บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของน้ำมะนาวสด

การศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำมะนาวสดพันธุ์พิจิตร 1 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณภาพทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำมะนาวสดพันธุ์พิจิตร 1

คุณภาพทางกายภาพและเคมี	ค่าที่วัดได้
ค่าสี L^*	29.03±0.76
ค่าสี a^*	-2.01±0.32
ค่าสี b^*	0.24±0.16
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	11.69±0.08
ความหนืด (เซนติพอยซ์)	3.39±0.22
ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	1.03±0.00
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	6.88±0.12
ความเป็นกรดด่าง (pH)	2.34±0.02
ปริมาณกรดทั้งหมดซึ่งคำนวณในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)	6.56±0.13
ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)	28.27±0.47

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของน้ำมะนาวสด พบว่าสีของน้ำมะนาวสดในค่า L^* (ความสว่าง) มีค่าเท่ากับ 29.03 ค่า a^* มีค่าที่เป็นลบแสดงถึงว่ามีความเป็นสีเขียว และค่า b^* มีค่าเป็นบวกแสดงถึงว่ามีความเป็นสีเหลือง ซึ่งวิลาวัลย์ (2547) รายงานการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมะนาวสด พบว่า ค่าสี L, a และ b มีค่าเท่ากับ 49.21, -5.33 และ 8.83 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีค่าสี a และ b เป็นลบและบวก เช่นเดียวกัน

น้ำมะนาวสดมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณวิตามินซีน้อยกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับรายงานการวิเคราะห์น้ำมะนาวสดของวิลาวัลย์ (แสดงในตารางที่ 2.1) ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากมะนาวที่ใช้ในการวิเคราะห์ของวิลาวัลย์ คือมะนาวพันธุ์แป้น ส่วนของการศึกษาครั้งนี้ คือมะนาวพันธุ์พิจิตร 1 ซึ่งเป็นคนละสายพันธุ์กันอาจส่งผลให้มีคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีที่แตกต่างกัน

4.2 การศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยการออกแบบการทดลองแบบ mixture design

จากการนำวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ น้ำมะนาว น้ำตาลทราย และน้ำผึ้ง ในสัดส่วนต่างๆ ตามแผนการทดลองแบบ mixture design มาผลิตเป็นเครื่องดื่มน้ำมะนาวได้ 5 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สัดส่วนส่วนผสมของสูตรเครื่องดื่มน้ำมะนาวตามแผนการทดลองแบบ mixture design (100 กรัม)

ส่วนผสม	สูตรที่ 1 (A)	สูตรที่ 2 (B)	สูตรที่ 3 (C)	สูตรที่ 4 (D)	สูตรที่ 5 (E)
น้ำมะนาว (กรัม)	59.70	39.80	59.70	79.60	59.70
น้ำตาลทราย (กรัม)	9.95	29.85	29.85	9.95	19.90
น้ำผึ้ง (กรัม)	29.85	29.85	9.95	9.95	19.90
เกลือ (กรัม)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

เมื่อได้สัดส่วนของส่วนผสมต่างๆในแต่ละสูตร จากนั้นทำการเตรียมเครื่องดื่มน้ำมะนาวตามสัดส่วนที่ได้จากตารางที่ 4.2 และนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีให้คะแนนความชอบแบบ 9-point Hedonic Scale คุณลักษณะสี กลิ่นมะนาว กลิ่นน้ำผึ้ง รสเปรี้ยว รสหวาน และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน (ตัวอย่างแบบทดสอบทางประสาท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สัมผัสอยู่ในภาคผนวก ง) ในห้องปฏิบัติการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยเฉพาะ ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำมะนาว

สิ่งทดลอง (สูตร)	สี	กลิ่นมะนาว	กลิ่นน้ำผึ้ง	รสเปรี้ยว	รสหวาน	ความชอบโดยรวม
1	6.16±1.39^{b}	5.72±1.51^{b}	5.60±1.79^{b}	5.66±1.78^{b}	5.44±1.73^{b}	5.80±1.40^{bc}
2	6.28±1.71^{b}	5.68±1.42^{b}	6.30±1.7^{a}	5.82±1.80^{b}	5.90±1.85^{b}	6.30±1.48^{b}
3	6.94±1.26^{a}	6.62±1.34^{a}	5.56±1.48^{b}	6.86±1.58^{a}	6.38±1.83^{a}	6.90±1.58^{a}
4	6.44±1.60^{ab}	5.52±1.95^{b}	4.28±1.86^{c}	4.18±2.41^{c}	3.42±1.72^{c}	3.74±1.6^{d}
5	6.62±1.46^{ab}	5.66±1.72^{b}	5.36±1.79^{b}	5.68±2.16^{b}	5.34±1.99^{b}	5.62±1.71^{c}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำมะนาว ซึ่งมีคุณลักษณะในเรื่องสี กลิ่นมะนาว กลิ่นน้ำผึ้ง รสเปรี้ยว รสหวาน และความชอบโดยรวม ได้ค่าคะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะต่างๆ ดังนี้

1. คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะด้านสี พบว่าสีของสูตร 3 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \geq 0.05$) กับสูตร 1 และ 2 แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P > 0.05$) กับสูตร 4 และ 5

2. คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะด้านกลิ่นมะนาว พบว่ากลิ่นมะนาวของสูตร 3 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ ($P \geq 0.05$) สูตร 1, 2, 4 และ 5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3. คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะด้านกลิ่นน้ำผึ้ง พบว่ากลิ่นน้ำผึ้งของสูตร 2 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ ($P \geq 0.05$) สูตร 1, 3, 4 และ 5

4. คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะด้านรสเปรี้ยว พบว่ารสเปรี้ยวของสูตร 3 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ ($P \geq 0.05$) สูตร 1, 2, 4 และ 5

5. คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะด้านรสหวาน พบว่ารสหวานของสูตร 3 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ ($P \geq 0.05$) สูตร 1, 2, 4 และ 5

6. คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะด้านความชอบโดยรวม พบว่าความความชอบโดยรวมของสูตร 3 มากที่สุด แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ ($P \geq 0.05$) สูตร 1, 2, 4 และ 5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะเห็นได้ว่า เครื่องดื่มน้ำมะนาวสูตรที่ 3 มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และประกอบกับมีคะแนนด้านอื่นๆอีก 4 ด้าน คือ สี กลิ่นมะนาว รสเปรี้ยว รสหวานสูงที่สุด เพราะฉะนั้น เครื่องดื่มน้ำมะนาวสูตรที่ 3 จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปเป็นสูตรการผลิตเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง หลังจากได้เลือกเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบมากที่สุด คือ เครื่องดื่มน้ำมะนาวสูตรที่ 3 จากนั้นนำเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ได้ไปวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และเคมี ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 คุณภาพทางกายภาพและเคมีบางประการของเครื่องดื่มน้ำมะนาวสูตรที่ 3

คุณภาพทางกายภาพและเคมี	ค่าที่วัดได้
ค่าสี *L**	25.70±0.80
ค่าสี *a**	-0.61±0.32
ค่าสี *b**	3.67±0.20
ความหนืด (เซนติพอยด์)	10.00±0.45
ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	1.20±0.00
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	43.25±0.27
ความเป็นกรดด่าง (pH)	2.19±0.01
ปริมาณกรดทั้งหมดซึ่งคำนวณในรูปกรดซิตริก (ร้อยละ)	6.29±0.82
ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)	16.83±0.41

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.4 พบว่าสีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวในค่า *L** (ความสว่าง) มีค่าเท่ากับ 25.70 ค่า *a** มีค่าเป็นลบแสดงถึงว่ามีความเป็นสีเขียว และค่า *b** มีค่าเป็นบวกแสดงถึงว่ามีความเป็นสีเหลือง ความหนืดมีค่าเท่ากับ 10.00 เซนติพอยด์ ความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 1.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 43.25 องศาบริกซ์ ความเป็นกรดด่างมีค่าเท่ากับ 2.19 มีปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.29 และปริมาณวิตามินซีมีค่าเท่ากับ 16.83 มิลลิกรัมต่อน้ำมะนาว 100 มิลลิลิตร

