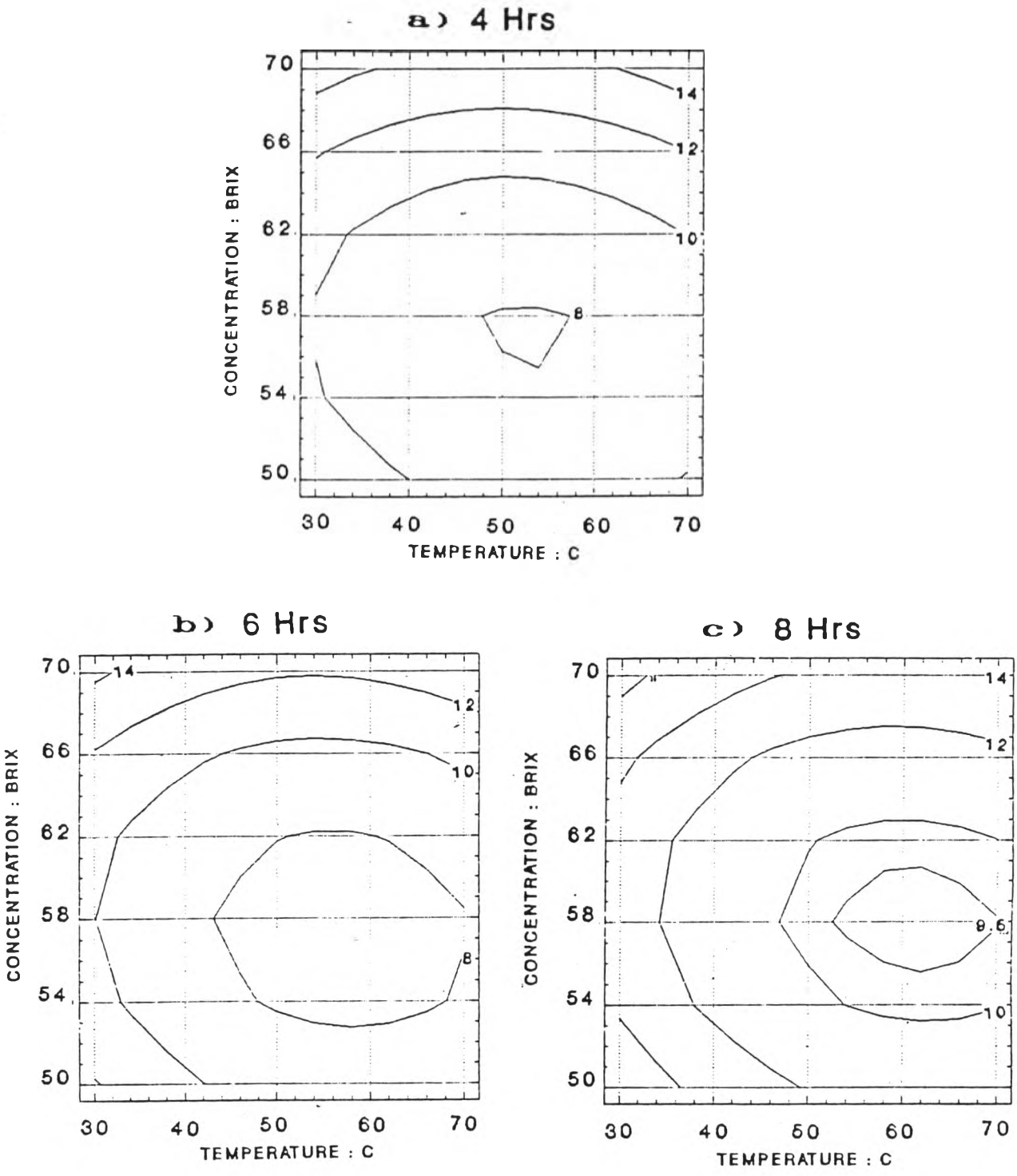
รูปที่ 13 ค่า water loss (กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด) ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นต่างๆ ที่เวลา 4, 6, และ 8 ชม.



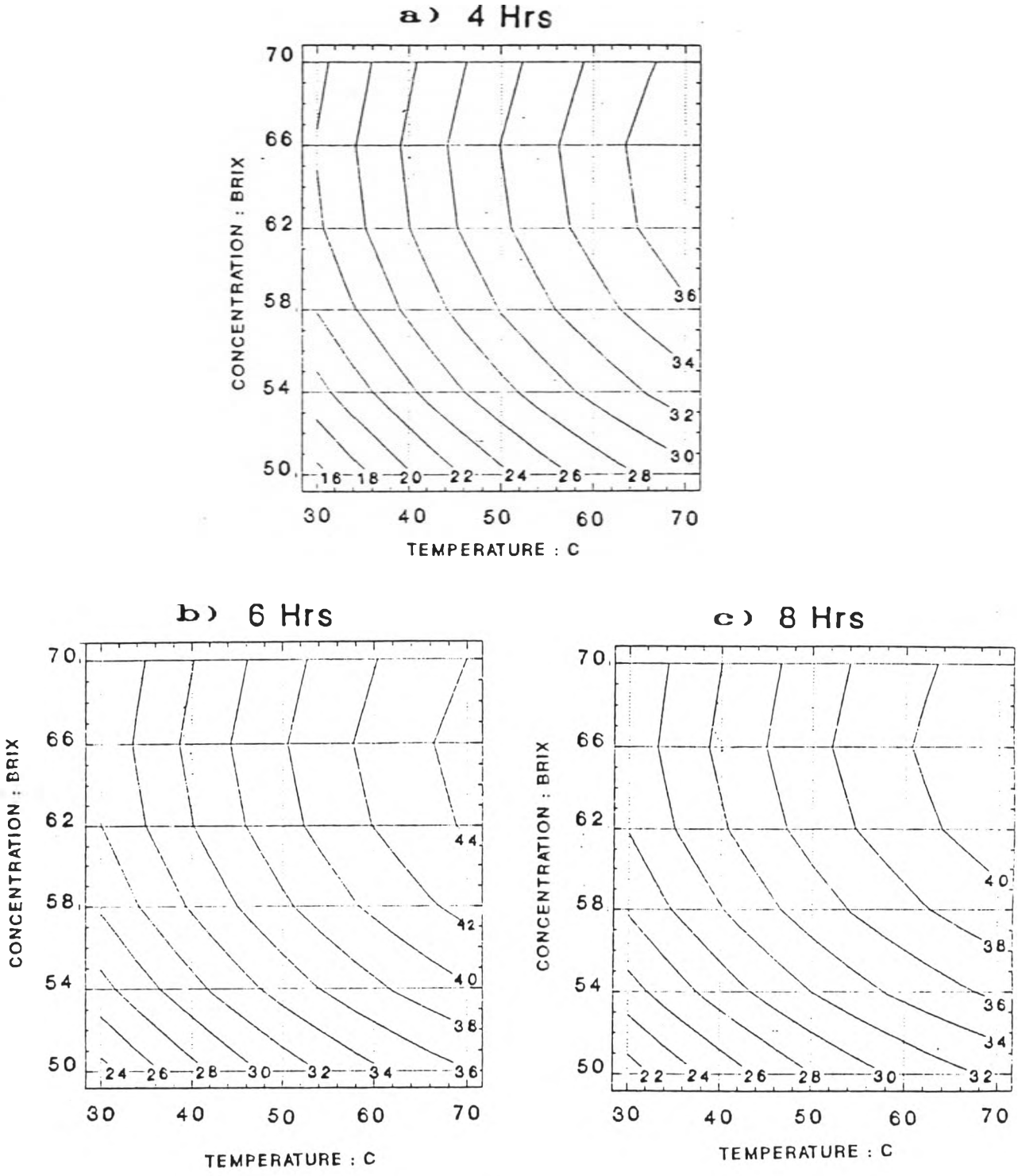
รูปที่ 14 ค่า solid gain (กรัมของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด) ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้นต่างๆ ที่เวลา 4, 6, และ 8 ชม.



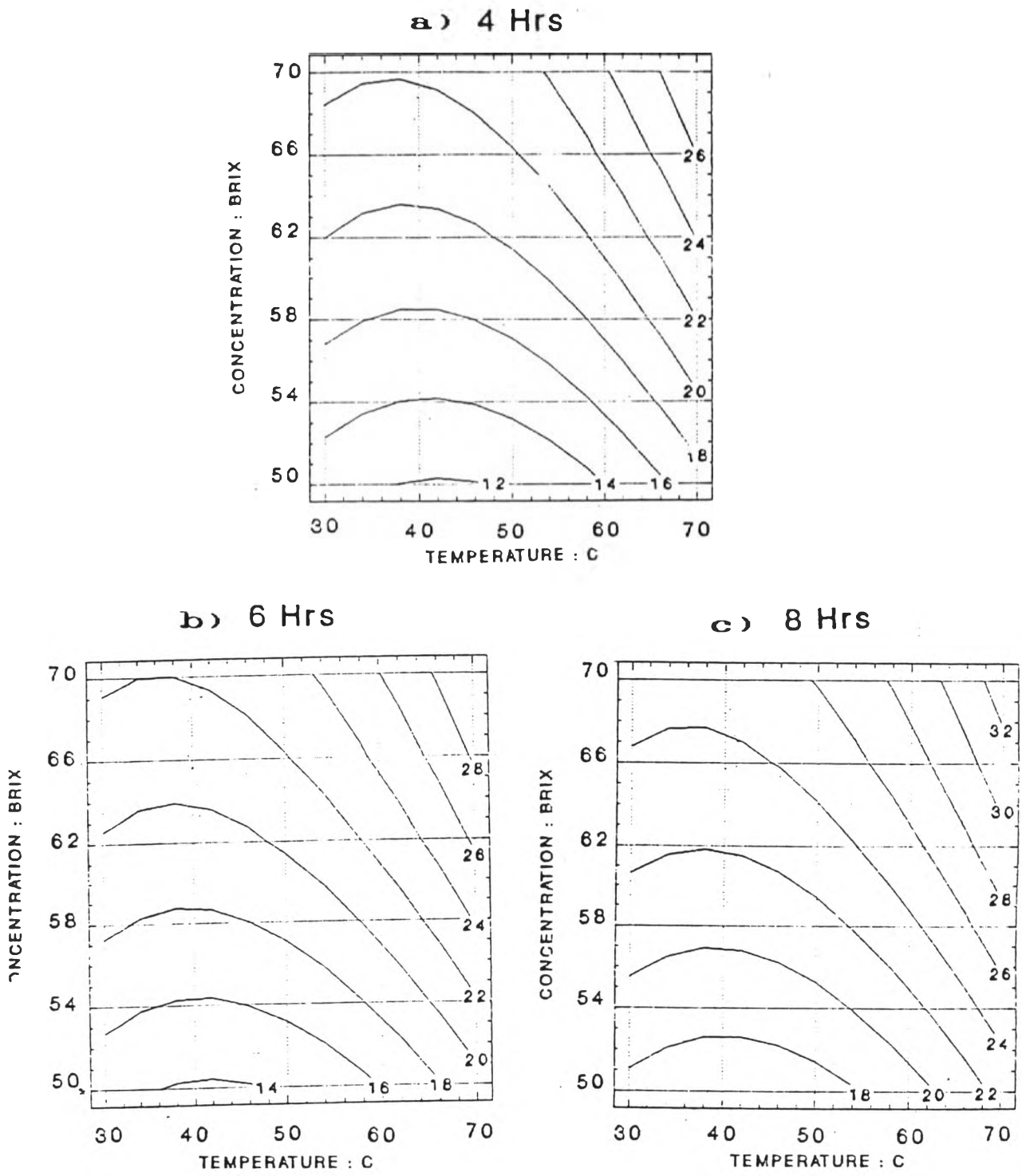
รูปที่ 15 ค่า water loss (กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด) ของสับปะรดที่แช่ใน สารละลายน้ำตาลกลูโคสชีรัปความเข้มข้นต่างๆ ที่เวลา 4, 6, และ 8 ชม.



