บทที่ 4

ผลของการวิจัย

มะขามป้อมที่ใช้ศึกษาเป็นมะขามป้อมพันธุ์ไทยจากแหล่งเดียวกันภายใน จังหวัดบุรีรัมย์ (ร้านบุรีรัมย์สมุนไพร) จากการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมะขามป้อมสด (เข้มข้น) โดยการนำมะขามป้อมทั้งผลมาแยกเนื้อและเมล็ด จากนั้นนำเนื้อมะขามป้อมผสมกับน้ำในอัตราส่วนเนื้อมะขามป้อม : น้ำ เท่ากับ 1: 1 ปั่นให้ละเอียด แล้วนำมาคั้นนำโดยใช้เครื่อง Hydraulic Press แล้วนำไปตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างน้ำมะขามป้อม โดยทำการวิเคราะห์ค่าสี ระบบ CIE La*b* ด้วยเครื่องวัดสี UltraScan XE ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า มีค่า L หรือค่าความสว่าง เท่ากับ 49.15 $\pm$ 0.37

ค่า a* หรือค่าความเป็นสีแดง-เขียว เท่ากับ 1.42 $\pm$ 0.04

ค่า b* หรือค่าความเป็นสีเหลือง เท่ากับ 34.30 $\pm$ 0.15

เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีด้วยวิธีการไทเทรต (Redox Titration Using Iodate Solution) พบว่าน้ำมะขามป้อมสดเข้มข้นมีปริมาณวิตามินซี 1390 mg/100 ml

4.1 การคัดเลือกสูตรพื้นฐานของผลิตภัณฑ์น้ำมะขามป้อมผงสำเร็จรูป

จากการทดลองผลิตน้ำมะขามป้อมผงสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม-แมทจำนวน 4 สูตร แล้วนำไปชงละลายโดยปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 15 องศาบริกซ์ ให้ผู้ทดสอบจำนวน 45 คน ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale ในด้าน สี กลิ่น รสหวาน รสเปรี้ยว รสฝาด และการชอบโดยรวม ได้ผลคะแนนเฉลี่ยดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตด้วยการทำแห้งแบบโฟม-แมท

ลักษณะทางประสัมผัส	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
สี ^{ns}	4.94±2.14	5.25±1.81	4.38±1.54	4.13±1.41
กลิ่นมะขามป้อม	6.06^{c}±1.81	5.38^{ab}±1.82	5.25^{ab}±1.77	4.56^{a}±1.54
รสเปรี้ยว ^{ns}	5.38±2.00	4.88±1.82	5.38±1.85	3.94±2.21
รสหวาน	6.13^{b}±2.03	5.50^{b}±1.26	5.44^{b}±1.90	3.69^{a}±1.49
รสฝาด	6.00^{c}±1.88	4.94^{bc}±1.88	4.44^{ab}±2.22	3.25^{a}±1.91
ความชอบโดยรวม	6.13^{a}±2.06	6.06^{a} ±1.80	5.06^{ab} ±2.16	4.06^{c} ±2.14

หมายเหตุ: a, b... อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ลักษณะทางประสารทสัมผัสในด้านสีและรสเปรี้ยวของน้ำมะขามป้อมผงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ด้านกลิ่นมะขามป้อม พบว่าทุกสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่ 1 ได้คะแนนความชอบในด้านกลิ่นมะขามป้อมสูงที่สุด ด้านรสหวาน พบว่าสูตรที่ 1 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างจากสูตรที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ด้านรสฝาด พบว่าสูตรที่ 1 ได้รับคะแนนความชอบด้านรสฝาดมากที่สุด ($p \leq 0.05$) ด้านความชอบโดยรวม พบว่า สูตรที่ 1 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างจากสูตรที่ 2 ($p > 0.05$) โดยสูตรที่ 4 ได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาส่วนผสมของแต่ละสูตรที่ผลต่อความชอบในด้านกลิ่น รสหวาน รสเปรี้ยว รสฝาดและความโดยรวมของน้ำมะขามป้อมผง พบว่าสัดส่วนของน้ำมะขามป้อมเข้มข้นต่อน้ำตาลทรายมีผลต่อการยอมรับโดยรวมของน้ำมะขามป้อมผง ซึ่งเห็นได้จากการทดลองสูตรที่ 1 ได้รับคะแนนความชอบมากกว่าสูตรที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งสูตรของน้ำมะขามป้อมผงมีสัดส่วนของน้ำมะขามป้อมเข้มข้นต่อน้ำตาลทรายของทั้ง 4 สูตร เรียงตามลำดับการยอมรับดังนี้ ร้อยละ