เมื่อเปรียบเทียบเครื่องดื่มน้ำมะนาวกับน้ำมะนาวสดในตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของน้ำมะนาวสดมีการเปลี่ยนแปลงไป จะเห็นได้จากเครื่องดื่มน้ำมะนาวสูตรที่ 3 มีค่าสี *L**, *a**, *b** ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณวิตามินซีมีค่าที่ลดลง ส่วนค่าความหนืด ค่าความหนาแน่น และปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการเติมส่วนผสมต่างๆลงไปในน้ำมะนาว ตัวอย่างเช่นน้ำผึ้ง ซึ่งมีสีเหลืองออกน้ำตาล และความหนืดสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถึง 2,000 เซนติพอยซ์ (Verick Internationl, 2012) และยังมีความหนาแน่น 1.42 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (The Physics Hypertextbook, 2012) ซึ่งเมื่อนำไปผสมกับน้ำมะนาวจะส่งผลให้เครื่องดื่มน้ำมะนาวมีค่าสีที่ลดลง และมีความหนาแน่นกับความหนืดที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นนั้น ยังเกิดจากการเติมตัวถูกละลายลงไป คือ น้ำตาลทรายและเกลือ ในส่วนของปริมาณวิตามินซี ร่างกายต้องการวิตามินซี ประมาณวันละ 50 มิลลิกรัม (นิธิยา, 2553) ซึ่งถ้าผู้บริโภครับประทานเครื่องดื่มน้ำมะนาวสูตรที่ 3 จากการศึกษาครั้งนี้วันละ 2 แก้ว น่าจะได้รับวิตามินซีต่อวันอย่างเพียงพอ

4.3 ผลของความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมและเวลาในการตีโฟมที่มีต่อค่าโอเวอร์รัน ความคงตัว และความหนาแน่นของโฟม

หลังจากได้เครื่องดื่มน้ำมะนาวสูตรที่เหมาะสมที่สุดจากข้อที่ 4.2 จากนั้นนำมาผสมกับสารก่อให้เกิดโฟม 3 ชนิด คือ เมทโธเซล GMS และอัลบูมินจากไข่ โดยทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปริมาณของสารก่อให้เกิดโฟมที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดโฟมให้ได้ก่อน ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดโฟม มีผลการทดลองดังนี้

- ความเข้มข้นต่ำสุดของเมทโธเซล ในการทำให้เกิดโฟมคือ ร้อยละ 0.05
- ความเข้มข้นต่ำสุดของ GMS ในการทำให้เกิดโฟมคือ ร้อยละ 5
- ความเข้มข้นต่ำสุดของอัลบูมินจากไข่ในการทำให้เกิดโฟมคือ ร้อยละ 0.5

ซึ่งเมื่อได้ปริมาณน้อยที่สุดที่สามารถทำให้เกิดโฟม จะทำการเตรียมส่วนผสมใหม่อีกครั้งสำหรับการตีโฟม และทำการเพิ่มความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมขึ้นอีก 4 ระดับ และทำการผันแปรเวลาตีโฟม 5 ระดับ (ตารางที่ 3.2 – 3.4) ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.3.1 สมบัติทางกายภาพของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว เมื่อใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดก่อให้เกิดโฟม ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.5 – 4.7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 ค่าโอเวอร์รัน (ร้อยละ) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม

เวลาที่ใช้ตีปั่น	ปริมาณเมทโธเซล (ร้อยละ)				
(นาที)	0.05	0.33	0.60	0.90	1.17
10	8.28 ± 5.35^{Bc}	90.98 ± 26.25^{Cb}	179.35 ± 1.85^{Ea}	172.61 ± 14.61^{Da}	121.16 ± 22.09^{Bb}
15	40.73 ± 17.68^{Ac}	176.17 ± 3.64^{Bb}	241.35 ± 7.24^{Da}	174.49 ± 20.29^{Db}	161.66 ± 7.89^{Bb}
20	50.37 ± 20.69^{Ad}	191.81 ± 8.95^{ABc}	313.17 ± 9.24^{Ca}	254.16 ± 19.89^{Cb}	254.86 ± 15.93^{Ab}
25	49.53 ± 4.03^{Ad}	209.73 ± 1.21^{Ac}	333.39 ± 2.06^{Ba}	314.69 ± 12.65^{Ba}	255.13 ± 22.22^{Ab}
30	39.73 ± 13.91^{Ae}	213.54 ± 2.55^{Ad}	450.42 ± 19.21^{Aa}	365.28 ± 17.29^{Ab}	290.99 ± 46.66^{Ac}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ตารางที่ 4.6 ค่าความคงตัว (มิลลิลิตรต่อนาที) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม

เวลาที่ใช้ตีปั่น	ปริมาณเมทโธเซล (ร้อยละ)				
(นาที)	0.05	0.33	0.60	0.90	1.17
10	612.75 ± 21.23^{Aa}	4.90 ± 0.01^{Ab}	6.04 ± 1.52^{Ab}	0.09 ± 0.08^{Ab}	1.08 ± 0.91^{Ab}
15	316.53 ± 1.28^{Ba}	2.74 ± 0.38^{Bb}	1.09 ± 0.55^{Bc}	0.08 ± 0.05^{Ac}	0.99 ± 0.85^{Ac}
20	263.66 ± 0.01^{Ca}	0.78 ± 0.24^{Cb}	0.06 ± 0.08^{Bc}	0.02 ± 0.02^{Ac}	0.01 ± 0.01^{Ac}
25	250.37 ± 0.64^{Ca}	0.36 ± 0.04^{Db}	0.06 ± 0.02^{Bb}	0.02 ± 0.01^{Ab}	0.02 ± 0.01^{Ab}
30	184.02 ± 0.03^{Da}	0.33 ± 0.05^{Db}	0.07 ± 0.03^{Bc}	0.01 ± 0.01^{Ac}	0.00 ± 0.00^{Ad}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ตารางที่ 4.7 ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวโดยใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม

เวลาที่ใช้ตีปั่น	ปริมาณเมทโธเซล (ร้อยละ)				
(นาที)	0.05	0.33	0.60	0.90	1.17
10	1.63 ± 0.22^{Aa}	0.89 ± 0.11^{Ab}	0.85 ± 0.05^{Ab}	0.70 ± 0.08^{Ab}	0.75 ± 0.05^{ABb}
15	1.28 ± 0.42^{ABa}	0.69 ± 0.09^{Bb}	0.80 ± 0.06^{Ab}	0.69 ± 0.08^{Ab}	0.81 ± 0.09^{Ab}
20	1.28 ± 0.34^{ABa}	0.72 ± 0.02^{Bb}	0.59 ± 0.06^{Bb}	0.51 ± 0.02^{Bbc}	0.64 ± 0.07^{BCb}
25	1.16 ± 0.73^{ABa}	0.71 ± 0.05^{Bb}	0.55 ± 0.05^{BCc}	0.53 ± 0.06^{Bc}	0.65 ± 0.09^{BCbc}
30	0.89 ± 0.06^{Ba}	0.71 ± 0.05^{Bb}	0.49 ± 0.01^{Cd}	0.51 ± 0.03^{Bd}	0.59 ± 0.04^{Cc}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(1) ค่าโอเวอร์รันของโฟม

ค่าโอเวอร์รันคือ การวัดปริมาณของอากาศที่ถูกตีเข้าไปในโฟม โดยค่าโอเวอร์รันที่สูงถือเป็นคุณลักษณะที่ดีสำหรับการนำไปอบแห้ง การทดสอบค่าโอเวอร์รันของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่มีเมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม โดยใช้ระดับความเข้มของสารก่อให้เกิดโฟม และใช้เวลาในการตีปั่นต่างกัน พบว่าปัจจัยที่ศึกษานั้นส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันของโฟมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 โฟมที่ได้มีค่าโอเวอร์รันสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 450.42 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.60 และใช้เวลาตีปั่นเป็นเวลา 30 นาที โฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.05 มีค่าโอเวอร์รันอยู่ระหว่างร้อยละ 8.28 – 50.37 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าโอเวอร์รันต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ เนื่องจากที่ระดับความเข้มข้นนี้ มีการใช้ปริมาณของเมทโธเซลในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่ทำให้เกิดโฟมเท่านั้น โดยที่โฟมนั้นยังไม่มีความคงตัวแต่อย่างใด จึงทำให้ค่าโอเวอร์รันที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำ และยังพบอีกว่าเวลาในการตีปั่นโฟมที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันของโฟม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$)