รูปที่ 16 ค่า solid gain (กรัมของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด) ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลกลูโคสซีรัปความเข้มข้นต่างๆ ที่เวลา 4, 6, และ 8 ชม.



รูปที่ 17 ค่า water loss (กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด) ของสับปะรดที่แช่ใน สารละลายน้ำตาลกลูโคสเหลวความเข้มข้นต่างๆ ที่เวลา 4, 6, และ 8 ชม.



รูปที่ 18 ค่า solid gain (กรัมของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด) ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลกลูโคสเหลวความเข้มข้นต่างๆ ที่เวลา 4, 6, และ 8 ชม.

ตารางที่ 13 ค่าสูงสุด และต่ำสุด ของ water loss และ solid gain

ชนิดของสารละลายน้ำตาล		เวลาในการแช่ ชม.	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ซูโครส	water loss กรัมน้ำ/ 100กรัมสับปะรดสด	4	16.015	41.819
		6	19.995	44.311
		8	19.751	42.579
	solid gain กรัมของแข็ง/ 100กรัมสับปะรดสด	4	8.877	24.182
		6	10.330	25.412
		8	12.154	27.018
กลูโคสซีรับ	water loss กรัมน้ำ/ 100กรัมสับปะรดสด	4	14.610	38.586
		6	17.576	43.040
		8	19.302	46.254
	solid gain กรัมของแข็ง/ 100กรัมสับปะรดสด	4	7.911	14.982
		6	7.263	14.308
		8	9.185	16.554
กลูโคสเหลว	water loss กรัมน้ำ/ 100กรัมสับปะรดสด	4	15.384	37.544
		6	23.278	44.702
		8	20.996	41.684
	solid gain กรัมของแข็ง/ 100กรัมสับปะรดสด	4	11.836	27.764
		6	13.761	29.955
		8	16.648	32.968

สารละลายซูโครส

Water loss

จากรูปที่ 13 countour plot แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล (แกนยืน) อุณหภูมิ (แกนนอน) ต่อค่า water loss ที่เวลาในการแช่ 4, 6 และ 8 ชั่วโมง (รูป a, b, c ตามลำดับ) โดยเส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงค่า water loss คงที่ (iso-response ของค่า water loss) ที่ได้จากสภาวะที่ศึกษาต่างๆ กัน (ตัวเลขที่กำกับไว้ปลายเส้นแสดงค่า water loss กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด)

จากเส้นกราฟที่ได้ แสดงให้เห็นว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลมีค่าคงที่ ในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นตามลำดับ จะทำให้ water loss มีค่าสูงขึ้น ทุกช่วงเวลาที่ใช้ในการแช่ ยกตัวอย่างเช่น ที่เวลาในการแช่ 6 ชั่วโมง (รูป 13b) เมื่อความเข้มข้นมีค่าคงที่เท่ากับ 62 °Brix ในขณะที่อุณหภูมิค่อยๆสูงขึ้นจาก 30°C เป็น 70 °C water loss จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ จาก 25 กรัมน้ำ ไปจนถึง 40 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด ในทำนองเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิมีค่าคงที่ ในขณะที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ก็จะมีผลให้ water loss มีค่าเพิ่มขึ้นที่ทุกช่วงเวลาในการแช่เช่นกัน ตัวอย่างเช่น ที่เวลาในการแช่ 6 ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิมีค่าคงที่เท่ากับ 60 °C ในขณะที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 50°Brix เป็น 70°Brix water loss จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จาก 32 กรัมน้ำ ไปจนถึง 42 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด

Solid gain

จากรูปที่ 14 contour plot แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล (แกนยืน) อุณหภูมิ (แกนนอน) ต่อค่า solid gain ที่เวลาในการแช่ 4, 6 และ 8 ชั่วโมง (รูป a, b, c ตามลำดับ) โดยเส้นกราฟแต่ละเส้นแสดงค่า solid gain คงที่ (iso-response ของค่า solid gain) ที่ได้จากสภาวะที่ศึกษาต่างๆ กัน (ตัวเลขที่กำกับไว้ปลายเส้นแสดงค่า solid gain กรัมของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด)

โดยพิจารณารูป 14a หรือที่เวลาในการแช่ 4 ชั่วโมง พบว่า เส้นกราฟของ solid gain 9 กรัมของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด มีลักษณะต่างจากเส้นกราฟอื่นๆ ซึ่งกราฟในลักษณะดังกล่าวแสดงว่า ความเข้มข้นและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในช่วงนี้ (ความเข้มข้น 50° - 55° Brix, อุณหภูมิ 34° - 44°C) ไม่มีผลให้ solid gain เกิดการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด ต่อเมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้นไปจากนี้ จึงมีผลให้ solid gain มีค่าเพิ่มขึ้น แต่จะสังเกตเห็นว่า ที่ความเข้มข้นมากกว่า 58°Brix ในช่วงอุณหภูมิต่ำๆ ระหว่าง 30° -40°C เส้นกราฟเกือบจะขนานกันกับแกนของอุณหภูมิ แสดงว่าในช่วงดังกล่าวนั้น เมื่อความเข้มข้นคงที่ อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่อ solid gain เพียงเล็กน้อย ต่อเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 40 °C ขึ้นไป อุณหภูมิจึงมีผลให้ solid gain เพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งที่เวลาในการแช่ 6 และ 8 ชั่วโมง ก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน แต่ที่เวลา 8 ชั่วโมง (รูป 14c) ยังพบเส้นกราฟที่มีลักษณะคล้ายกับที่เวลา 4 ชั่วโมงด้วย คือที่เส้นกราฟของ solid gain 12.5 กรัมของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด แสดงการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นและอุณหภูมิในช่วงนี้ (50° - 56°Brix , 30° - 46°C) ไม่มีผลให้ solid gain เกิดการเปลี่ยนแปลง ต่อเมื่อความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงขึ้นไปจากนี้ จึงมีผลให้ solid gain มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

สำหรับการคัดเลือกสภาวะที่ให้ค่า water loss สูงสุด แสดงได้ดังนี้

จากตารางที่ 13 ซึ่งแสดงค่าสูงสุดและต่ำสุดของ water loss , solid gain ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบค่า water loss ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชั่วโมง จะเห็นว่าที่เวลาในการแช่ 6 ชั่วโมง ให้ค่า water loss สูงสุด 44.3 กรัมน้ำ / 100กรัมสับปะรดสด ในขณะที่เวลา 8 ชั่วโมง กลับให้ค่า water loss ต่ำกว่า คือ 42.6 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด ดังนั้นจึงได้เลือกพิจารณาเส้นกราฟของ water loss 44 กรัมน้ำ /100กรัมสับปะรดสด ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุด ที่เวลาในการแช่ 6 ชั่วโมง (รูปที่ 13b) แต่จะเห็นว่าเส้นกราฟที่ให้ค่าดังกล่าวสั้นมาก ดังนั้นจึงได้พิจารณาเส้นกราฟ water loss 42 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด แทนเพราะจะทำให้มีโอกาสในการเลือกสภาวะได้กว้างกว่า ซึ่งสภาวะที่ให้ค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงความเข้มข้น 65-70 °Brix และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 61-70°C ในขณะที่กราฟของเวลา 8 ชั่วโมง (รูปที่ 13c) สภาวะที่ให้ค่า water loss เท่ากัน อยู่ในช่วงความเข้มข้น 68-70 °Brix และ อุณหภูมิ 67-70 °C และใช้เวลาในการแช่นานกว่า ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย จึงเลือกสภาวะบนเส้นกราฟ 42 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด

ที่เวลาในการแช่ 6 ชั่วโมง เพื่อใช้แช่สับปะรดก่อนนำไปอบแห้งต่อไป แต่เนื่องจากอุณหภูมิซึ่งมีผลให้ค่า water loss เท่ากันนี้อยู่ในช่วง 61° - 70°C จึงต้องทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ เพื่อจะเลือกอุณหภูมิที่จะใช้ต่อไป โดยมีเกณฑ์การพิจารณาเลือกสภาวะดังนี้

1) ผลของอุณหภูมิต่อสีของสับปะรดแห้ง

เนื่องจากอุณหภูมิในการแช่อาจมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์สับปะรด จึงได้ทดลองแช่สับปะรดที่สภาวะ เมื่ออุณหภูมิต่ำสุด (ความเข้มข้น 70°Brix อุณหภูมิ 61°C) และอุณหภูมิสูงสุด (ความเข้มข้น 65°Brix อุณหภูมิ 70°C) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งอ่านได้จากกราฟรูป 13b ที่ให้ค่า water loss 42 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด ดังได้กล่าวแล้ว จากนั้นนำไปอบแห้งในตู้อบสุญญากาศ ประเมินผลโดยการวัดสีของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งด้วยเครื่องวัดสี ACS วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block ทดลอง 4 ซ้ำ ผลการวัดสีแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลของอุณหภูมิต่อสีของสับปะรดแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครส

สภาวะที่ใช้ในการออสโมซิส	ค่าการวัดสีของสับปะรดแห้ง				
	L^{*} ns	a^{*} ns	b^{*} ns	c^{*} ns	h ns
สารละลายซูโครส 70 °Brix อุณหภูมิ 61°C, เวลา 6 ชม.	64.28	-0.21	16.12	16.12	90.86
สารละลายซูโครส 65 °Brix อุณหภูมิ 70 °C, เวลา 6 ชม.	62.14	0.46	17.65	17.66	88.46

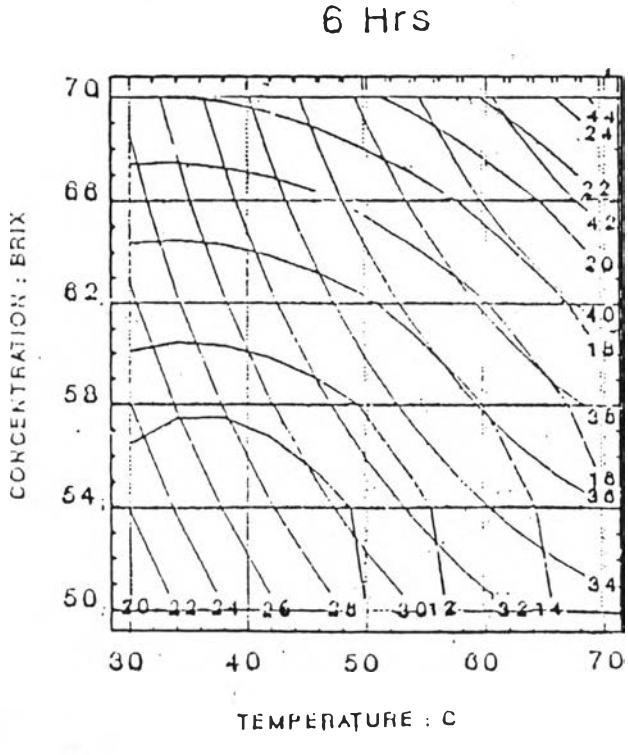
ns - ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จากตาราง แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมซิสในช่วง 61° - 70 °C ไม่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์สับปะรดอย่างมีนัยสำคัญ แต่อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลให้ค่า L^{*} (Lightness) ลดลงเล็กน้อย ค่า a^{*} มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นค่า (+) แสดงว่าค่อนไปสีแดงขึ้น สำหรับค่า b^{*} แสดงค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

2) ผลของ solid gain

จากการพิจารณาทั้งค่า water loss และ solid gain โดยมีจุดประสงค์ที่จะเลือกสภาวะที่ให้ค่า water loss สูงสุด และ solid gain ต่ำ จึงได้ทำการซ้อนกราฟของค่า water loss และ ค่า solid gain ดังแสดงในรูปที่ 19 ซึ่งพบว่า ที่สภาวะความเข้มข้น 65 °Brix อุณหภูมิ 70°C บนเส้นกราฟ 42 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด ให้ค่า solid gain 21 กรัมของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด ในขณะที่สภาวะความเข้มข้น 70 °Brix อุณหภูมิ 61°C ให้ค่า solid gain ประมาณ 22 กรัมของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด

ดังนั้นจากการพิจารณาผลของอุณหภูมิร่วมกับผลของ solid gain จึงได้เลือกสภาวะของสารละลายซูโครส ความเข้มข้น 65° Brix อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งเป็นสภาวะที่ให้ค่า water loss สูงสุด และค่า solid gain ต่ำสุด



รูปที่ 19 การซ้อนกราฟของค่า water loss และ solid gain ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส ที่เวลา 6 ชั่วโมง

สารละลายกลูโคสซีรัป

Water loss

จากรูปที่ 15 contour plot แสดงค่า water loss ของสับปะรดในสารละลายกลูโคสซีรัป พบว่า มีลักษณะคล้ายคลึงกับของสารละลายซูโครส (รูปที่ 13) ต่างกันเพียงเล็กน้อยตรงที่เส้นกราฟ water loss ของสารละลายกลูโคสซีรัป อยู่ในแนวตั้งมากกว่าหรือขนานกับแกนของความเข้มข้นมากกว่า ซึ่งจะเห็นลักษณะดังกล่าวได้ชัดเจน ที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลมีค่าสูงกว่า 62°Brix ขึ้นไป ซึ่งแสดงว่าเมื่ออุณหภูมิคงที่ ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นจาก 62° - 70°Brix มีผลต่อค่า water loss ไม่มากนัก ในขณะที่ช่วงความเข้มข้นต่ำลงมาจะมีผลมากกว่า ยกตัวอย่างเช่น ที่เวลาในการแช่ 6 ชั่วโมง (รูปที่ 15b) ที่อุณหภูมิคงที่ 50°C เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 53 °Brix เป็น 58°Brix water loss มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 30 เป็น 32 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด ในขณะที่เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น เช่น จาก 64°Brix เป็น 69°Brix water loss มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยกว่า คือจากค่า water loss 34 เป็นค่า 35 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสดโดยประมาณ ส่วนอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ความเข้มข้นคงที่ จะมีผลให้ water loss มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ในทุกช่วงเวลาที่ใช้ในการแช่

Solid gain

จากรูปที่ 16 contour plot แสดงค่า solid gain ของสับปะรดในสารละลายกลูโคสซีรัปที่เวลาในการแช่ 4, 6 และ 8 ชั่วโมง จะเห็นว่า contour plot ลักษณะเป็นวงรีซ้อนกัน เส้นวงรีแต่ละเส้นแสดงค่า solid gain คงที่ (iso-response) ที่ได้จากสภาวะที่ศึกษาต่างๆกัน contour plot ในลักษณะดังกล่าวจะแสดงค่าสูงสุด (maximum) หรือต่ำสุด (minimum) ของ response อยู่ที่ผ่าแหน่งจุดกึ่งกลางของเส้นวงในสุด สำหรับในรูปกราฟนี้แสดงค่าต่ำสุดของ solid gain อยู่ที่จุดกึ่งกลาง ยกตัวอย่างเช่นที่เวลาในการแช่ 6 ชั่วโมง ตำแหน่งจุดกึ่งกลางของเส้นวงในสุดอยู่ที่สภาวะความเข้มข้น 57°Brix อุณหภูมิ 58°C โดยประมาณ เมื่อลากเส้นผ่านจุดดังกล่าวทั้งในแนวแกนอินและแกนนอน จะสังเกตเห็นว่า เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 50°Brix ไปจนถึง 57°Brix จะมีผลให้ solid gain มีค่าลดลงที่ทุกๆ อุณหภูมิที่ใช้

จนกระทั่งเมื่อความเข้มข้นเพิ่มสูงกว่า 57 °Brix ขึ้นไป จึงมีผลให้ solid gain มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน อุณหภูมิที่สูงขึ้นจาก 30°C ไปจนถึง 58°C จะมีผลให้ solid gain มีค่าลดลง ที่ทุกๆ ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล จนกระทั่งเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 58°C ขึ้นไป จึงมีผลให้ solid gain เพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งที่เวลาในการแช่ 4 และ 8 ชั่วโมง ก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน

สำหรับการคัดเลือกสภาวะที่ให้ค่า water loss สูงสุด แสดงได้ดังนี้

จากตารางที่ 13 เมื่อเปรียบเทียบค่า water loss ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชั่วโมง จะเห็นว่าที่เวลาในการแช่ 8 ชั่วโมง ให้ค่า water loss สูงสุด 46.3 กรัมน้ำ / 100กรัมสับปะรดสด ดังนั้นจึงได้เลือกพิจารณาเส้นกราฟของ water loss 46 กรัมน้ำ/100 กรัมสับปะรดสด ที่เวลาในการแช่ 8 ชั่วโมง (รูปที่ 15c) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุด แต่จะเห็นว่าเส้นกราฟที่ให้ค่าดังกล่าวสั้นมาก ดังนั้นจึงได้พิจารณาเส้นกราฟ water loss 44 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด แทนเพราะจะทำให้มีโอกาสในการเลือกสภาวะได้กว้างกว่า ซึ่งสภาวะที่ให้ค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงความเข้มข้น 61-70°Brix และ อุณหภูมิอยู่ในช่วง 64-70°C จึงทำการเลือกสภาวะบนเส้นกราฟที่ให้ค่า water loss สูงสุดนี้ แต่เนื่องจากอุณหภูมิซึ่งมีผลให้ค่า water loss เท่ากันนี้อยู่ในช่วง 64 - 70°C จึงต้องทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ เพื่อจะเลือกอุณหภูมิที่จะใช้ต่อไป โดยมีเกณฑ์การพิจารณาเลือกสภาวะดังนี้

1) ผลของอุณหภูมิต่อสีของสับปะรดแห้ง

ทดลองแช่สับปะรดในสารละลายกลูโคสซิรัปที่สภาวะเมื่ออุณหภูมิต่ำสุด (ความเข้มข้น 70 °Brix อุณหภูมิ 64 °C) และอุณหภูมิสูงสุด (ความเข้มข้น 61 °Brix อุณหภูมิ 70 °C) เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งอ่านค่าได้จากกราฟรูป 15c ที่ให้ค่า water loss 44 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด ดังได้กล่าวแล้ว จากนั้นนำไปอบแห้งในตู้อบสุญญากาศ ประเมินผลโดยการวัดสีด้วยเครื่อง ACS วางแผนการทดลองแบบ randomized complete blockทดลอง 4 ซ้ำ ผลการวัดสีแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลของอุณหภูมิต่อสีของสับปะรดแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายกลูโคสซีรัป

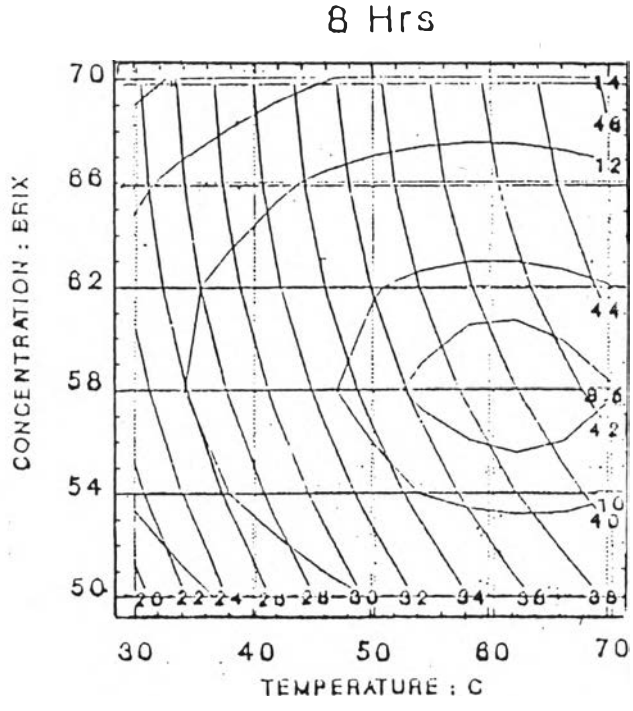
สภาวะที่ใช้ในการออสโมซิส	ค่าการวัดสีของสับปะรดแห้ง				
	L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}	c^{*ns}	h^{ns}
สารละลายกลูโคสซีรัป 70 °Brix อุณหภูมิ 64 °C เวลา 8 ชั่วโมง	63.8	2.29	23.13	23.17	87.97
สารละลายกลูโคสซีรัป 61 °Brix อุณหภูมิ 70 °C เวลา 8 ชั่วโมง	60.99	3.20	21.08	21.11	87.09

ns - ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จากตาราง แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมซิสในช่วง 64° - 70 °C ไม่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์สับปะรดสดอย่างมีนัยสำคัญ แต่อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลให้ค่า L^* (Lightness) ลดลงเล็กน้อย ค่า a^* มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นค่า (+) แสดงว่าค่อนไปสีแดง สำหรับค่า b^* แสดงค่าสีเหลืองลดลงเพียงเล็กน้อย

2) ผลของ solid gain

จากการพิจารณาค่า water loss และ solid gain โดยมีจุดประสงค์ที่จะเลือกสภาวะที่ให้ค่า water loss สูงสุด และ solid gain ต่ำ จึงได้ทำการซ้อนกราฟของค่า water loss (รูปที่ 15c) และค่า solid gain (รูปที่ 16c) ดังแสดงในรูปที่ 20 พบว่าที่สภาวะความเข้มข้น61°Brix อุณหภูมิ 70°C ซึ่งเป็นสภาวะที่ได้คัดเลือกแล้วบนเส้นกราฟ 44 กรัมน้ำ /100กรัมสับปะรดสด ให้ค่า solid gain 10 กรัมของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด ในขณะที่สภาวะความเข้มข้น 70°Brix อุณหภูมิ 64°C ให้ค่า solid gain 13 กรัมของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด



รูปที่ 20 การซ้อนกราฟของค่า water loss และ solid gain ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลกลูโคสซีรัป ที่เวลา 8 ชั่วโมง

ดังนั้นจากการพิจารณาผลของอุณหภูมิร่วมกับผลของ solid gain จึงได้เลือกสภาวะของสารละลายกลูโคสซีรัป ความเข้มข้น 61° Brix อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ซึ่งเป็นสภาวะที่ให้ค่า water loss สูงสุด และค่า solid gain ต่ำสุด

สารละลายกลูโคสเหลว

Water loss

จากรูปที่ 17 contour plot แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสเหลว และ อุณหภูมิต่อค่า water loss ที่เวลาในการแช่ 4, 6 และ 8 ชั่วโมง (รูป a , b , c ตามลำดับ) ซึ่งพบว่า มีลักษณะแตกต่างเล็กน้อย จากสารละลาย 2 ชนิดที่กล่าวมาแล้ว คือ เมื่ออุณหภูมิคงที่ ในขณะที่ความเข้มข้น เพิ่มขึ้นจาก 50°Brix จนกระทั่งถึง 66°Brix นั้น จะมีผลให้ water loss มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน แต่เมื่อความเข้มข้นสูงไปกว่านั้น คือช่วง 66° - 70° Brix จะมีผลให้ water loss มีค่าลดลงเล็กน้อย ซึ่งให้ผลในลักษณะเดียวกันนี้ ในทุกช่วงเวลาที่ใช้ในการแช่ ยกตัวอย่างเช่น ที่กราฟของเวลา 6 ชั่วโมง (รูปที่ 17b) ที่อุณหภูมิคงที่ 50°C เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 50 °Brix ถึง 66 °Brix ค่า water loss จะเพิ่มขึ้นโดยลำดับจาก 31 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด จนมีค่า 40 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด จากนั้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น กลับมีผลให้ water loss ลดลงเป็น 39.5 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด สำหรับผลของอุณหภูมิ พบว่า เมื่อความเข้มข้นคงที่ อุณหภูมิที่สูงขึ้น มีผลให้ water loss เพิ่มขึ้นในทุกช่วงเวลาที่ใช้ในการแช่

Solid gain

จากรูปที่ 18 contour plot แสดงผลของความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสเหลว อุณหภูมิ ต่อค่า solid gain ที่เวลาในการแช่ 4, 6 และ 8 ชั่วโมง (รูป a, b, c ตามลำดับ) พบว่า เมื่ออุณหภูมิคงที่ ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ solid gain เพิ่มขึ้นทุกช่วงเวลาในการแช่ แต่เมื่อความเข้มข้นคงที่ อุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วง 40° - 70°C เท่านั้น ที่จะมีผลให้ solid gain เพิ่มขึ้น สำหรับช่วงอุณหภูมิต่ำลงมาจาก 40°C การเพิ่มอุณหภูมิกลับมีผลให้ solid gain ลดลงในทุกช่วงเวลาที่ใช้ในการแช่

สำหรับการคัดเลือกสภาวะที่ให้ค่า water loss สูงสุด แสดงได้ดังนี้

จากตารางที่ 13 เมื่อเปรียบเทียบค่า water loss ที่เวลา 4, 6 และ 8 ชั่วโมง จะเห็นว่าที่เวลาในการแช่ 6 ชั่วโมง ให้ค่า water loss สูงสุด 44.7 กรัมน้ำ / 100 กรัมสับปะรดสด ในขณะที่เวลา 8 ชั่วโมงกลับให้ค่า water loss ต่ำกว่า คือ 41.7 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด ดังนั้นจึงได้เลือกพิจารณาเส้นกราฟของ water loss 44 กรัมน้ำ ที่เวลาในการแช่ 6 ชั่วโมง (รูปที่ 17 b) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าสูงสุด จะเห็นว่าสภาวะที่ให้ค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงความเข้มข้น 62-70 °Brix และอุณหภูมิอยู่ในช่วง 66-70 °C จึงทำการเลือกสภาวะบนเส้นกราฟที่ให้ค่า water loss สูงสุดนี้ แต่เนื่องจากอุณหภูมิซึ่งมีผลให้ค่า water loss เท่ากันนี้อยู่ในช่วง 66 - 70°C จึงต้องทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ เพื่อจะเลือกอุณหภูมิที่จะใช้ต่อไป โดยมีเกณฑ์การพิจารณาเลือกสภาวะดังนี้

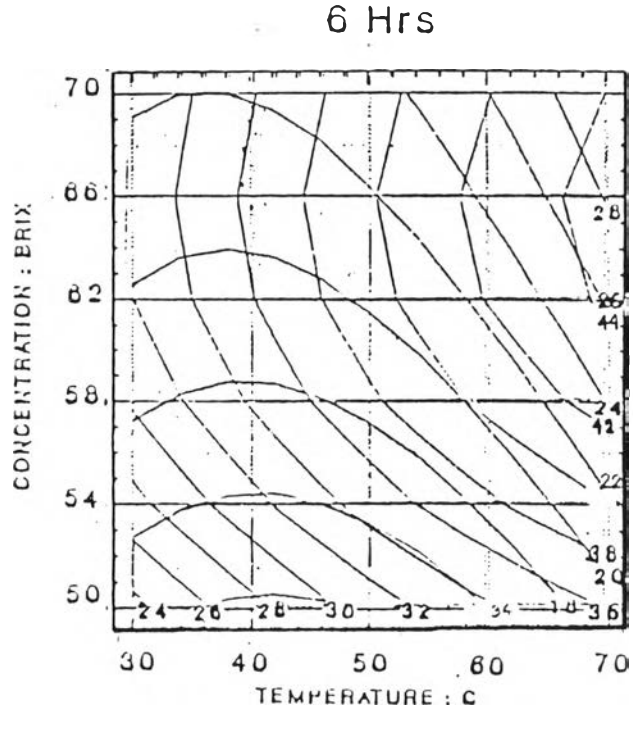
1) ผลของอุณหภูมิต่อสีของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้ง

เนื่องจากเส้นกราฟมีลักษณะหักมุม สภาวะที่อุณหภูมิต่ำสุด ที่ความเข้มข้น 66 °Brix อุณหภูมิ 66 °C ซึ่งอ่านค่าได้จากกราฟรูปที่ 17b ที่เส้น water loss ที่ได้เลือกแล้ว คือ 44 กรัมน้ำ/100กรัมสับปะรดสด ส่วนสภาวะที่อุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ที่ปลายเส้นกราฟทั้งสองด้าน คือสภาวะความเข้มข้น 62 °Brix อุณหภูมิ 70°C และสภาวะความเข้มข้น 70 °Brix อุณหภูมิ 70 °C ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิต่ำสุด - สูงสุด บนเส้นกราฟมีความแตกต่างกันไม่มาก (4°C) เมื่อเทียบกับสารละลายซูโครส ที่มีอุณหภูมิต่ำสุด - สูงสุดบนเส้นกราฟต่างกัน 9°C และสารละลายกลูโคสซีรัปต่างกัน 6°C ซึ่งจากผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมซิส ไม่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์สับปะรดอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงน่าจะประเมินผลได้เช่นกันว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการออสโมซิสในช่วง 66° -70°C สำหรับสารละลายกลูโคสเหลวไม่มีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์