50:49.9 60:39.9 70:29.9 และ 80:19.9 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาสัดส่วนน้ำมะขามป้อมเข้มข้นต่อน้ำตาลในแต่ละสูตร พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของน้ำมะขามป้อมเข้มข้นขึ้น การยอมรับในด้านกลิ่นรสหวาน รสฝาด และความชอบโดยรวมจะลดลง

จากการคัดเลือกสูตรพื้นฐานเพื่อนำไปศึกษากระบวนการผลิตน้ำมะขามป้อมผงสำเร็จรูปโดยการทำแห้งแบบโฟม-แมท ผลดังตารางที่ 4.1 ผู้วิจัยจึงเลือก**สูตรที่ 1 เพื่อใช้ศึกษากระบวนการผลิตน้ำมะขามป้อมผงสำเร็จรูปโดยการทำแห้งแบบโฟม-แมทต่อไป**

4.2 การเลือกสารที่ทำให้เกิดโฟมที่เหมาะสม

จากการนำน้ำมะขามป้อม ผสมกับสารที่ก่อให้เกิดโฟม 10 แบบ ได้แก่ Methocel65 HG, Egg albumin, Glyceryl monostearat (GMS), Carboxy methyl cellulose (CMC), Methocel65 HG ผสมกับ Egg albumin, Methocel65 HG ผสมกับ GMS, Methocel65 HG ผสมกับ CMC, Egg albumin ผสมกับ GMS, Egg albumin ผสมกับ CMC และ GMS ผสมกับ CMC โดยอัตราส่วนที่ผสมสาร 2 ชนิดคือ 1:1 โดยน้ำหนัก ละลายในน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก จากนั้นจึงค่อยๆ เทเจลของสารที่ก่อให้เกิดโฟมลงไปในส่วนผสมน้ำมะขามป้อม พร้อมกับเร่งความเร็วในการตีให้เร็วขึ้นจนถึงความเร็วสูง ขณะที่ทำการตีโฟมสังเกตการเกิดโฟมในน้ำมะขามป้อม พบว่าสารละลาย Egg albumin เริ่มทำให้ส่วนผสมน้ำมะขามป้อมเกิดโฟมได้เมื่อใช้ปริมาณร้อยละ 37.25 โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 4.2 ในขณะที่สารละลายอื่นๆ ไม่สามารถทำให้เกิดโฟมที่คงตัวได้ ดังนั้นจึงเลือก สารละลาย Egg albumin ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เพื่อทำการศึกษาต่อโดยเติมลงในส่วนผสมน้ำมะขามป้อมในปริมาณที่แตกต่างกัน 5 ระดับ โดยระดับที่ต่ำที่สุด คือปริมาณสารที่เติมลงไปในส่วนผสมน้ำมะขามป้อมที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้เกิดโฟมได้ และเพิ่มปริมาณขึ้นระดับละร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของส่วนผสม ดังตารางที่ 4.3

ตาราง 4.2 ผลการทดสอบชนิดของสารก่อให้เกิดโฟมระดับต่ำสุดที่ก่อให้เกิดโฟมในส่วนผสมน้ำมะขามป้อม

ชนิดของสารก่อให้เกิดโฟม	**ปริมาณสารละลายต่ำสุด (% โดยน้ำหนัก)**	**ลักษณะของโฟม**
Methocel 65 HG	$\leq$ 200	ไม่เกิดลักษณะโฟม
Egg albumin	37.25	เกิดโฟมที่คงตัวได้
GMS	$\leq$ 200	ไม่เกิดลักษณะโฟม
CMC	$\leq$ 200	ไม่เกิดลักษณะโฟม
Methocel 65 HG + Egg albumin	$\leq$ 150	เกิดโฟมไม่คงตัว
Methocel 65 HG + GMS	$\leq$ 200	ไม่เกิดลักษณะโฟม
Methocel 65 HG + CMC	$\leq$ 200	ไม่เกิดลักษณะโฟม
Egg albumin + GMS	$\leq$ 200	เกิดโฟมไม่คงตัว
Egg albumin + CMC	$\leq$ 200	เกิดโฟมไม่คงตัว
GMS + CMC	$\leq$ 200	ไม่เกิดลักษณะโฟม

ตาราง 4.3 ปริมาณของสารละลาย Egg albumin ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ในส่วนผสมน้ำมะขามป้อม

ระดับที่	ปริมาณสารละลาย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
1	37.25
2	47.25
3	57.25
4	67.25
5	77.25

4.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบโฟม-แมท

4.2.1 การศึกษาปริมาณสารก่อให้เกิดโฟมที่เหมาะสมกับน้ำมะขามป้อมผง

ตารางที่ 4.4 คุณสมบัติด้านความคงตัว ความหนาแน่น และ Overrun ของโฟมจากสารละลาย Egg albumin ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่ระดับต่างๆ