เมื่อทำการเพิ่มระดับความเข้มข้นของเมทโธเซลจากร้อยละ 0.33 เป็นร้อยละ 0.60 และมีการเพิ่มเวลาในการตีปั่นโฟมด้วยนั้น พบว่าค่าโอเวอร์รันมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) แต่เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของเมทโธเซลจากร้อยละ 0.90 จนถึงร้อยละ 2.5 กลับพบว่าค่าโอเวอร์รันมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) และเป็นที่สังเกตว่าที่ระดับความเข้มข้นเท่ากัน แต่มีการเพิ่มเวลาในการตีปั่นโฟมนั้นมีผลทำให้ค่าโอเวอร์รันเพิ่มขึ้น ในขณะที่เวลาในการตีปั่นโฟมเท่ากันแต่มีการเพิ่มระดับความเข้มข้น เมื่อถึงความเข้มข้นหนึ่ง กลับพบว่าค่าโอเวอร์รันของโฟมมีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่าวัฏภาคอากาศในโครงสร้างโฟมมีน้อยลงเมื่อใช้เวลาในการตีปั่นโฟมนานขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใช้สารก่อให้เกิดโฟมที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งสอดคล้องกับ Karim and Wai (1999) ได้ศึกษาการอบแห้งน้ำมะเฟืองด้วยวิธีการทำโฟม–แมท โดยใช้เมทโธเซล 65 เอชจี เป็นสารก่อให้เกิดโฟมในน้ำมะเฟือง พบว่าเมทโธเซลที่ระดับความเข้มข้นต่ำนั้น ชั้นของการสัมผัสกันของฟองอากาศจะบางมากและสามารถยุบตัวได้ง่าย และผลของการเพิ่มความเข้มข้นของเมทโธเซลที่มากขึ้น อาจไปเพิ่มความหนืดของโฟมทำให้ค่าโอเวอร์รันลดลง เช่นเดียวกับ รัตนา (2545) ที่ได้ศึกษาการอบแห้งน้ำลำไยด้วยวิธีทำแห้งแบบโฟม–แมท โดยใช้เมทโธเซล 65 เอชจี เป็นสารก่อให้เกิดโฟมในน้ำลำไย รายงานว่า ค่าโอเวอร์รันลดลงตามปริมาณของเมทโธเซลที่เพิ่มขึ้น และพัตสลา (2552) ที่ได้ศึกษาการผลิตน้ำส้มผงด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบอินฟราเรดหลังผ่านกรรรมวิธีโฟม-แมท พบว่าการใช้ปริมาณสารก่อให้เกิดโฟม ซึ่งทำให้โฟมคงตัวในระดับต่างๆและใช้เวลาในการตีปั่นต่างกัน ส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันของโฟมน้ำส้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) ซึ่งในการศึกษาใช้ เมทโธเซลร่วมกับ whipping agent ในระดับต่างๆกัน เป็นสารก่อให้เกิดโฟม โดยได้ค่าโอเวอร์รันสูงสุดร้อยละ 386.61 ที่ความเข้มข้นอัตราส่วนเมทโธเซล : whipping agent คือ 1:1 ในส่วนผสมน้ำส้มที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 25 องศาบริกซ์

(2) ค่าความคงตัวของโฟม

การทดสอบค่าความคงตัวของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยการวัดอัตราการแยกตัวของของเหลวจากโฟม เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่มีเมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม และมีการใช้ระดับความเข้มของสารก่อให้เกิดโฟม และใช้เวลาในการตีปั่นต่างกัน พบว่าระดับความเข้มข้น และเวลาในการตีปั่นไม่ส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ยกเว้นที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ค่าความคงตัวของโฟมมีค่าที่ค่อนข้างต่ำ กล่าวคือมีอัตราการแยกตัวของของเหลวที่สูงมาก ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากความสัมพันธ์ของค่าโอเวอร์รันกับค่าความคงตัว เนื่องจากค่าโอเวอร์รันที่ระดับความเข้มข้น 0.05 (ตารางที่ 4.5) มีค่าที่น้อยมาก จึงส่งผลต่อค่าความคงตัวทำให้โฟมมีอัตราการแยกตัวของของเหลวที่สูง เพราะรูปร่างของฟองอากาศในโฟมมีขนาดใหญ่และมีปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับระดับความเข้มข้นอื่นๆ จึงทำให้โฟมไม่มีความคงตัวมากพอ และเกิดการยุบตัวได้ง่าย

หากพิจารณาการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟม พบว่าการใช้ระดับความเข้มข้นที่สูง จะทำให้อัตราการแยกตัวของของเหลวมีค่าที่น้อยกว่าการใช้ความเข้มข้นที่ระดับต่ำ เนื่องจากปริมาณของสารก่อให้เกิดโฟมที่มีปริมาณมาก หรือมีความเข้มข้นสูงนั้น ช่วยลดแรงตึงผิวของฟองอากาศที่เกิดขึ้นได้มากกว่าการใช้ปริมาณสารก่อให้เกิดโฟมที่น้อย หรือมีความเข้มข้นต่ำ ทำให้ฟองมีความเสถียร ไม่ยุบตัว และไม่แตกออกได้ง่าย (Thuwapanichayanan *et al.*, 2006) จึงทำให้การแยกตัวของของเหลวมีค่าที่น้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับ พัตสลา (2552) ได้ศึกษาการผลิตน้ำส้มผงด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบอินฟราเรดหลังผ่านกรรรมวิธีโฟม-แมท พบว่าการใช้สารก่อให้เกิดโฟมในปริมาณมาก ทำให้โฟมน้ำส้มมีความคงตัวดีในระดับสูงกว่าการใช้ของสารก่อให้เกิดโฟมในปริมาณน้อยกว่า แต่ผลการศึกษาในครั้งนี้ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Karim and Wai (1999) ที่รายงานว่าการทำโฟมน้ำส้ม หรือโฟมน้ำมะม่วง เมื่อใช้สารก่อให้เกิดโฟมมากขึ้น ทำให้มีอัตราการแยกตัวของของเหลวของโฟมมากขึ้น

(3) ค่าความหนาแน่นของโฟม

ค่าความหนาแน่นของโฟมเป็นอีกคุณลักษณะหนึ่ง ที่มีความสำคัญต่อการนำโฟมไปอบแห้ง โดยความหนาแน่นควรอยู่ในระหว่างช่วง 0.20-0.80 กรัมต่อมิลลิลิตร (Torrey, 1974 อ้างใน ดรุณี, 2550) การทดสอบค่าความหนาแน่นของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่มีเมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม และมีการใช้ระดับความเข้มของสารก่อให้เกิดโฟม และใช้เวลาในการตีปั่นต่างกัน พบว่าระดับความเข้มข้นและเวลาในการตีปั่นส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของโฟมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นจากร้อยละ 0.05 จนถึงร้อยละ 0.90 พบว่าความหนาแน่นของโฟมมีค่าลดลง ที่เวลาในการตีปั่นเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อมีการเพิ่มระดับความเข้มข้นเป็นร้อยละ 1.17 ค่าความหนาแน่นกลับมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Falade, Adeyanju and Uzo-Peters (2003) ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของเมทโธเซลในระดับต่างๆ มีผลต่อการลดลงของความหนาแน่นของโฟม เมื่อเพิ่มเวลาในการตีปั่นเป็น 20 นาที แต่เวลาในการตีปั่นที่มากเกินไปนั้น ไม่ส่งผลต่อความเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของโฟม Berry *et al*. (1965) รายงานว่า การตีโฟมโดยใช้เวลานานขึ้น ไม่มีผลทำให้ความหนาแน่นลดลงไปมาก เนื่องจากโฟมไม่สามารถคงตัวอยู่ได้เพราะฟองอากาศไม่แข็งแรงพอที่จะทนต่อแรงเฉือน เนื่องจากการตีปั่น ทำให้ฟองอากาศเหล่านี้แตกออก นำไปสู่การยุบตัวของโฟมเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “fatigue phenomena” และดรุณี (2550) ได้ศึกษาการผลิตกล้วยน้ำว้าผงโดยวิธีทำแห้งแบบโฟม-แมท โดยใช้ Methocel และ Myverol เป็นสารก่อให้เกิดโฟม พบว่าการเพิ่มปริมาณ Methocel และ Myverol มีผลทำให้ความหนาแน่นของโฟมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และการใช้ Methocel ในระดับต่ำสุดคือ 1.2 กรัม/กิโลกรัม และเพิ่มปริมาณ Myverol เป็น 12 15 และ 18 กรัม/กิโลกรัม ให้ความหนาแน่นของโฟมกล้วยต่ำสุดและไม่แตกต่างกัน โฟมกล้วยที่มีความหนาแน่นต่ำแสดงว่าการเกิด โฟมจะดีกว่าโฟมกล้วยที่มีความหนาแน่นสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.2 สมบัติทางกายภาพของโฟม เมื่อใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.8 – 4.10