2) ผลของ Solid gain

โดยการพิจารณาทั้งค่า water loss และ solid gain เช่นเดียวกับสารละลายซูโครส และกลูโคสซีรัป จึงได้ทำการซ้อนกราฟของค่า water loss และค่า solid gain ดังแสดงในรูปที่ 21 พบว่าที่สภาวะความเข้มข้น 62 °Brix อุณหภูมิ 70°C ให้ค่า solid gain 26 กรัมของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด ในขณะที่สภาวะความเข้มข้น 66°Brix อุณหภูมิ 66°C ให้ค่า solid gain 27 กรัมของแข็ง/100กรัมสับปะรดสด

ดังนั้นจากการพิจารณาผลของอุณหภูมิร่วมกับผลของ solid gain จึงได้เลือกสภาวะของสารละลายกลูโคสเหลว ความเข้มข้น 62° Brix อุณหภูมิ 70 °C เวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งเป็นสภาวะที่ให้ค่า water loss สูงสุด และค่า solid gain ต่ำสุด



รูปที่ 21 การซ้อนกราฟของค่า water loss และ solid gain ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลกลูโคสเหลว ที่เวลา 6 ชั่วโมง

สรุปผลการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสารละลายน้ำตาลแต่ละชนิดได้แสดงไว้ในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 สภาวะที่ใช้ในการแช่สับปะรด, ค่า water loss และ ค่า solid gain

สภาวะที่ใช้ในการแช่สับปะรด	water loss g น้ำ/100g สับปะรดสด	solid gain g ของแข็ง/100g สับปะรดสด
สารละลายซูโครส 65 °Brix อุณหภูมิ 70 °C, เวลา 6 ชม.	42	21
สารละลายกลูโคสซีรัป 61 °Brix อุณหภูมิ 70 °C, เวลา 8 ชม.	44	10
สารละลายกลูโคสเหลว 62°Brix อุณหภูมิ 70 °C, เวลา 6 ชม.	44	26

เลขหมู่ 635
เลขทะเบียน 1188
วันเดือนปี 27 ต.ค. 2535

4.3 ผลของสภาวะการอบแห้ง

4.3.1 ผลการหาเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

ทดลองอบแห้งสับปะรดที่ผ่านการออสโมซิสด้วยสภาวะที่คัดเลือกแล้ว ด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ ค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการอบแห้งสับปะรดกับเวลา แสดงไว้ในตารางที่ 17, 18, 19

ตารางที่ 17 ค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาของการอบแห้งสับปะรดที่แช่ในสารละลายซูโครส ด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ

เวลา (นาที)	ความชื้นของสับปะรด (% น้ำหนักเปียก)	
	ตู้อบลมร้อน	ตู้อบสุญญากาศ
0	57.0	57.0
30	48.8	54.5
60	44.6	52.6
90	41.4	50.8
120	38.5	48.5
180	33.8	43.5
240	29.9	37.9
300	26.5	32.0
360	23.8	26.2
420	21.3	21.8
480	18.5	16.2
540	16.3	13.5
600	15.0	–
660	13.5	–

ตารางที่ 18 ค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาของการอบแห้งสับปะรดที่แช่ในสารละลายกลูโคสซีรัป ด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ

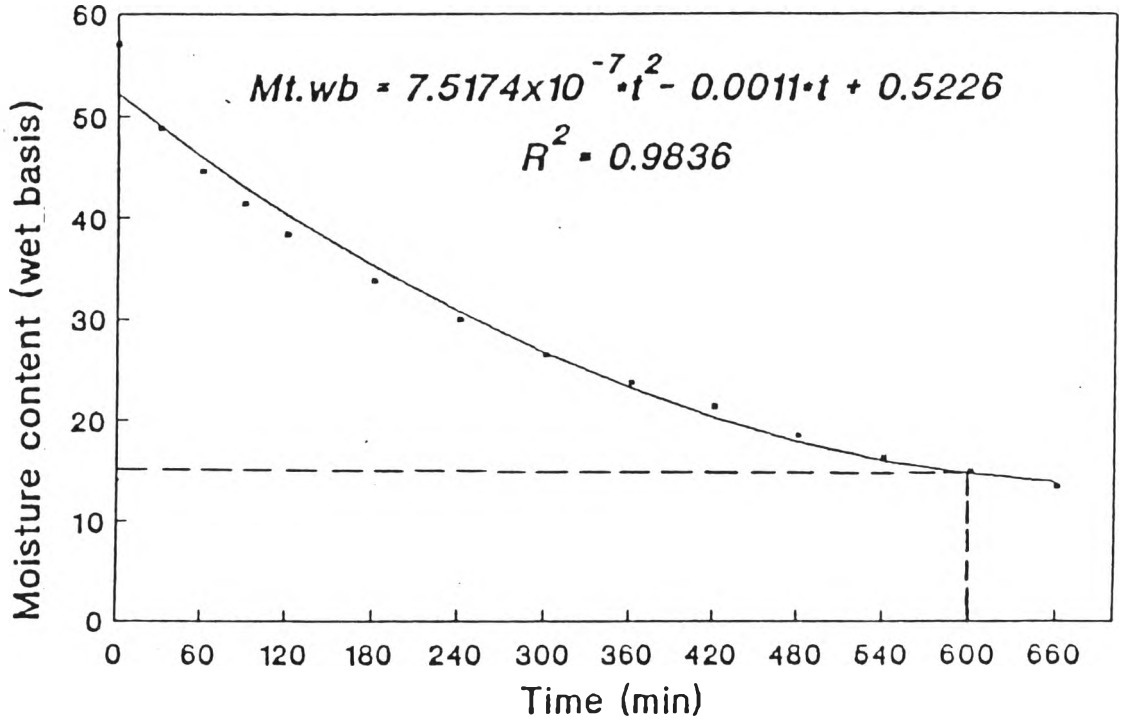
เวลา (นาที)	ความชื้นของสับปะรด (% น้ำหนักเปียก)	
	ตู้อบลมร้อน	ตู้อบสุญญากาศ
0	59.6	59.6
30	53.9	-
60	48.7	56.4
90	44.6	53.1
120	40.9	49.2
180	34.2	41.0
240	28.5	32.3
300	23.2	22.6
360	19.4	14.2
420	16.7	9.7
480	14.1	-
600	13.0	-

ตารางที่ 19 ค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาของการอบแห้งสับปะรดที่แช่ใน สารละลายกลูโคสเหลว ด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ

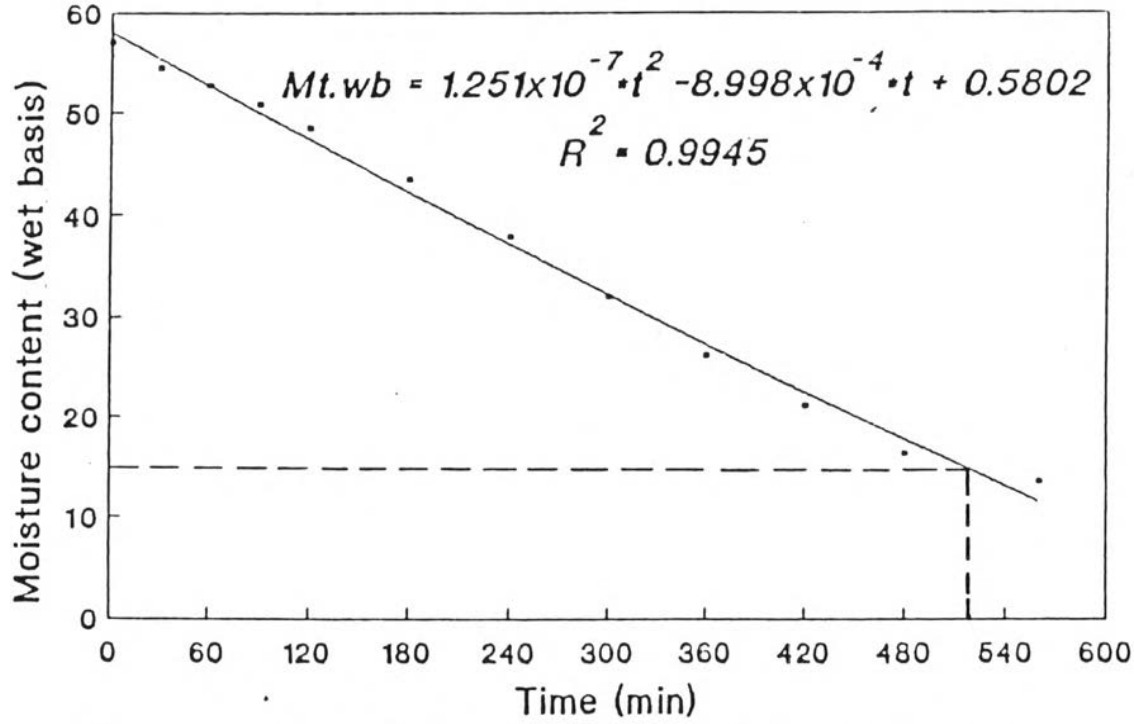
เวลา (นาที)	ความชื้นของสับปะรด (% น้ำหนักเปียก)	
	ตู้อบลมร้อน	ตู้อบสุญญากาศ
0	56.8	56.8
30	49.0	54.5
60	43.0	52.2
90	39.1	49.4
150,(120)	32.0	(46.6)
210,(180)	26.5	(40.0)
270,(240)	22.0	(33.3)
330,(300)	18.3	(26.3)
390,(360)	15.6	(18.4)
450,(420)	13.4	(11.8)
480	13.0	

(...) - แสดงเวลาและความชื้นที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาของการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ

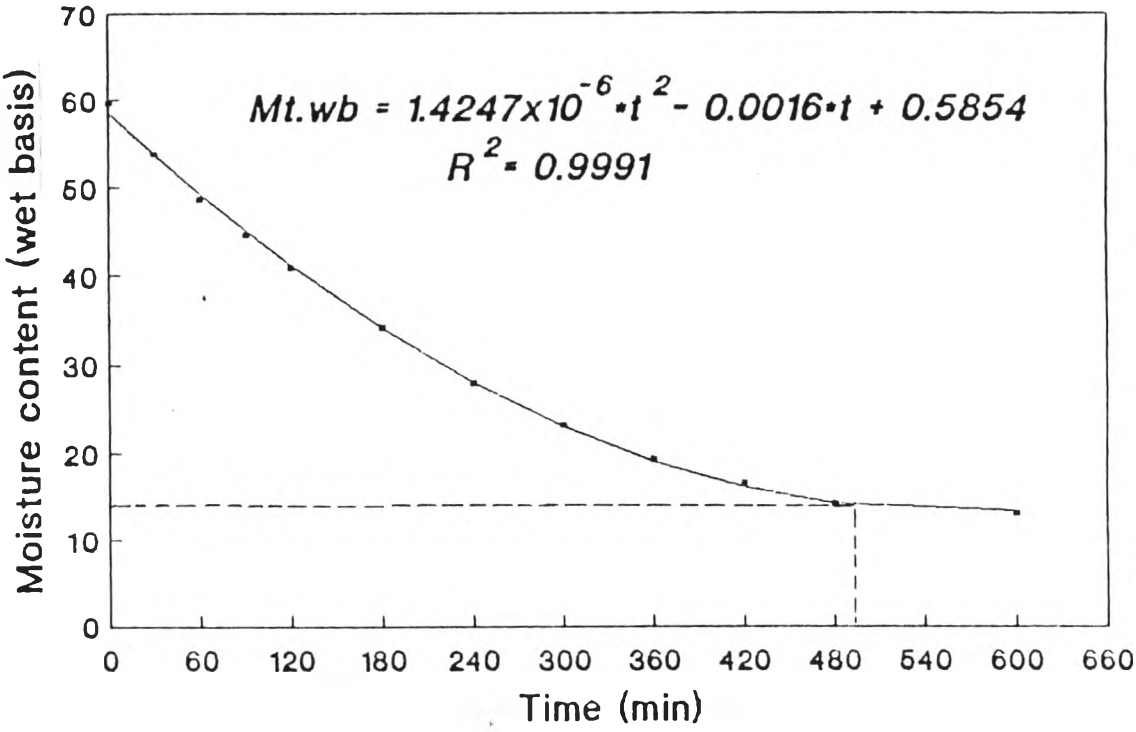
จากผลการทดลองที่ได้ นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา โดยวิธี multiple regression ในรูปสมการกำลังสอง ซึ่งจะเห็นว่า R^2 มีค่าสูง ดังนั้นจึงใช้สมการนี้ในการคำนวณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา และสร้างกราฟการอบแห้งได้ กราฟการอบแห้งและสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาได้แสดงไว้ในรูปที่ 22-27



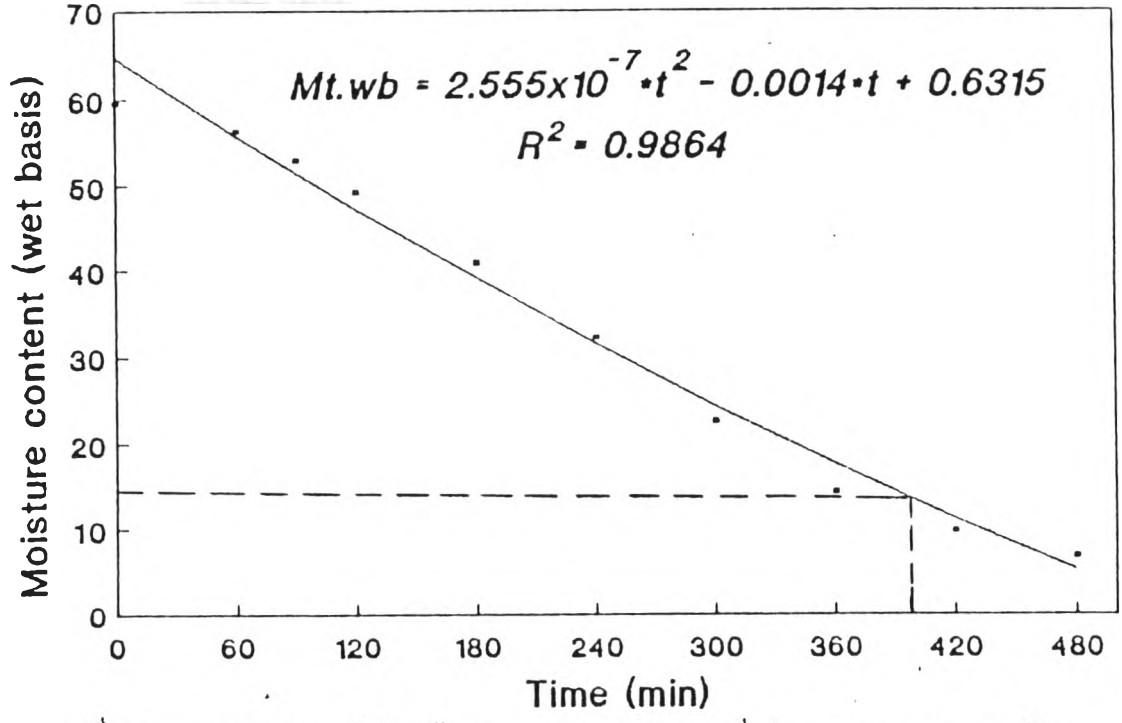
รูปที่ 22 กราฟการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนของสับปะรดที่แช่ในสารละลายซูโครส 65°B, 70°C



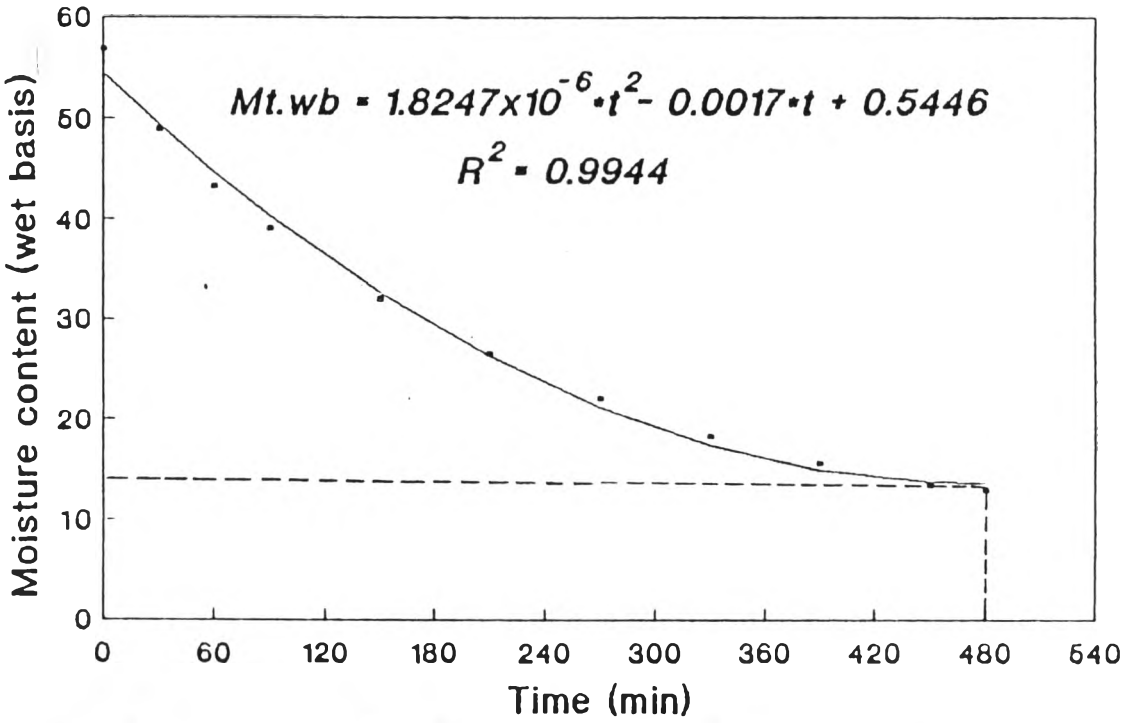
รูปที่ 23 กราฟการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศของสับปะรดที่แช่ในสารละลายซูโครส 65°B, 70°C



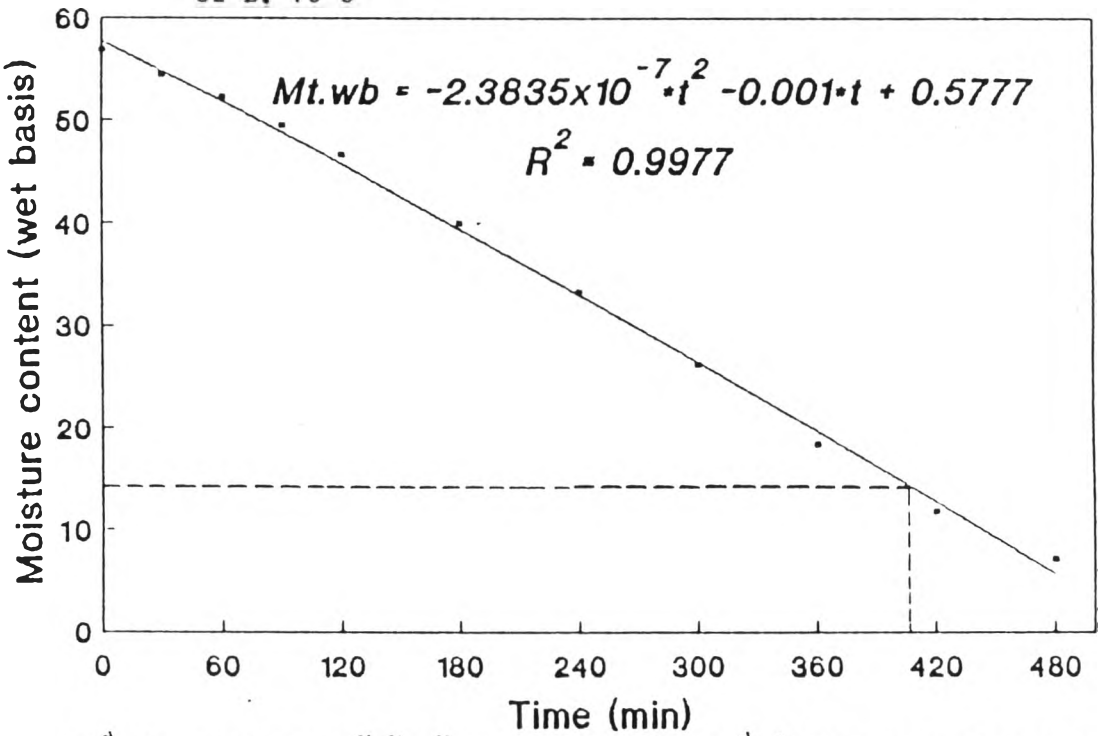
รูปที่ 24 กราฟการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนของสับปะรดที่แช่ในสารละลายกลูโคสซีรัป 61°B, 70°C