ปริมาณสารละลาย	คุณสมบัติของโฟม		
Egg albumin (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความคงตัว (มิลลิลิตร/นาที)	ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)	Overrun (ร้อยละ)
37.25	$0.083^{d}\pm0.000$	$0.264^{c}\pm 0.004$	$456.56^{a}\pm4.22$
47.25	$0.076^{c}\pm0.000$	$0.233^{c}\pm0.06$	$519.48^{b}\pm9.99$
57.25	$0.074^{b}\pm0.001$	$0.223^{b}\pm0.02$	$550.71^{c}\pm4.12$
67.25	$0.067^{a}\pm0.000$	$0.206^{ab}\pm0.003$	$604.01^{d}\pm8.26$
77.25	0.065 ± 0.000	$0.186^{a}\pm0.002$	$631.17^{e}\pm8.07$

หมายเหตุ: a, b… อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

การศึกษาปริมาณสารก่อให้เกิดโฟมที่เหมาะสมกับน้ำมะขามป้อมผงโดยเตรียมส่วนผสมน้ำมะขามป้อม เติมสารละลาย Egg albumin ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก โดยใช้ปริมาณต่างๆ ดังตารางที่ 4.3 แล้วนำไปตีให้เป็นโฟม ศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของโฟมได้ผลดังตารางที่ 4.4

จากการศึกษาคุณสมบัติของโฟม พบว่า การเติมสารที่ก่อให้เกิดโฟมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีปริมาณโฟมมากขึ้นและช่วยให้โฟมมีความคงตัวเพิ่มขึ้น (Rajkumar and others, 2007) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ ศุภกิจ อินพุ่ม และคณะ (2547), Falade and others (2003), Krasaekoopt and Bhatia (2012) และ กฤต บุญยะวรรธนะ (2548) แต่การเพิ่ม

ความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโฟมกลับทำให้ความหนาแน่นของโฟมมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับผลการทดลองของกัลยาณี โสมนัส (2540)

จากตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารละลาย Egg albumin ทำให้โฟมมีความคงตัวเพิ่มขึ้นโดยมีอัตราการแยกตัวของของเหลวลดลง ($p \leq 0.05$) โดยการเติมสารที่ก่อให้เกิดโฟมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีปริมาณโฟมมากขึ้นและช่วยให้โฟมมีความคงตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ สุธิดา กิจเกษตรสถาพร1 และ พนิดา รัตนปิติกรณ์ (2551) จากการทดลองพบว่า โฟมมีอัตราการแยกตัวของของเหลวระหว่าง 0.065-0.083 มิลลิลิตรต่อนาที

การศึกษาความหนาแน่นของโฟมพบว่าทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีความหนานแน่น อยู่ในช่วง 0.186-0.264 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งจากการทดลองพบว่า ความหนาแน่นของโฟมมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของสารละลาย Egg albumin เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Falade and others (2003), Krasaekoopt and Bhatia (2012) และ กฤต บุญยะวรรธนะ (2548)

สำหรับค่า Overrun ของโฟมจะผันแปรกับความหนาแน่น ถ้าค่าโอเวอร์รันสูงแสดงว่ามีอากาศอยู่ด้านในโฟมมากซึ่งจะส่งผลให้ความหนาแน่นของโฟมลดลง ส่วนโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำเป็นโฟมที่มีฟองอากาศละเอียดสม่ำเสมอ มีพื้นที่ผิวการระเหยน้ำมาก ทำให้น้ำภายในโฟมซึ่งอยู่ในรูปฟิล์มบางสามารถระเหยออกมาได้ง่ายและต่อเนื่อง สารที่ก่อให้เกิดโฟมจะทำหน้าที่พยุงโครงสร้างของโฟมไม่ให้ยุบตัวลงมา เพราะการยุบตัวของโฟมทำให้ไม่มีโพรงอากาศที่จะให้ความร้อนแพร่เข้าไปได้มากนัก น้ำจึงระเหยออกได้ยากขึ้น (กัลยาณี โสมนัส, 2540) อย่างไรก็ตาม หากสารที่ก่อให้เกิดโฟมมีความเข้มข้นมากเกินไปอาจทำให้เกิดผลในทางตรงข้าม กล่าวคือค่าโอเวอร์รันอาจลดลงซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่สารผสมมีความหนืดสูงมากจึงเกิดการป้องกันการดักจับกับอากาศระหว่างการตีโฟมหรือผสม (Karim and Wai,1999)