ตารางที่ 4.8 ค่าโอเวอร์รัน (ร้อยละ) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

เวลาที่ใช้ตีปั่น	ปริมาณ GMS (ร้อยละ)				
(นาที)	5	10	15	20	25
10	1.45 ± 0.72^{Bc}	1.01 ± 0.63^{Dc}	71.69 ± 2.55^{Ba}	65.34 ± 0.74^{Ab}	66.84 ± 1.21^{Ab}
15	6.29 ± 4.63^{Ad}	38.22 ± 9.09^{Cc}	78.86 ± 15.81^{ABa}	60.57 ± 3.09^{Ab}	43.99 ± 10.71^{Bbc}
20	7.59 ± 0.16^{Ad}	103.59 ± 0.81^{Ab}	106.97 ± 3.22^{Aa}	36.11 ± 0.56^{Bc}	34.37 ± 1.09^{BCc}
25	8.81 ± 1.24^{Ab}	97.17 ± 13.00^{ABa}	71.61 ± 32.11^{Ba}	34.61 ± 5.19^{BCb}	30.10 ± 6.73^{Cb}
30	9.56 ± 1.55^{Ad}	84.53 ± 2.91^{Ba}	47.92 ± 1.00^{Bb}	30.81 ± 1.03^{Cc}	28.94 ± 0.14^{Cc}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ตารางที่ 4.9 ค่าความคงตัว (มิลลิลิตรต่อนาที) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

เวลาที่ใช้ตีปั่น	ปริมาณ GMS (ร้อยละ)				
(นาที)	5	10	15	20	25
10	73.55 ± 1.28^{Aa}	68.95 ± 0.27^{Ab}	12.07 ± 0.06^{Ac}	0.46 ± 0.01^{Dd}	0.24 ± 0.10^{Cd}
15	72.37 ± 2.95^{Aa}	26.19 ± 5.53^{Bb}	9.32 ± 0.19^{Bc}	1.11 ± 0.19^{Cd}	0.32 ± 0.09^{Cd}
20	70.89 ± 5.52^{Aa}	7.34 ± 6.41^{Cb}	0.02 ± 0.02^{Db}	1.94 ± 0.07^{Bb}	0.57 ± 0.01^{ABb}
25	69.02 ± 2.38^{Aa}	3.16 ± 2.28^{Cb}	0.47 ± 0.08^{Cb}	2.07 ± 0.09^{Bb}	0.65 ± 0.12^{Ab}
30	70.85 ± 5.38^{Aa}	0.71 ± 0.85^{Cb}	0.30 ± 0.05^{Cb}	2.99 ± 0.01^{Ab}	0.49 ± 0.22^{Bb}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.10 ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

เวลาที่ใช้ตีปั่น(นาที)	ปริมาณ GMS (ร้อยละ)				
	5	10	15	20	25
10	2.62 ± 0.09^{Aa}	2.39 ± 0.11^{Ab}	1.62 ± 0.04^{Ac}	1.74 ± 0.06^{Bc}	1.35 ± 0.07^{Bd}
15	2.42 ± 0.22^{ABa}	1.78 ± 0.12^{Bb}	1.53 ± 0.50^{Ab}	1.82 ± 0.12^{Bb}	1.79 ± 0.09^{Ab}
20	2.36 ± 0.05^{Ba}	1.27 ± 0.13^{Cd}	1.29 ± 0.17^{Ad}	2.07 ± 0.12^{Ab}	1.87 ± 0.05^{Ac}
25	2.37 ± 0.07^{Ba}	1.26 ± 0.24^{Cc}	1.47 ± 0.19^{Ac}	2.08 ± 0.05^{Ab}	1.89 ± 0.10^{Ab}
30	2.36 ± 0.09^{Ba}	1.23 ± 0.26^{Ac}	1.66 ± 0.09^{Ac}	2.09 ± 0.09^{Ab}	1.89 ± 0.10^{Abc}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

(1) ค่าโอเวอร์รันของโฟม

การทดสอบค่าโอเวอร์รันของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่มี GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม โดยใช้ระดับความเข้มของสารก่อให้เกิดโฟมและใช้เวลาในการตีปั่นต่างกัน พบว่าปัจจัยที่ศึกษาส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันของโฟมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.8 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 มีค่าโอเวอร์รันต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นอื่นๆ เนื่องจากที่ระดับความเข้มข้นนี้เป็นระดับความเข้มข้นที่ทำให้เกิดโฟมเท่านั้น โดยที่โฟมยังไม่มีความคงตัวแต่อย่างใด จึงทำให้ค่าโอเวอร์รันที่ได้มีค่าที่ค่อนข้างต่ำ และพบอีกว่าการเพิ่มเวลาในการตีปั่นโฟมนั้นไม่ส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันของโฟม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่($P\leq0.05$)

โดยค่าโอเวอร์รันสูงสุด มีค่าเท่ากับร้อยละ 106.97 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 15 และจะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเพิ่มระดับความเข้มข้นจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 15 ค่าโอเวอร์รันมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นจากร้อยละ 15 จนถึงร้อยละ 25 ค่าโอเวอร์รันมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกับเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการตีปั่น ค่าโอเวอร์รันก็มีค่าลดลงเช่นกัน เนื่องมาจากการเพิ่มความเข้มข้นของ GMS เป็นผลทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งและความหนืด ทำให้โฟมไม่สามารถกักเก็บอากาศได้ จึงทำให้โฟมไม่สามารถเกิดขึ้นได้หรือเกิดได้ไม่ดี ซึ่งสอดคล้องกับ กฤต (2548) ที่ได้ศึกษาเครื่องดื่มผงจากผลยอผสมผลไม้ ด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม – แมท โดยใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟมในน้ำลูกยอผสมผลไม้ พบว่าการใช้ GMS นั้น ทำให้เกิดโฟมได้แต่ไม่มีความคงตัว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) ค่าความคงตัวของโฟม

การทดสอบค่าความคงตัวของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่มี GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และมีการใช้ระดับความเข้มของสารก่อให้เกิดโฟมและใช้เวลาในการตีปั่นต่างกัน พบว่าระดับความเข้มข้นและเวลาในการตีปั่นส่งผลต่อค่าความคงตัวของโฟม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.9 โดยค่าความคงตัวและค่าโอเวอร์รันมีความสอดคล้องกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 5 มีค่าโอเวอร์รันต่ำมาก ก็จะมีอัตราการแยกตัวของของเหลวที่สูงมากเช่นกัน และเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นให้สูงขึ้น อัตราการแยกตัวของของเหลวก็จะมีค่าลดลง แต่เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นจากร้อยละ 20 เป็น 25 จะเห็นได้ว่าอัตราการแยกตัวของของเหลวมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าโอเวอร์รันที่น้อยของโฟม (ตารางที่ 4.8) เนื่องจากการเพิ่มระดับความเข้มข้นของ GMS ที่มากเกินไปนั้น เป็นการเพิ่มปริมาณของของแข็ง ทำให้โฟมไม่สามารถดึงอากาศเข้ามาได้ จึงเกิดฟองน้อย

(3) ค่าความหนาแน่นของโฟม

การทดสอบค่าความหนาแน่นของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่มี GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และมีการใช้ระดับความเข้มของสารก่อให้เกิดโฟมและใช้เวลาในการตีปั่นต่างกัน พบว่าระดับความเข้มข้นและเวลาในการตีปั่น ส่งผลต่อค่าหนาแน่นของโฟมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) แต่ที่ระดับความเข้มข้นของ GMS ร้อยละ 15 ในทุกเวลาของการตีปั่นโฟม ค่าความหนาแน่นของโฟมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P>0.05$)

จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเพิ่มระดับความเข้มข้นของ GMS จากร้อยละ 5 จนถึงร้อยละ 15 และเพิ่มเวลาในการตีปั่นมากขึ้นนั้น พบว่าความหนาแน่นของโฟมมีค่าลดลง ซึ่งมีความสอดคล้องกับอัตราการแยกตัวของของเหลวที่ลดลง เมื่อมีการเพิ่มระดับความเข้มข้นและเวลาในการตีปั่น พบว่าถ้ามีการเพิ่มระดับความเข้มข้นจากร้อยละ 20 เป็นร้อยละ 25 และมีการเพิ่มเวลาในการตีปั่น ความหนาแน่นของโฟมจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Falade and Okocha (2010) รายงานว่า เมื่อเพิ่มความความเข้มข้นของ GMS และมีระยะเวลาในการตีปั่นที่ยาวนานขึ้น จะทำให้โฟมมีความหนาแน่นต่ำลง และยังกล่าวอีกว่า เวลาในการตีโฟมสำหรับกล้วยบดไม่ควรมากกว่า 18 นาที หลังจากนั้นความหนาแน่นจะไม่ลดลงอีกต่อไป และ Subrata and Srivastav (2009) รายงานว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ GMS ในเนื้อผลไม้ปั่น ทำให้ความหนาแน่นของโฟมลดลง เช่นกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.3 สมบัติทางกายภาพของโฟม เมื่อใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.11 – 4.13

ตารางที่ 4.11 ค่าโอเวอร์รัน (ร้อยละ) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

เวลาที่ใช้ตีปั่น	ปริมาณของอัลบูมินจากไข่ (ร้อยละ)				
(นาที)	0.5	5.5	10.5	15.5	20.5
10	11.13 ± 2.47^{Ad}	90.59 ± 4.52^{Cc}	85.25 ± 6.89^{Cc}	158.00 ± 9.66^{Aa}	104.85 ± 11.38^{Ab}
15	5.23 ± 0.83^{Bc}	99.87 ± 15.96^{BCb}	94.94 ± 10.14^{Cb}	152.67 ± 12.75^{ABa}	103.82 ± 21.99^{Ab}
20	6.49 ± 1.52^{Bd}	108.35 ± 1.59^{ABc}	175.93 ± 6.83^{Ba}	150.51 ± 5.08^{ABb}	101.29 ± 2.53^{ABc}
25	4.42 ± 1.18^{Be}	112.53 ± 8.81^{ABc}	178.90 ± 11.94^{Ba}	139.75 ± 8.52^{BCb}	88.00 ± 13.04^{ABd}
30	3.18 ± 2.13^{Bd}	123.46 ± 0.71^{Ab}	203.08 ± 6.96^{Aa}	133.01 ± 3.13^{Cb}	74.44 ± 14.64^{Bc}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ตารางที่ 4.12 ค่าความคงตัว (มิลลิลิตรต่อนาที) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

เวลาที่ใช้ตีปั่น	ปริมาณของอัลบูมินจากไข่ (ร้อยละ)				
(นาที)	0.5	5.5	10.5	15.5	20.5
10	71.56 ± 3.34^{Da}	1.49 ± 0.00^{Ab}	0.00 ± 0.00^{Ab}	0.00 ± 0.00^{Ab}	0.00 ± 0.00^{Ab}
15	83.43 ± 3.48^{Da}	0.00 ± 0.00^{Bb}	0.00 ± 0.00^{Ab}	0.00 ± 0.00^{Ab}	0.00 ± 0.00^{Ab}
20	118.34 ± 2.89^{Ca}	0.00 ± 0.00^{Bb}	0.00 ± 0.00^{Ab}	0.00 ± 0.00^{Ab}	0.00 ± 0.00^{Ab}
25	142.88 ± 28.99^{Ba}	0.00 ± 0.00^{Bb}	0.00 ± 0.00^{Ab}	0.00 ± 0.00^{Ab}	0.00 ± 0.00^{Ab}
30	188.08 ± 0.14^{Aa}	0.00 ± 0.00^{Bb}	0.00 ± 0.00^{Ab}	0.00 ± 0.00^{Ab}	0.00 ± 0.00^{Ab}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.13 ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

เวลาที่ใช้ตีปั่น	ปริมาณของอัลบูมินจากไข่ (ร้อยละ)				
(นาที)	0.5	5.5	10.5	15.5	20.5
10	2.25 ± 0.09^{BCa}	1.18 ± 0.05^{Ac}	1.13 ± 0.04^{Acd}	1.05 ± 0.04^{Cd}	1.33 ± 0.07^{Cb}
15	2.23 ± 0.19^{Ca}	1.17 ± 0.13^{Abc}	1.06 ± 0.26^{Ac}	1.22 ± 0.04^{Bbc}	1.47 ± 0.14^{BCb}
20	2.44 ± 0.03^{Ba}	0.93 ± 0.02^{Bd}	0.79 ± 0.02^{Be}	1.22 ± 0.06^{Bc}	1.61 ± 0.01^{BCb}
25	2.32 ± 0.06^{BCa}	0.91 ± 0.08^{Bd}	0.78 ± 0.02^{Be}	1.33 ± 0.04^{Ac}	1.67 ± 0.09^{Ab}
30	2.75 ± 0.05^{Aa}	0.89 ± 0.05^{Bd}	0.77 ± 0.04^{Bc}	1.36 ± 0.02^{Ac}	1.69 ± 0.06^{Ab}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

(1) ค่าโอเวอร์รันของโฟม

การทดสอบค่าโอเวอร์รันของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่มีอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และมีการใช้ระดับความเข้มของสารก่อให้เกิดโฟม และใช้เวลาในการตีปั่นต่างกัน พบว่าปัจจัยที่ศึกษาส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันของโฟมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.11 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีค่าโอเวอร์รันต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ อาจเกิดจากที่ระดับความเข้มข้นนี้เป็นระดับความเข้มข้นที่ทำให้เกิดโฟมเท่านั้น โดยที่โฟมยังไม่มีความคงตัวแต่อย่างใด จึงทำให้ค่าโอเวอร์รันที่ได้มีค่าที่ค่อนข้างต่ำ และพบอีกว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการตีปั่นจะส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันของโฟม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$)

ค่าโอเวอร์รันสูงสุด มีค่าเท่ากับร้อยละ 203.08 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10.5 เมื่อทำการเพิ่มระดับความเข้มข้นจากร้อยละ 5.5 เป็นร้อยละ 10.5 พบว่าค่าโอเวอร์รันเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นจากร้อยละ 15.5 เป็นร้อยละ 20.5 กลับพบว่าค่าโอเวอร์รันลดลง ที่ทุกๆเวลาในการตีปั่น เนื่องจากเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของอัลบูมินจากไข่ เป็นผลทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งและความหนืดทำให้โฟมไม่สามารถกักเก็บอากาศได้ จึงทำให้โฟมเกิดได้ไม่ดีและมีความคงตัวที่ต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ สุธิดา (2552) รายงานการใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟมในน้ำพริกสกัด พบว่าการเพิ่มปริมาณอัลบูมินจากไข่ ทำให้ค่าโอเวอร์รันมีค่าเพิ่มมากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) ค่าความคงตัวของโฟม

การทดสอบค่าความคงตัวของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่มีอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และมีการใช้ระดับความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟม และใช้เวลาในการตีปั่นต่างกัน พบว่าระดับความเข้มข้นและเวลาในการตีปั่นส่งผลต่อค่าความคงตัวของโฟมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) จะเห็นได้ว่าที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 นั้น มีอัตราการแยกตัวของของเหลวสูงมาก และมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) กับที่ระดับความเข้มข้นอื่นๆ และเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของอัลบูมินจากไข่ พบว่าค่าความคงตัวมีค่าเท่ากับ 0 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งหมายถึงว่าไม่มีอัตราการแยกตัวของของเหลว เพราะน้ำมะนาวมีผลไปลดค่า pH ของไข่ขาวให้เข้าสู่ค่า Isoelectirc points (pI) ของโปรตีนไข่ขาว ทำให้ผิวหน้ามีคุณสมบัติทาง Reological มากขึ้น ด้วยเหตุนี้โฟมจึงมีความคงตัวที่ดีมาก (Ferenc, 2010)