รูปที่ 25 กราฟการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศของสับปะรดที่แช่ในสารละลายกลูโคสซีรัป 61°B, 70°C



รูปที่ 26 กราฟการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนของสับปะรดที่แช่ในสารละลายกลูโคสเหลว 62°B, 70°C



รูปที่ 27 กราฟการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศของสับปะรดที่แช่ในสารละลายกลูโคสเหลว 62°B, 70°C

รูปที่ 22, 24 และ 26 แสดงกราฟการอบแห้ง ด้วยตู้อบลมร้อนของสับปะรด ที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส กลูโคสซีรัป และกลูโคสเหลว ตามลำดับ จะเห็นว่าในช่วงแรกของการอบแห้ง อัตราการอบแห้งของสับปะรดมีค่าสูง และลดลงตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไป จนกระทั่งความชื้นของสับปะรดมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ส่วนการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ รูปที่ 23 , 25 และ 27 จะเห็นว่าในช่วงแรก อัตราการอบแห้งมีค่าต่ำกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน จนกระทั่งเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง อัตราการอบแห้งจึงสูงขึ้นเล็กน้อย และเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากตู้อบสุญญากาศที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเล็กกว่าตู้อบลมร้อนมาก ดังนั้นในช่วงแรกของการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ จึงต้องใช้เวลาระยะหนึ่งในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับชิ้นสับปะรด ทำให้มีอัตราในการอบแห้งต่ำ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นแล้ว อัตราการอบแห้งจึงสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สับปะรดที่มีความชื้นเท่ากัน พบว่าการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศใช้เวลาสั้นกว่า และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลายแต่ละชนิด พบว่า ที่ค่าความชื้น 14% สับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครส ใช้เวลา ในการอบแห้งนานที่สุดทั้งในตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ คือใช้เวลา 600 และ 520 นาที ในขณะที่สับปะรดที่แช่ในสารละลายกลูโคสซีรัป ใช้เวลา 495 และ 400 นาที ส่วนสับปะรดในสารละลายกลูโคสเหลวใช้เวลา 480 และ 410 นาที ตามลำดับ จากนั้นได้นำค่าเวลาดังกล่าวที่อ่านได้จากกราฟมาใช้กำหนดระยะเวลาการอบแห้งของสับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลแต่ละชนิด แล้วทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

4.3.2 ผลการประเมินผลทางประสาทสัมผัส

ผลของสภาวะที่ใช้ในการออสโมซิสและสภาวะการอบแห้งต่อคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้ง แสดงในตารางที่ 20 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติแสดงไว้ในตารางที่ 21

รูปที่ 28 - 30 แสดงผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งที่อบด้วยตู้อบลมร้อน และ ตู้อบสุญญากาศ หลังจากผ่านขั้นตอนการออสโมซิสในสารละลายน้ำตาลต่างชนิดกัน

รูปที่ 28 สับปะรดแห้งอบด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศหลังการแช่ในสารละลายซูโครส

รูปที่ 29 สับปะรดแห้งอบด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศหลังการแช่ในสารละลายกลูโคสซีรัป

รูปที่ 30 สับปะรดแห้งอบด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศหลังการแช่ในสารละลายกลูโคสเหลว

ตารางที่ 20 ผลของสภาวะที่ใช้ในการออสโมซิสและสภาวะการอบแห้งต่อคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้ง

สภาวะการออสโมซิส	สภาวะการอบแห้ง	คะแนนเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
		ลักษณะทั่วไป	สี ns	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบ
ซูโครส 65°B/70°C	ลมร้อน	a 11.7±4.7	11.3±4.4	a 21.9±3.8	a 19.0±5.5	a 6.6±1.0
	สุญญากาศ	a 13.1±3.5	11.5±4.3	a 21.2±5.8	a 19.6±5.3	a 6.7±1.1
กลูโคสซีรับ 61°B/70°C	ลมร้อน	b 11.1±2.5	13.1±3.2	b 15.8±8.6	b 10.6±4.7	b 4.4±1.4
	สุญญากาศ	b 8.2±2.3	11.6±3.1	b 16.5±5.7	b 11.4±3.5	b 5.4±1.3
กลูโคสเหลว 62°B/70°C	ลมร้อน	b 10.8±2.0	13.3±2.7	b 17.9±5.9	c 13.6±3.0	b 5.5±1.0
	สุญญากาศ	b 7.6±2.3	9.5±3.1	b 16.7±6.3	c 12.4±4.5	b 4.7±1.3

หมายเหตุ - ตัวอักษร (a, b, c) ที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน และ ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 21 ค่า F ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสภาวะที่ใช้ในการออสโมซิสและสภาวะการอบแห้งต่อคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัส

Source of Variation	F จากการคำนวน					F จากตาราง
	ลักษณะทั่วไป	สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบ	
A: สภาวะที่ใช้ในการออสโมซิส	6.57*	0.46	10.16*	23.04*	16.24*	3.20
B: สภาวะการอบแห้ง	4.03	3.29	0.15	0.004	0.13	4.05
AxB Interaction	3.63*	1.53	0.30	0.37	3.58*	3.20
Panelists (block)	1.88	1.38	10.98*	3.36*	3.64*	2.09

* - มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.3.2.1 ผลของสภาวะที่ใช้ในการออสโมซิสต่อคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 20 และ 21 จะเห็นว่า คะแนนลักษณะทั่วไป กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบ ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายซูโครส แตกต่างจากสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลกลูโคสเหลว และกลูโคสซีรัป อย่างมีนัยสำคัญ โดยสับปะรดที่แช่ในสารละลายซูโครสมีมีคะแนนเฉลี่ยลักษณะทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ของ "ลักษณะภายนอกแห้งไปเล็กน้อย แต่ยังเป็นที่ยอมรับ" และ "ลักษณะปกติของสับปะรดแห้ง" ในขณะที่สับปะรดที่แช่ในสารละลายกลูโคสเหลว และกลูโคสซีรัป มีคะแนนเฉลี่ยลักษณะทั่วไปต่ำกว่าเล็กน้อยและอยู่ในเกณฑ์ของ "ลักษณะภายนอกเปียกชื้นเล็กน้อย แต่ยังเป็นที่ยอมรับ"

สำหรับกลิ่นรสของสับปะรดที่แช่ในสารละลายซูโครส มีคะแนนอยู่ในเกณฑ์ของ "ไม่มีกลิ่นรสแปลกปลอม และมีกลิ่นรสตามธรรมชาติ" ในขณะที่สับปะรดที่แช่ในสารละลายกลูโคสเหลวและกลูโคสซีรัปมีคะแนนเฉลี่ยของกลิ่นรสต่ำกว่า อยู่ในเกณฑ์ของ "มีกลิ่นรสแปลกปลอม แต่มีกลิ่นรสสับปะรดเป็นที่ยอมรับ"

คะแนนเฉลี่ยเนื้อสัมผัสของสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลแต่ละชนิด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยสับปะรดที่แช่ในสารละลายซูโครสมีคะแนนเฉลี่ยเนื้อสัมผัสสูงกว่าสับปะรดที่แช่ในสารละลายกลูโคสเหลว แม้ว่าคะแนนอยู่ในช่วงเดียวกัน คือ "นุ่ม เหนียว หรือแข็งเล็กน้อย" แต่ผู้ทดสอบระบุว่า สับปะรดในซูโครสมีลักษณะแข็งเล็กน้อย ในขณะที่สับปะรดในกลูโคสเหลวถูกระบุว่า "นุ่มและเหนียวเล็กน้อย" ส่วนสับปะรดที่แช่ในสารละลายกลูโคสซีรัปมีคะแนนเฉลี่ยเนื้อสัมผัส ต่ำที่สุด ซึ่งผู้ทดสอบระบุว่า "เหนียวมากเกินไป"

สำหรับคะแนนความชอบ จะเห็นว่าสับปะรดในสารละลายซูโครสมีคะแนนเฉลี่ยความชอบสูงที่สุด อยู่ในเกณฑ์ของ "ชอบเล็กน้อย - ชอบปานกลาง" ในขณะที่สับปะรดในสารละลายกลูโคสเหลวและกลูโคสซีรัปมีคะแนนเฉลี่ยความชอบอยู่ในเกณฑ์ "ไม่ชอบเล็กน้อย - เฉยๆ"

4.3.2.2 ผลของสภาวะการอบแห้งต่อคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 20 และ 21 จะเห็นว่าสภาวะการอบแห้งไม่มีผลต่อคะแนนการประเมินผลทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่า สภาวะที่ใช้ในการออสโมซิสและสภาวะการอบแห้ง ไม่มีผลต่อสีของสับปะรดแห้งอย่างมีนัยสำคัญ

4.3.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลต่างชนิดกัน แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ แสดงในตารางที่ 22

จากตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งด้วยเวลาที่อ่านได้จากกราฟการอบแห้ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์มีความชื้น 14% พบว่า สับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสแล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน มีปริมาณน้ำประมาณ 14% ส่วนสับปะรดแห้งที่สภาวะอื่นๆ มีปริมาณน้ำต่ำกว่า โดยสับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลายกลูโคสซีรัป แล้วอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศมีปริมาณน้ำต่ำสุดประมาณ 10%

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง พบว่าสับปะรดที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสและกลูโคสเหลว แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดค่อนข้างสูงอยู่ในช่วง 63-70% ส่วนสับปะรดแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายกลูโคสซีรัปมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำกว่า มีค่าประมาณ 40%

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งที่สภาวะต่างๆ ของการแช่และการอบแห้ง

สภาวะในการแช่และการอบแห้งของสับปะรด		ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	
สภาวะในการแช่	สภาวะการอบแห้ง	ปริมาณน้ำ ns %น้ำหนักเปียก	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด %
ซูโครส 65°B/70°C	ลมร้อน	14.42 ± 0.38	69.72 ± 1.89 a
	สุญญากาศ	11.84 ± 0.54	70.66 ± 1.85 b
กลูโคสซีรัป 61°B/70°C	ลมร้อน	11.65 ± 0.64	40.98 ± 1.52 c
	สุญญากาศ	9.84 ± 0.62	39.87 ± 2.74 d
กลูโคสเหลว 62°B/70°C	ลมร้อน	11.44 ± 0.64	68.27 ± 2.76 e
	สุญญากาศ	12.22 ± 1.52	63.35 ± 3.11 f