จากตารางที่ 4.4 พบว่า ค่า Overrun ของโฟม มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของสารละลาย Egg albumin เพิ่มขึ้น โดยค่า Overrun ของโฟมอยู่ในช่วงร้อยละ 456.56-631.17 ซึ่งพบว่าทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การที่โฟมมีค่า Overrun สูง และความหนาแน่นต่ำจะส่งผลให้โฟมมีฟองอากาศที่ละเอียดและสม่ำเสมอมีพื้นที่ผิวที่จะเกิดการระเหยของน้ำมาก ทำให้น้ำภายในโฟมซึ่งอยู่ในรูปฟิล์มบางๆ สามารถระเหยออกมาได้ง่ายและต่อเนื่อง โดย Egg albumin จะทำหน้าที่พยุงโครงสร้างของโฟมไว้ไม่ให้ยุบตัวลงมา

เพราะการยุบตัวของโฟมทำให้ไม่มีโพรงอากาศที่จะทำให้ความร้อนแพร่เข้าไปได้มากนัก น้ำจึงระเหยออกได้ยากขึ้นทำให้แห้งได้ช้าลง

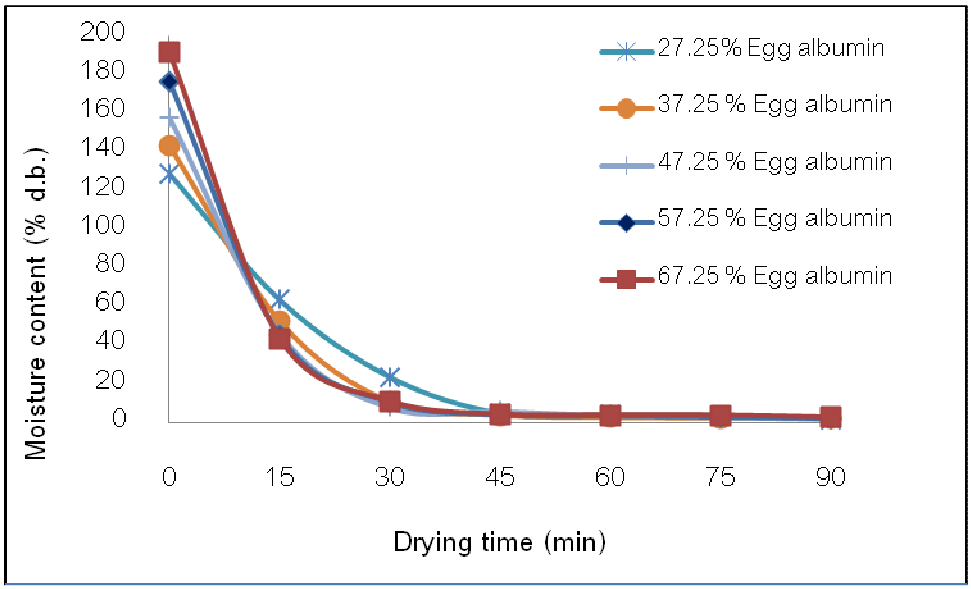
4.3.2 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมะขามป้อมผงสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม-แมท

นำโฟมน้ำมะขามป้อมที่เตรียมได้มาบีบให้เป็นเส้นด้วยถุงสำหรับแต่งหน้าเค้ก โดยใช้หัวที่เป็นรูกลม เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 มิลลิเมตร โดยบีบโฟมให้เป็นเส้นยาวต่อเนื่องกันบนถาดที่เป็นรูโปร่ง นำไปทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดเป็นเวลา 90 นาที คุณภาพของน้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตโดยการทำแห้งแบบโฟม-แมท แสดงดังตารางที่ 4.5