(3) ค่าความหนาแน่นของโฟม

การทดสอบค่าความหนาแน่นของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว เมื่อใช้ส่วนผสมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่มีอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และมีการใช้ระดับความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมและเวลาที่ใช้ในการตีปั่นต่างกัน ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของโฟมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) ค่าความหนาแน่นของโฟมที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 2.23 – 2.75 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งสอดคล้องกับค่าความคงตัวที่ไม่ดีและค่าโอเวอร์รันที่ค่อนข้างต่ำของโฟมระดับความเข้มข้นเดียวกัน เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นจากร้อยละ 5.5 เป็นร้อยละ 10.5 และเพิ่มเวลาในการตีปั่น ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง แต่เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นจากร้อยละ 15.5 เป็นร้อยละ 20.5 และเพิ่มเวลาในการตีปั่นค่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Thuwapanichayanan *et al.* (2008) ซึ่งรายงานว่า ความหนาหนาแน่นของโฟมกล้วยที่ใช้อัลบูมินจากไข่ (egg albumin) จะลดลง เมื่อเวลาในการตีปั่นเพิ่มมากขึ้นเพราะในระหว่างการตีปั่นโฟมอากาศจะถูกนำเข้ามาในของเหลว ซึ่งทำให้เกิดฟองจึงทำให้ความหนาแน่นลดลง และยังพบอีกว่าเมื่อเวลาการตีปั่นมากกว่า 20 นาทีขึ้นไป ความหนาแน่นของโฟมกล้วยมีค่ามากขึ้นอย่างรวดเร็ว และ Lau and Dickinson (2005) รายงานว่า การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของโฟม เกิดจากของเหลวมีฟิล์มบางปกคลุมอยู่มาก เครื่องมือที่ใช้ในการตีปั่นทำให้โฟมมีรูปร่างที่ไม่ดีและฟองที่ผนังเกิดการแตก เนื่องจากเวลาการตีปั่นที่ยาวนานมากเกินไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าสารก่อให้เกิดโฟมทั้ง 3 ชนิด สามารถทำให้เกิดโฟมได้ แต่ให้ค่าโอเวอร์รันที่แตกต่างกัน โดยจะเลือกค่าโอเวอร์รันที่สูงที่สุด เพื่อนำไปทดลองในตอนต่อไป ซึ่งสรุประดับความเข้มข้นและเวลาในการตีปั่นที่เหมาะสม ได้ดังต่อไปนี้

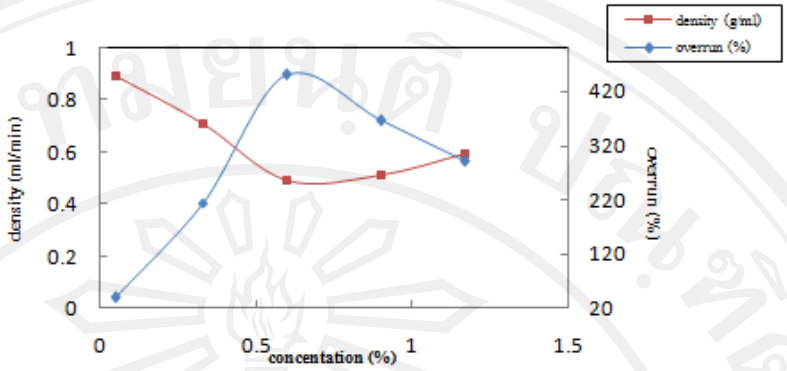
เมทโธเซล ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.60 เวลาตีปั่น 30 นาที ให้ค่าโอเวอร์รัน ร้อยละ 450.42 ค่าความคงตัว 0.07 มิลลิลิตรต่อนาที และความหนาแน่น 0.49 กรัมต่อมิลลิลิตร

GMS ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 เวลาตีปั่น 20 นาที ให้ค่าโอเวอร์รันร้อยละ 106.97 ค่าความคงตัว 0.02 มิลลิลิตรต่อนาที และความหนาแน่น 1.29 กรัมต่อมิลลิลิตร

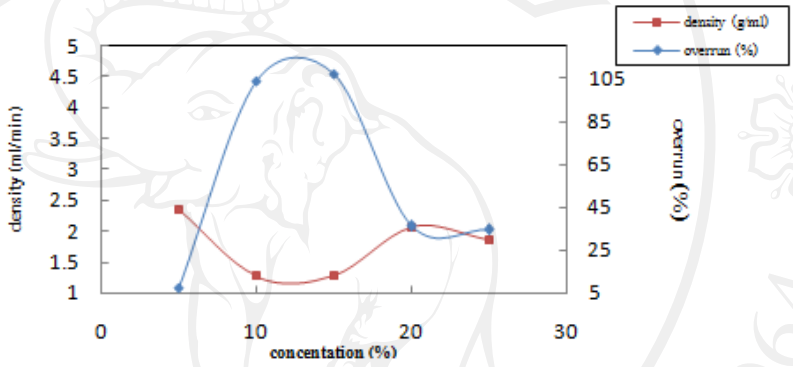
อัลบูมินจากไข่ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 10.5 เวลาตีปั่น 30 นาที ให้ค่าโอเวอร์รัน ร้อยละ 203.08 ค่าความคงตัว 0.00 มิลลิลิตรต่อนาที และความหนาแน่น 0.77 กรัมต่อมิลลิลิตร

โดยทั่วไปค่าโอเวอร์รัน และค่าความหนาแน่นของโฟมจะมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือคือถ้าค่าโอเวอร์รันของโฟมมีค่าสูง ค่าความหนาแน่นของโฟมก็จะมีค่าต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 (a), (b) และ (c) ซึ่งพบว่าการใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกันและความเข้มข้นที่ต่างกันนั้น มีผลต่อค่าโอเวอร์รันและค่าความหนาแน่น โดยเมื่อค่าโอเวอร์รันเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นจะลดลง เป็นเช่นนี้ทั้งสามสารก่อให้เกิดโฟม ซึ่งอาจเกิดจากความสัมพันธ์ของค่าโอเวอรร์รันของโฟมและความหนาแน่นของโฟม เพราะการที่มีค่าโอเวอร์รันสูงคือการที่มีอากาศอยู่ในโฟมเป็นจำนวนมาก ย่อมส่งผลให้ความหนาแน่นมีน้อยนั่นเอง และลักษณะรูปร่างของการเกิดโฟมก็ส่งผลต่อค่าโอเวอร์รันและความหนาแน่นเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.1 (d) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีโฟมที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกัน หลังการตีปั่นโฟมที่ได้มีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยโฟมของเมทโธเซลจะมีลักษณะคล้ายโฟมมากที่สุด คือจะเห็นได้ด้วยสายตาว่ามีฟองอากาศจำนวนมากแทรกอยู่ในโฟม และเมื่อสัมผัสโฟมจะมีน้ำหนักที่เบามาก ในขณะที่ GMS โฟมที่ได้มีลักษณะคล้ายครีมสีขาว มีความหนืดมาก น้ำหนักค่อนข้างมาก และมองไม่เห็นฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่ชัดเจนเท่ากับเมทโธเซล และอัลบูมินจากไข่โฟมที่ได้มีลักษณะคล้ายเมอแรงค์ น้ำหนักเบา แต่ฟองอากาศจะมีขนาดเล็กมากอัดตัวแน่น ไม่ขึ้นฟูมากเหมือนกับโฟมของเมทโธเซล ซึ่งมีปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลต่อการเกิดโฟม เช่น องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และชนิดของสารก่อให้เกิดโฟม เป็นต้น รัตนา (2547) ด้วยเหตุนี้ การใช้ระดับความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมและเวลาที่ใช้ตีปั่นโฟมที่ต่างกัน ส่งผลให้โฟมที่เกิดขึ้นมีค่าสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกัน และรูปร่างของโฟมหลังการตีปั่นมีลักษณะที่แตกต่างกันอีกด้วย