หมายเหตุ - ตัวอักษร (a, b, c) ที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน และ ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.3.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลต่างชนิดกัน แล้วอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ แสดงได้ดังนี้

ผลการวัด texture ของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งด้วยเครื่อง Instron Model 1140 แสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ผลการวัด texture ด้วยเครื่อง Instron ของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งที่สภาวะต่างๆของการแช่และการอบแห้ง

สภาวะในการแช่และการอบแห้งของสับปะรด		ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
สภาวะในการแช่	สภาวะะการอบแห้ง	force / deformation (kg/mm)
ซูโครส 65°B/70°C	ลมร้อน	3.92 ± 0.32 [a]
	สุญญากาศ	6.62 ± 2.12 [a]
กลูโคสซีรัป 61°B/70°C	ลมร้อน	3.38 ± 0.24 [a]
	สุญญากาศ	6.37 ± 1.37 [a]
กลูโคสเหลว 62°B/70°C	ลมร้อน	1.68 ± 0.03 [b]
	สุญญากาศ	1.84 ± 0.22 [b]

หมายเหตุ - ตัวอักษร (a, b, c) ที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน และ ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวัดสีของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งด้วยเครื่องวัดสี ACS แสดงในตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ผลการวัดสีด้วยเครื่อง ACS ของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งที่สภาวะต่างๆ ของการแช่และการอบแห้ง

สภาวะในการแช่และการอบแห้งของสับปะรด		ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
การแช่	การอบแห้ง	L^*	a^{*ns}	b^*	c^*	h^{ns}
ซูโครส 65°B/70°C	ลมร้อน	a 69.2±2.6	0.9±0.8	a 25.7±2.4	a 25.7±2.4	88.0±1.6
	สุญญากาศ	b 58.7±5.9	0.6±0.5	b 16.9±2.9	b 16.9±2.9	87.5±2.2
กลูโคสซีรับ 61°B/70°C	ลมร้อน	a 72.9±4.7	1.19±0.5	a 29.6±2.2	a 29.6±2.2	87.6±1.1
	สุญญากาศ	b 60.7±7.8	1.17±0.3	b 21.0±7.6	b 21.0±7.6	86.0±2.3
กลูโคสเหลว 62°B/70°C	ลมร้อน	a 68.6±0.3	0.9±0.6	a 27.3±2.6	a 27.3±2.6	88.3±1.2
	สุญญากาศ	b 61.4±0.02	0.02±0.0	b 19.3±3.5	b 19.3±3.5	90.1±0.6

หมายเหตุ - ตัวอักษร (a, b, c) ที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน และ ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

L^* = แสดงค่า Lightness เมื่อ L = 100 สีขาว, L = 0 สีดำ

a^* = แสดงค่า สีแดง (+) - สีเขียว (-)

b^* = แสดงค่า สีเหลือง (+) - สีน้ำเงิน (-)

c^* = chroma $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$

h = hue - colour

= $\arctan (b^*/a^*)$

ตารางที่ 25 ค่า F ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสภาวะที่ใช้ในการออสโมซิสและสภาวะการอบแห้งต่อค่าการวัดสีด้วยเครื่องวัดสี ACS

Source of variation	F จากการคำนวน					F จากตาราง
	L^*	a^*	b^*	c^*	h	
A: สภาวะที่ใช้ในการออสโมซิส	0.38	2.58	0.54	0.54	0.95	5.79
B: สภาวะการอบแห้ง	14.03*	2.45	7.14*	7.14*	0.004	6.61
AxB Interaction	0.30	0.75	0.007	0.007	0.47	5.79
การทดลองซ้ำ (block)	6.75*	15.9*	1.41	1.41	3.21	6.61

* - มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 24 และ 25 จะเห็นว่า สภาวะการอบแห้งมีผลต่อค่าการวัดสี L^* b^* และ c^* อย่างมีนัยสำคัญ โดยค่า L^* b^* และ c^* ของสับปะรดที่อบด้วยตู้อบลมร้อนมีค่าสูงกว่าสับปะรดที่อบด้วยตู้อบสุญญากาศ แสดงว่าสภาวะการอบแห้งมีผลให้ผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งมีสีเหลืองเข้มหรือซีดต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามจากการประเมินผลทางประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบไม่สามารถระบุความแตกต่างนี้ได้ และให้คะแนนการยอมรับอยู่ในเกณฑ์เดียวกัน โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

4.4 ผลของ water loss/solid gain ratio ของสับปะรดที่แช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสต่อการยอมรับในด้านคุณภาพ

ผลการวิเคราะห์ค่า water loss และ solid gain ของสับปะรดหลังการแช่ในสารละลายซูโครสที่สภาวะต่างๆ เป็นเวลา 6 ชม. เปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายจากสมการ แสดงไว้ในตารางที่ 26 ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทำนาย

ตารางที่ 26 ค่า water loss และ solid gain ที่ได้จากการทำนายเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง

สภาวะที่ใช้ในการแช่สับปะรด	ค่าที่ทำนายจากสมการ			ค่าที่ได้จากการทดลอง		
	WL	SG	Ratio	WL	SG	Ratio
ซูโครส 63 °B อุณหภูมิ 66 °C	40	18	2.2	39.8	18.7	2.1
" 60 °B " 62 °C	38	15.7	2.4	35.8	16.6	2.2
" 58 °B " 59 °C	36	13.8	2.6	35.6	13.4	2.6
" 56 °B " 56 °C	34	12.7	2.7	35.6	12.4	2.8
" 54 °B " 53 °C	32	11.6	2.8	32.5	12.3	2.6

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครส ด้วยสภาวะที่ให้ water loss/solid gain ratio ต่างๆ และอบแห้งในตู้อบลมร้อน 12 ชั่วโมง แสดงไว้ในตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ปริมาณน้ำในสับปะรดอบแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครส ด้วยสภาวะที่ให้ water loss/solid gain ratio ต่างๆ

สภาวะที่ใช้ในการแช่สับปะรด	ปริมาณน้ำ (%)
ซูโครส 63 °B อุณหภูมิ 66 °C	14.2
" 60 °B " 62 °C	13.9
" 58 °B " 59 °C	13.9
" 56 °B " 56 °C	14.1
" 54 °B " 53 °C	13.6

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้ง ที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสด้วยสภาวะที่ให้ water loss/solid gain ratio ต่างๆ แสดงในตารางที่ 28 วางแผนการทดลองแบบ randomized complete block

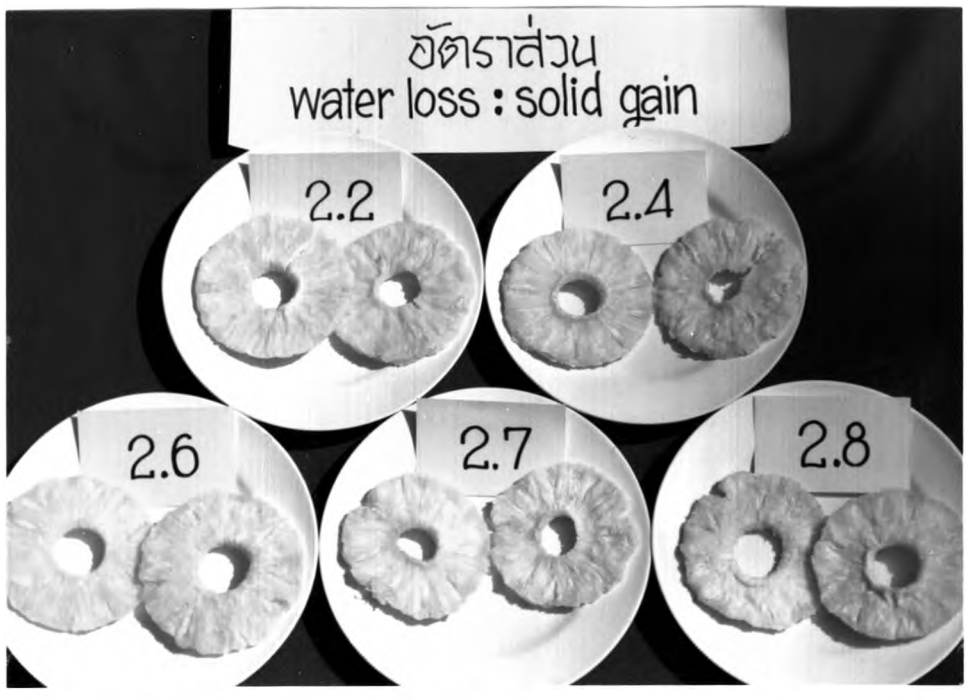
ตารางที่ 28 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของสับปะรดแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสที่สภาวะต่างๆ

water loss/ solid gain ratio (ค่าทำนาย)	คะแนนเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	ลักษณะทั่วไป ns	สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบ
2.2	13.5±3.4	11.3±2.4^{a}	19.5±5.[illegible]^{a}	16.6±5.3^{a}	6.1±0.9^{ab}
2.4	13.9±3.6	11.0±2.3^{a}	19.8±4.0^{a}	15.6±4.3^{a}	5.7±0.9^{a}
2.6	13.9±3.8	15.7±3.2^{b}	22.2±4.1^{b}	22.9±3.0^{b}	6.8±0.9^{b}
2.7	14.4±4.3	16.2±3.1^{b}	23.5±3.8^{bc}	23.9±2.4^{b}	7.1±0.5^{c}
2.8	14.2±4.1	16.3±3.2^{b}	24.6±3.6^{c}	23.4±3.3^{b}	7.4±0.7^{c}

หมายเหตุ ตัวอักษร (a, b, c) ที่เหมือนกันในคอลัมน์เดียวกัน และ ns แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากตารางที่ 28 จะเห็นว่าสภาวะที่ใช้ในการแช่สับปะรดซึ่งให้ WL/SG ratio ต่างกัน มีผลให้คะแนนเฉลี่ยของสี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยสภาวะที่ให้ค่า ratio สูงขึ้น จะมีผลให้คะแนนเฉลี่ยมีค่าสูงขึ้น

รูปที่ 31 แสดงผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสด้วยสภาวะที่ให้ water loss/solid gain ratio ต่างกัน



รูปที่ 31 ผลิตภัณฑ์สับปะรดแห้งที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสด้วยสภาวะที่ให้ water loss/solid gain ratio ต่างกัน