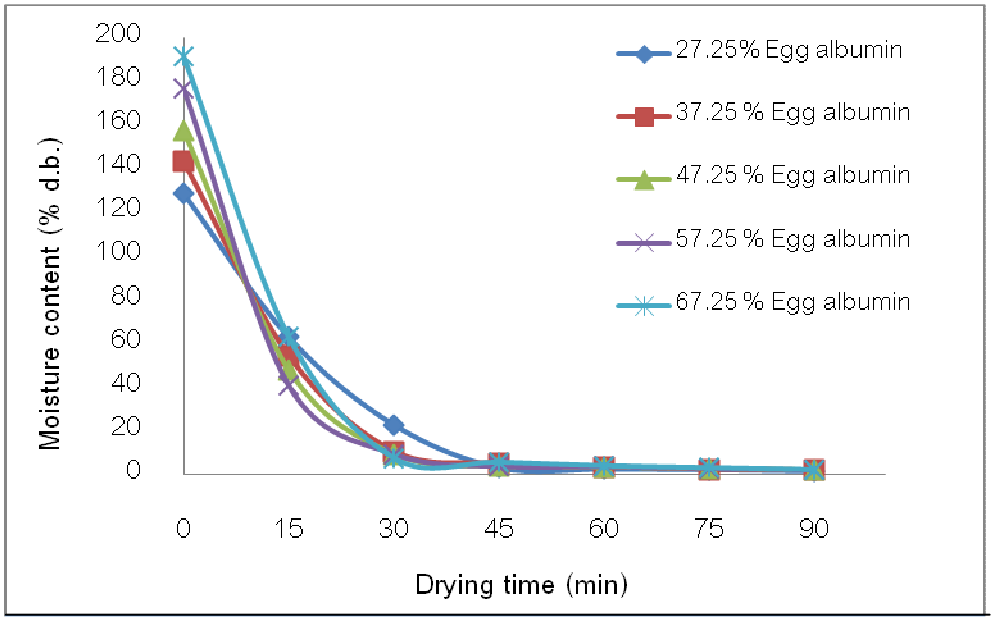
คุณภาพด้านความสามารถในการคืนรูป พบว่า ทั้งปริมาณของสารละลาย Egg albumin และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งมีผลต่อคุณภาพด้านความสามารถในการคืนรูปของน้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตโดยการทำแห้งแบบโฟม-แมท โดยเมื่อปริมาณสารละลาย Egg albumin และอุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการคืนรูปลดต่ำลง ($p \leq 0.05$) จากตารางที่ 4.5 น้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม-แมทมีความสามารถในการคืนรูปอยู่ในช่วงร้อยละ 63.96-80.80 โดยที่น้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม-แมท โดยใช้สารละลาย Egg albumin ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ในปริมาณร้อยละ 37.25 โดยน้ำหนัก และทำแห้งด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าความสามารถในการคืนรูปสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) คือสามารถคืนรูปได้ร้อยละ 80.80

คุณภาพด้านการละลาย พบว่าทั้งปริมาณของสารละลาย Egg albumin และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งมีผลต่อคุณภาพด้านความสามารถในการละลายของน้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตโดยการทำแห้งแบบโฟม-แมท โดยเมื่อปริมาณสารละลาย Egg albumin และอุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้การละลายใช้เวลาในการทำแห้งนานขึ้น ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการทำแห้งแบบโฟม-แมท จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมากจะเกิดการลอยตัวอยู่ที่ผิวหน้าของของเหลว และจากการที่มีอนุภาคที่เล็กจะทำให้ไม่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคเป็นผลให้น้ำไม่สามารถแทรกซึมผ่านระหว่างอนุภาคหรือแทรกซึมผ่านได้น้อย ทำให้อนุภาคไม่เปียกอย่างสม่ำเสมอ และเกิดการรวมเป็นก้อนโดยที่ผิวนอกเปียกแต่ภายในตรงกลางไม่เปียก จึงทำให้สมบัติการกระจายตัวเสียไป (Bockain and others, 1957) ทำให้ใช้เวลานานในการละลาย จากตาราง

ที่ 4.5 เวลาที่ใช้ในการละลายน้ำมะขามป้อมผงอยู่ในช่วง 37.50-58.50 วินาที โดยน้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม-แมท โดยใช้สารละลาย Egg albumin ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ในปริมาณร้อยละ 37.25 และ 47.25 โดยน้ำหนัก และทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ให้ค่าการละลายดีที่สุด ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.1 ปริมาณความชื้นของโฟมน้ำมะขามป้อมที่เวลาการทำแห้งต่างๆ เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้ง 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.1 ปริมาณความชื้นของโฟมน้ำมะขามป้อมที่เวลาการทำแห้งต่างๆ เมื่อใช้อุณหภูมิในการทำแห้ง 70 องศาเซลเซียส

ผลของปริมาณความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์น้ำมะขามป้อมสำเร็จรูปที่ผลิตด้วยการทำแห้งแบบโฟม-แมท พบว่า ทั้งปริมาณของสารละลาย Egg albumin และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งมีผลต่อปริมาณความชื้นของน้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตด้วยการทำแห้งแบบโฟม-แมท โดยเมื่อใช้ปริมาณสารละลาย Egg albumin ในระดับต่ำจะทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม-แมทมีปริมาณความชื้นสุดท้ายที่ต่ำกว่า ($p \leq 0.05$) การใช้สารละลาย Egg albumin ในระดับสูง และพบว่า เมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์น้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม-แมทมีปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำลง ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตด้วยการทำแห้งแบบโฟม-แมทที่ผลิตได้นี้อยู่ในช่วงร้อยละ 1.61-2.44 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 6 ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 214 เรื่องเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (กระทรวงสาธารณสุข, 2543) และจากการทดลอง พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตด้วยการทำแห้งแบบโฟม-แมท โดยใช้สารละลาย Egg albumin ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักปริมาณร้อย 37.25 โดยน้ำหนัก และทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที ด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาด มีปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 1.61โดยน้ำหนักแห้ง