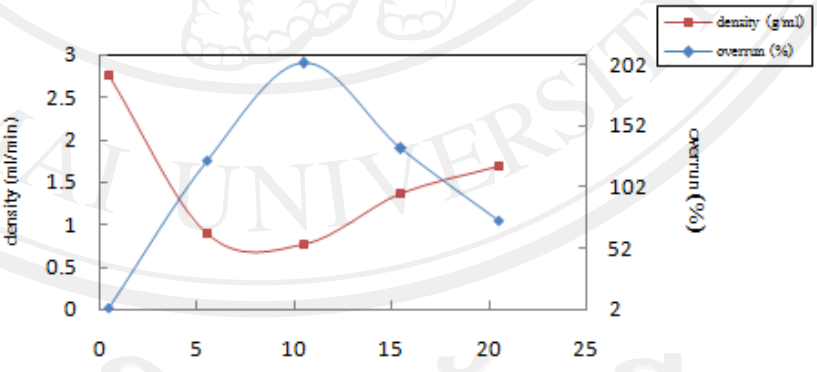
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(a)



(b)



(c)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมทโธเซล ตีโฟม 30 นาที

GMS ตีโฟม 20 นาที

อัลบูมินจากไข่ ตีโฟม 30 นาที

(d)

ภาพที่ 4.1 (a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอเวอร์รันและความหนาแน่นของโฟมที่ใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม

(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอเวอร์รันและความหนาแน่นของโฟมที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

(c) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอเวอร์รันและความหนาแน่นของโฟมที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

(d) ลักษณะของโฟมหลังการตีปั่นของสารก่อให้เกิดโฟม 3 ชนิด คือ เมทโธเซล GMS และอัลบูมินจากไข่

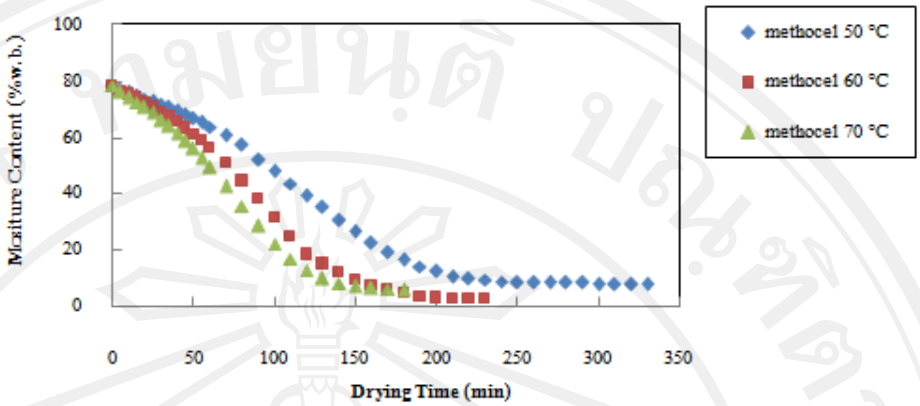
4.4 การเปรียบเทียบการลดความชื้นของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่อุณหภูมิลมร้อนต่างๆ

เมื่อทำการเลือกระดับความเข้มข้น และเวลาในการตีปั่นโฟมที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละสารก่อให้เกิดโฟม ตามที่ได้สรุปไว้ดังกล่าวข้างต้นในข้อที่ 4.3 จากนั้นทำการเตรียมโฟมตามระดับความเข้มข้น และทำการตีปั่นตามเวลาที่ได้ทำการคัดเลือกแล้วข้างต้น เมื่อตีปั่นโฟมเสร็จเรียบร้อย นำโฟมที่ได้ไปอบแห้งในเครื่องอบลมร้อนแบบถาด ที่ช่วงอุณหภูมิลมร้อนระหว่าง 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยเกลี่ยโฟมให้มีความหนาประมาณ 5 มิลลิเมตร พื้นที่ของโฟม 0.024 ตารางเมตร และความเร็วลมคงที่ 0.3 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นการอบแห้งแบบชั้นบาง และความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้เมทโธเซล GMS และอัลบูมินจากไข่ซึ่งเป็นสารก่อให้เกิดโฟม มีค่าเท่ากับร้อยละ 78.49 (wb), 42.19 (wb) และ 44. 17 (wb) ตามลำดับ อบแห้งจนน้ำหนักคงที่

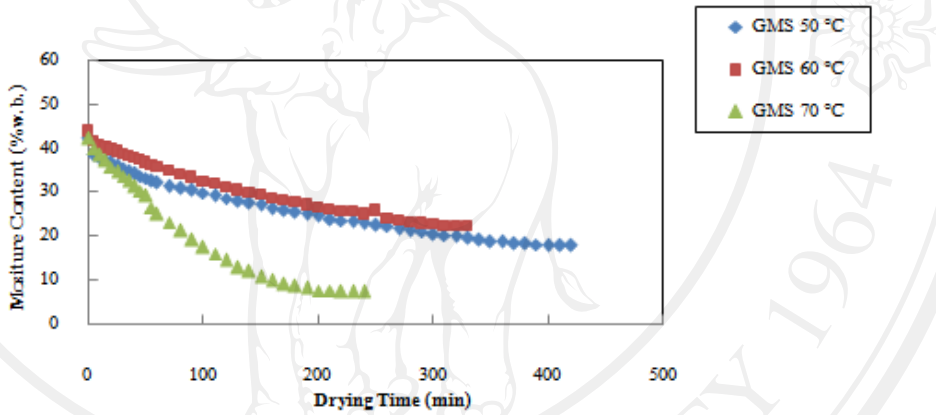
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในระหว่างการอบแห้ง ทำการบันทึกน้ำหนักของตัวอย่างทุกๆ 5 นาทีในชั่วโมงแรก และทุกๆ 10 นาทีในชั่วโมงถัดไป จนกว่าน้ำหนักของตัวอย่างจะคงที่ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟการลดความชื้นของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว แสดงดังภาพที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 จะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบการลดความชื้นของโฟมที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมที่แตกต่างกัน และอบที่อุณหภูมิลมร้อนต่างกัน คือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณความชื้นลดลง เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น ซึ่งโฟมที่ใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ระยะเวลาในการอบแห้งจนน้ำหนักคงที่ คือ 5.5, 4 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนโฟมที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งจนน้ำหนักคงที่ คือ 7, 5.5 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ และโฟมที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ระยะเวลาในการอบแห้งจนได้น้ำหนักคงที่ คือ 4, 3.7 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง ทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้น ซึ่งสอดคล้องกับ Thuwapanichayanan *et al.* (2008) ได้ศึกษาการอบแห้งโฟมกล้วยที่ใช้อัลบูเมนจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าความหนาแน่นของโฟมและอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่ออัตราการอบแห้ง กล่าวคือโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำ จะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าโฟมที่มีความหนาแน่นสูงเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน และเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นระยะเวลาในการอบแห้งก็จะสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เช่นเดียวกับ Falade and Okocha (2010) ได้ศึกษาการอบแห้งโฟมของกล้วยบดที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง และรูพรุนที่ในโฟมก็มีผลต่อการลดลงของเวลาของการอบแห้งอีกด้วย ซึ่ง Karim (1999) ที่ได้ศึกษาการอบแห้งน้ำมะเฟือง โดยใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟมและอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส ก็พบว่าระยะเวลาในการอบแห้งของน้ำมะเฟืองที่ 90 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่ 70 องศาเซลเซียส และ Kadam and Balasubramanian (2010) ได้ศึกษาการอบแห้งของน้ำมะเขือเทศโดยใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิมีผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงเช่นกัน และการอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน แต่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกัน มีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง เนื่องจากโฟมที่ได้จากสารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกันมีค่าโอเวอร์รัน ความคงตัว และความหนาแน่นที่แตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง และ Clement and Francois (2004) ได้ศึกษาการอบแห้งของ โฟมกล้วยที่ใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองเป็นสารก่อให้เกิดโฟม พบว่าความคงตัวของโฟมมีความสำคัญต่อการอบแห้งของโฟมกล้วย และลักษณะของโฟมที่ได้มีรูพรุนของอากาศแตกต่างกันอีกด้วย