สำหรับปริมาณน้ำอิสระ (a_W) พบว่าทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) จากการทดลอง ปริมาณน้ำอิสระ อยู่ในช่วง 0.17-0.22 โดยสอดคล้องกับ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน แครอทผงสำเร็จรูป (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2550) ซึ่งระบุว่าจะต้องมีปริมาณน้ำอิสระ ไม่เกิน 0.6 (ตารางที่ 4.5)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีโดยวิธีการไทเทรต (Redox Titration Using Iodate Solution) พบว่าน้ำมะขามป้อมผงสำเร็จรูปที่ผลิตด้วยการทำแห้งแบบโฟม-แมท มีปริมาณวิตามินซีอยู่ในช่วง 366.59 - 413.00 mg/100 ml

สำหรับปริมาณผลิตที่ได้ พบว่า ปริมาณของสารละลาย Egg albumin มีผลต่อผลผลิต โดยเมื่อปริมาณสารละลาย Egg albumin เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ผลผลิตของน้ำมะขามป้อมผงเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโฟมมีความคงตัวมากกว่า ดังนั้นในระหว่างกระบวนการทำแห้งโฟมที่ไม่คงตัวอาจมีโฟมบางส่วนยุบตัวลงมาและเหนียวติดถาดอบเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณผลผลิต ส่วนโฟมที่คงตัวนั้นในระหว่างการทำแห้งจะไม่มีการยุบตัวลงมา หรืออาจมีเพียงบางส่วนเท่านั้น จึงทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น (ดุจหทัย ฟูเจริญ, 2548) ส่วนอุณหภูมิในการทำแห้ง พบว่าไม่มีผลต่อผลผลิตที่ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) จากตารางที่ 4.5

ผลผลิตที่ได้ของน้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตด้วยการทำแห้งแบบโฟม-แมท อยู่ในช่วงร้อยละ 31.50 - 43.32 โดยน้ำมะขามป้อมที่ผสมสารละลาย (ความเข้มข้นร้อยละ 1) ของ Egg albumin ในปริมาณร้อยละ 77.25 มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด

ผลจากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของน้ำมะขามป้อมผง (ตารางที่ 4.6) พบว่า ค่าสี L มีค่าออกสว่าง โดยทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (อยู่ในช่วง 90.80 - 93.96) ค่าสี a* มีค่าเป็นสีแดง โดยทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (อยู่ในช่วง 0.27-1.69) ค่าสี b* มีค่าเป็นสี เหลือง โดยทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (อยู่ในช่วง 8.41-12.10) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมะข้ามป้อมผงทุกสิ่งทดลองใช้ระยะเวลาในการทำแห้งเท่ากันจึงทำให้ค่าสีหลังทำแห้งไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อนำมะขามป้อมผงที่ได้จากการทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม-แมทมาทำการคืนรูป โดยปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 30 องศาบริกซ์ (เป็นระดับการคืนรูปที่ผู้บริโภคให้การยอมรับมากที่สุด) พบว่า ค่าสี L หลังจากทำการคืนรูปจะมีสีคล้ำขึ้น และสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยพบว่าที่อุณหภูมิในการทำแห้งระดับเดียวกัน เมื่อเพิ่มปริมาณสารละลาย Egg albumin ขึ้นจะทำให้สีหลังคืนรูปสว่างขึ้น และที่ระดับปริมาณสารละลาย Egg albumin เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสีของน้ำมะขามป้อมผงคืนรูปกับน้ำมะขามป้อมก่อนการทำแห้ง พบว่า ค่าความแตกต่างของสีรวม (ΔE^*) ของน้ำมะขามป้อมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยน้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม-แมท โดยใช้สารละลาย Egg albumin ความเข้มข้นร้อยละ 1 ในปริมาณร้อยละ 67.25 และ 77.25 โดยน้ำหนัก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยมีค่าสีใกล้เคียงกับน้ำมะขามป้อมก่อนการทำแห้งมากที่สุด

ตารางที่ 4.5 คุณภาพของน้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตโดยการทำแห้งแบบโฟม-แมท

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	Egg albumin (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความสามารถในการคืนรูป (ร้อยละ)	การละลาย (วินาที)	ความชื้น (% d.b.)	ค่า a_w (ns)	ปริมาณวิตามินซี mg/100ml	ปริมาณผลผลิตที่ได้ (%)
60	37.25	$79.04^{e}\pm0.36$	$45.00^{bc}\pm4.24$	$1.67^{ab}\pm0.13$	0.22 ± 0.00	$406.26^{a}\pm4.19$	31.50^{a}
	47.25	$73.50^{d}\pm0.10$	$51.50^{d}\pm2.12$	$1.97^{bcd}\pm0.26$	0.20 ± 0.00	$400.33^{a}\pm4.19$	41.00^{cd}
	57.25	$70.45^{c}\pm0.32$	$56.00^{de}\pm1.41$	$1.97^{bcd}\pm0.19$	0.22 ± 0.02	$371.55^{b}\pm4.21$	42.38^{d}
	67.25	$68.07^{b}\pm0.16$	$58.50^{e}\pm2.12$	$2.20^{de}\pm0.01$	0.20 ± 0.00	$372.46^{b}\pm4.21$	42.57^{d}
	77.25	$63.96^{a}\pm0.49$	$58.50^{e}\pm2.12$	$2.44^{e}\pm0.18$	0.21 ± 0.00	$366.59^{b}\pm8.37$	43.32^{d}
70	37.25	$80.80^{f}\pm0.10$	$37.50^{a}\pm0.71$	$1.61^{a}\pm0.00$	0.19 ± 0.01	$411.46^{a}\pm4.09$	32.78^{a}
	47.25	$79.20^{e}\pm1.10$	$36.00^{a}\pm2.83$	$1.78^{abc}\pm0.01$	0.17 ± 0.0	$413.00^{a}\pm6.28$	35.75^{b}
	57.25	$79.23^{e}\pm0.47$	$41.00^{ab}\pm2.83$	$1.81^{abc}\pm0.11$	0.19 ± 0.01	$373.99^{b}\pm8.39$	37.00^{b}
	67.25	$66.92^{b}\pm0.95$	$50.50^{cd}\pm3.54$	$2.06^{cd}\pm0.12$	0.19 ± 0.01	$371.78^{b}\pm4.21$	39.38^{c}
	77.25	$69.52^{c}\pm0.03$	$56.50^{de}\pm3.54$	$2.26^{de}\pm0.15$	0.17 ± 0.01	$369.32^{b}\pm4.18$	39.76^{c}

หมายเหตุ: a, b… อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$

ตารางที่ 4.6 ค่าสีเฉลี่ยของน้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตโดยการทำแห้งแบบโฟม-แมท

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส	Egg albumin (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าสีหลังทำแห้ง			ค่าสีหลังทำการละลาย			
		ค่าสี L ns	ค่าสี a* ns	ค่าสี b* ns	ค่าสี L	ค่าสี a* (ns)	ค่าสี b* (ns)	ΔE^*
60	37.25	93.96±0.16	1.69±0.03	12.10±0.08	48.09^{a}±4.80	2.07±3.00	24.36±24.91	40.38^{e}±1.58
	47.25	93.07±1.89	0.70±0.99	9.72±1.03	48.95^{a}±0.47	-0.62±0.01	5.49±0.01	44.18^{f}±0.35
	57.25	92.14±1.92	0.86±0.95	10.59±1.36	55.93^{bc}±0.02	-0.33±0.00	8.70±0.09	36.90^{c}±0.04
	67.25	92.49±2.14	0.69±0.80	9.91±0.55	61.85^{de}±0.41	0.74±0.05	11.28±0.21	31.11^{a}±0.42
	77.25	91.97±2.26	0.84±0.82	11.34±0.98	62.85^{e}±0.46	0.71±0.28	11.57±1.42	30.24^{a}±1.40
70	37.25	93.02±0.38	0.37±0.03	8.71±0.08	53.15^{b}±0.02	0.37±0.04	9.02±0.07	38.80^{d}±0.06
	47.25	91.15±0.10	0.46±0.01	9.59±0.11	55.28^{bc}±0.21	0.65±0.00	10.64±0.02	36.18^{bc}±0.17
	57.25	91.09±0.08	0.27±0.01	8.41±0.11	57.62^{c}±0.19	0.33±0.08	9.55±0.10	35.18^{c}±0.20
	67.25	90.93±0.05	0.29±0.02	9.04±0.07	56.45^{bc}±0.11	0.93±0.03	10.03±0.00	35.76^{bc}±0.09
	77.25	90.80±0.16	0.48±0.01	8.92±0.15	58.72^{cd}±0.22	0.99±0.04	11.32±0.10	33.26^{b}±0.22

หมายเหตุ: a, b… อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่าสีของน้ำมะขามป้อมสูตรที่ 1 ก่อนการทำแห้ง L =82.338, a* = -3.82, b* = 34.23

4.3.3 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมะขามป้อมผงสำเร็จรูปที่ได้จากการทำแห้งแบบโฟม-แมท

จากการศึกษาชนิดและปริมาณที่เหมาะของสารที่ก่อให้เกิดโฟม และศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมะขามป้อมผงสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม-แมท พบว่าการใช้สารละลาย Egg albumin ความเข้มข้นร้อยละ 1 ในปริมาณร้อย 37.25 และ 47.25 โดยน้ำหนัก โดยนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแบบตู้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที เป็นวิธีการเหมาะสมในการผลิตน้ำมะขามป้อมสำเร็จรูปด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม-แมท ดังนั้นจึงนำสิ่งทดลองทั้งสองนี้มาทำการคืนรูปโดยปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 30 องศาบริกซ์ ซึ่งเป็นระดับการคืนรูปที่ได้รับคะแนนความชอบจากผู้บริโภคมากที่สุด (ประเมินโดยวิธี Ranking test) แล้วนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ พร้อมทั้งทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสเปรียบเทียบน้ำมะขามป้อมที่มีขายอยู่ในท้องตลาด จำนวน 2 ยี่ห้อ

จากตารางที่ 4.7 พบว่าน้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตได้มีค่าความเป็นกรด-เบส หรือค่า pH และปริมาณวิตามินซีแตกต่างจากตัวอย่างที่มีขายอยู่ในท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำมะขามป้อมพร้อมดื่มยี่ห้อ A มีปริมาณค่า pH ต่ำที่สุด และมีปริมาณวิตามินซีสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากสูตรที่ใช้ในการผลิตมีปริมาณของมะขามป้อมเข้มข้นในอัตราส่วนที่ไม่เท่ากัน โดยยี่ห้อ Aและ B จะมีปริมาณน้ำมะขามป้อมร้อยละ 89 และ 50 ตามลำดับ ส่วนน้ำมะขามป้อมผงที่ผลิตด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม-แมท มีปริมาณน้ำมะขามป้อมเข้มข้นร้อยละ 50 เท่ากับยี่ห้อ B

ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ 9-Point Hedonic Scale ของน้ำมะขามป้อมผงที่ได้จากการทำแห้งแบบโฟม-แมท ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และน้ำมะขามป้อมพร้อมดื่มที่มีขายในท้องตลาดพบว่า ค่าคะแนนความชอบในด้านสีของผลิตภัณฑ์น้ำมะขามป้อมผงคืนรูป และน้ำมะขามป้อมพร้อมดื่มยี่ห้อ A ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (อยู่ในช่วง 5.73-6.07) คะแนนด้านกลิ่นมะขามป้อมมีคะแนนใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 5.00-5.73 (เฉยๆ) ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความชอบโดยรวม พบว่า น้ำมะขามป้อมผงสำเร็จรูปที่ผลิตด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม-แมท โดยใช้สารละลาย Egg albumin ความเข้มข้นร้อยละ 1 ในปริมาณร้อยละ 47.25 โดยน้ำหนักได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) คือ 6.93 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

ตารางที่ 4.7 ค่า pH, ปริมาณวิตามินซี และผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสแบบ 9-Point Hedonic Scale ของน้ำมะขามป้อมผงที่ได้จากการทำแห้งแบบโฟม-แมทที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และน้ำมะขามป้อมพร้อมดื่มที่มีขายในท้องตลาด

คุณภาพ	ยี่ห้อ A	ยี่ห้อ B	Egg albumin 37.25 %	Egg albumin 47.25 %
pH	$2.48^{a}\pm0.02$	$2.74^{b}\pm0.04$	$2.87^{c}\pm0.01$	$2.84^{c}\pm0.02$
วิตามินซี (mg/100ml)	$566.87^{c}\pm20.56$	$229.65^{a}\pm4.12$	$411.46^{b}\pm4.09$	$413.00^{b}\pm6.28$
สี	$5.73^{b}\pm1.75$	$3.60^{a}\pm1.40$	$6.07^{b}\pm1.71$	$5.53^{b}\pm2.07$
กลิ่นมะขามป้อม ^{ns}	5.27 ± 2.37	5.60 ± 1.88	5.00 ± 1.93	5.73 ± 2.12
รสเปรี้ยว ^{ns}	5.13 ± 1.77	4.80 ± 2.01	5.53 ± 1.60	5.40 ± 1.55
รสหวาน	$4.40^{b}\pm1.76$	$4.00^{ab}\pm2.36$	$5.40^{a}\pm2.44$	$6.07^{ab}\pm2.25$
รสฝาด	$3.87^{a}\pm2.42$	$4.67^{ab}\pm2.66$	$5.73^{b}\pm1.44$	$5.87^{b}\pm1.73$
ความชอบโดยรวม	$5.27^{a}\pm1.75$	$5.60^{ab}\pm2.19740$	$6.53^{ab}\pm1.64$	$6.93^{c}\pm1.49$

หมายเหตุ: a, b… อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$