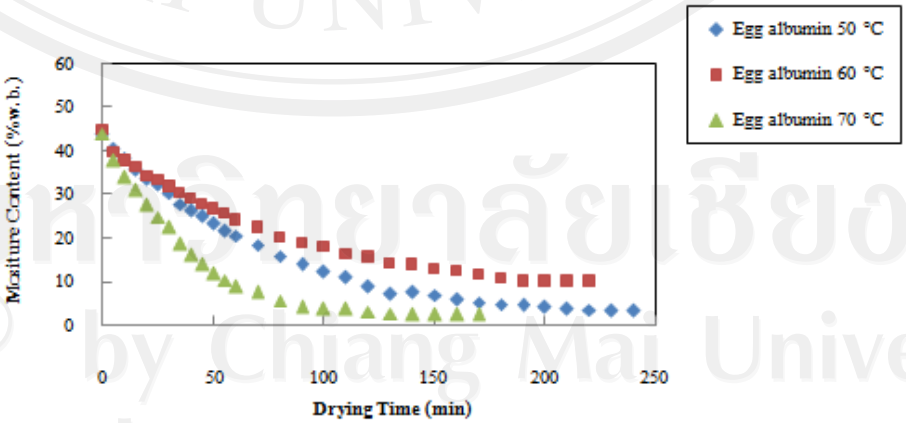
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.2 การเปรียบเทียบการลดความชื้นของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้เมทโธเซลเป็นก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส



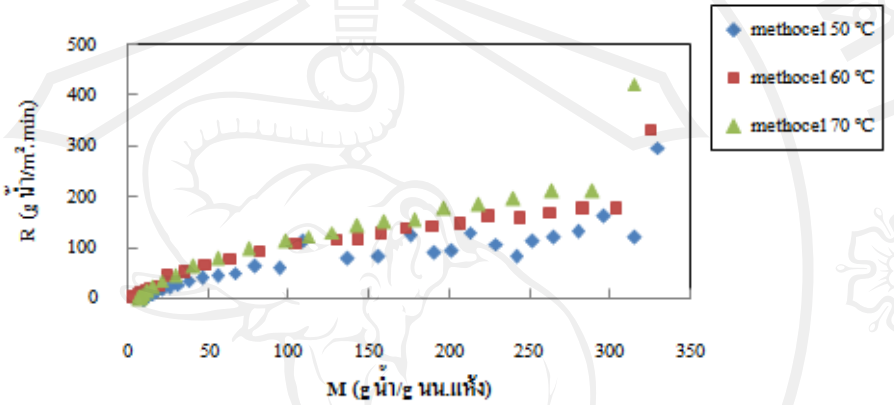
ภาพที่ 4.3 การเปรียบเทียบการลดความชื้นของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส



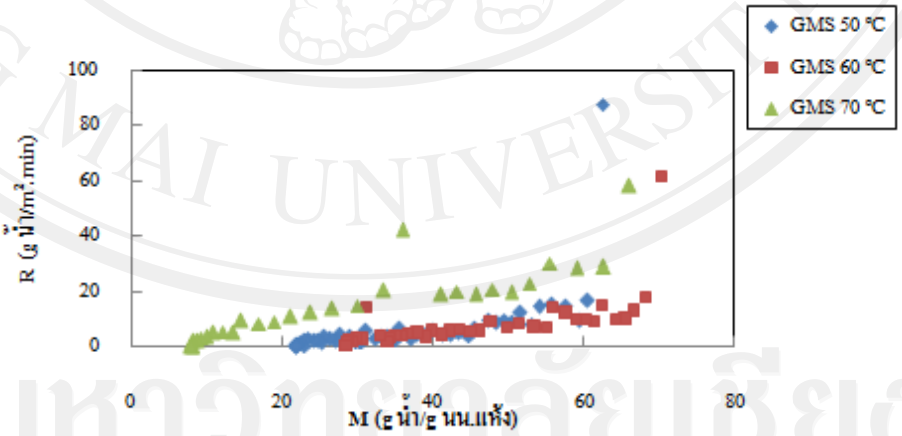
ภาพที่ 4.4 การเปรียบเทียบการลดความชื้นของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิลม 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่า การอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวมีระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้น เพราะมีอัตราการลดความชื้นที่สูง ซึ่งลักษณะกราฟจะมีความชันและจะสังเกตได้ว่าการลดความชื้นของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวจะอยู่ในช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (Falling rate) ดังแสดงในภาพที่ 4.5 – 4.7

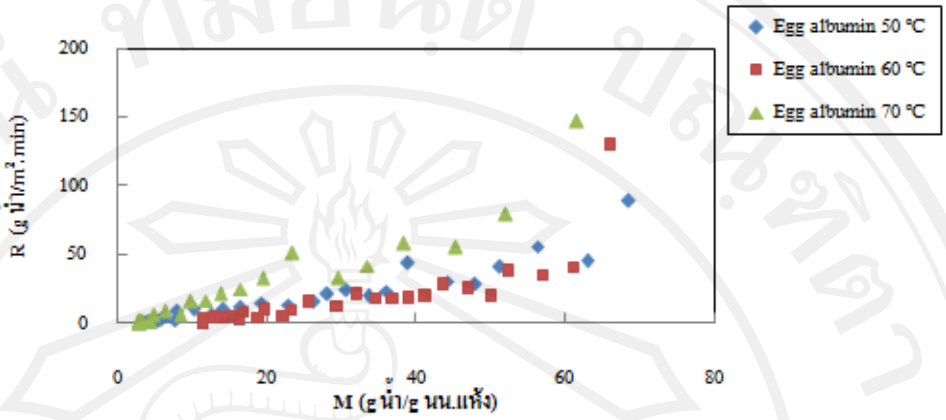


ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ70 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

4.5 จลนพลศาสตร์การอบแห้งของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว

4.5.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลอง

จากการนำโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวไปอบแห้ง และการบันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักโฟม ตลอดระยะเวลาการทำแห้งจนน้ำหนักคงที่ เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น (MR) ตามสมการที่ (3.1) เพื่อหาแบบจำลองที่ใช้ทำนายผลการอบแห้งของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์ค่าคงที่และพารามิเตอร์ต่างๆของการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ โดยการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นซึ่งใช้สมการของ Henderson and Pabis, Lewis, Page และ Two – term exponential พบว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ในการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวให้ค่าคงที่ของแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.14 - 4.16 ซึ่งมีการแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ RMSE, R^2_{adj} และ χ^2 ที่ได้จากสมการแต่ละสมการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(1) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม

จากตารางที่ 4.14 ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของ Henderson and Pabis, Lewis, Page และ Two – term exponential พบว่าแบบจำลองของ Page มีค่า R^2_{adj} เท่ากับ 0.9954, 0.9958 และ 0.9964 ค่า RMSE เท่ากับ 0.02130, 0.02028 และ 0.01853 และมีค่า χ^2 เท่ากับ 0.00048, 0.00043 และ 0.00037 ตามลำดับ และแบบจำลองของ Two – term exponential มีค่า R^2_{adj} เท่ากับ 0.9960, 0.9954 และ 0.9960 ค่า RMSE เท่ากับ 0.01885, 0.02028 และ 0.01885 และมีค่า χ^2 เท่ากับ0.00033, 0.00045 และ 0.00039 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งสามอุณหภูมิ แบบจำลองของ Page และ Two – term exponential มีค่า R^2_{adj} ที่สูงและใกล้เคียงกัน ในส่วนค่า RMSE และค่า χ^2 ก็มีค่าที่ต่ำที่ใกล้เคียงกัน

ภาพที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟมที่ได้จากการทดลอง และจากแบบจำลองทั้งสี่ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าค่าอัตราส่วนที่ได้จากการทดลองกับค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการคำนวณทั้งสี่แบบจำลองให้ผลใกล้เคียงกัน โดยแบบจำลองของ ของ Page และ Two – term exponential จะให้ผลใกล้เคียงกับการทดลองมากที่สุด โดยสามารถทำนายอัตราส่วนความชื้นได้ดีตลอดช่วงการอบแห้ง

ด้วยเหตุนี้จึงเลือกแบบจำลองของ Page มาทำนายอัตราการลดความชื้นของการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว เนื่องจากแบบจำลองของ Page นี้มีความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์น้อยกว่าแบบจำลองของ Two – term exponential และเป็นที่น่าพอใจเมื่อนำมาใช้ทำนายอัตราการลดความชื้นของการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว Kalpana *et al.* (2009) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งของใบพลู ที่อุณหภูมิลมร้อน 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าแบบจำลองของ Page สามารถทำนายอัตราการลดความชื้นของการอบแห้งใบพลูได้เหมาะสมที่สุด Ibrahim (2006) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งของอุ่นดำ ที่อบแห้งในอุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.1 เมตรต่อวินาที พบว่าแบบจำลองของ Page ให้ค่า R^2 ที่สูง และมีค่า χ^2 ที่ต่ำ ด้วย

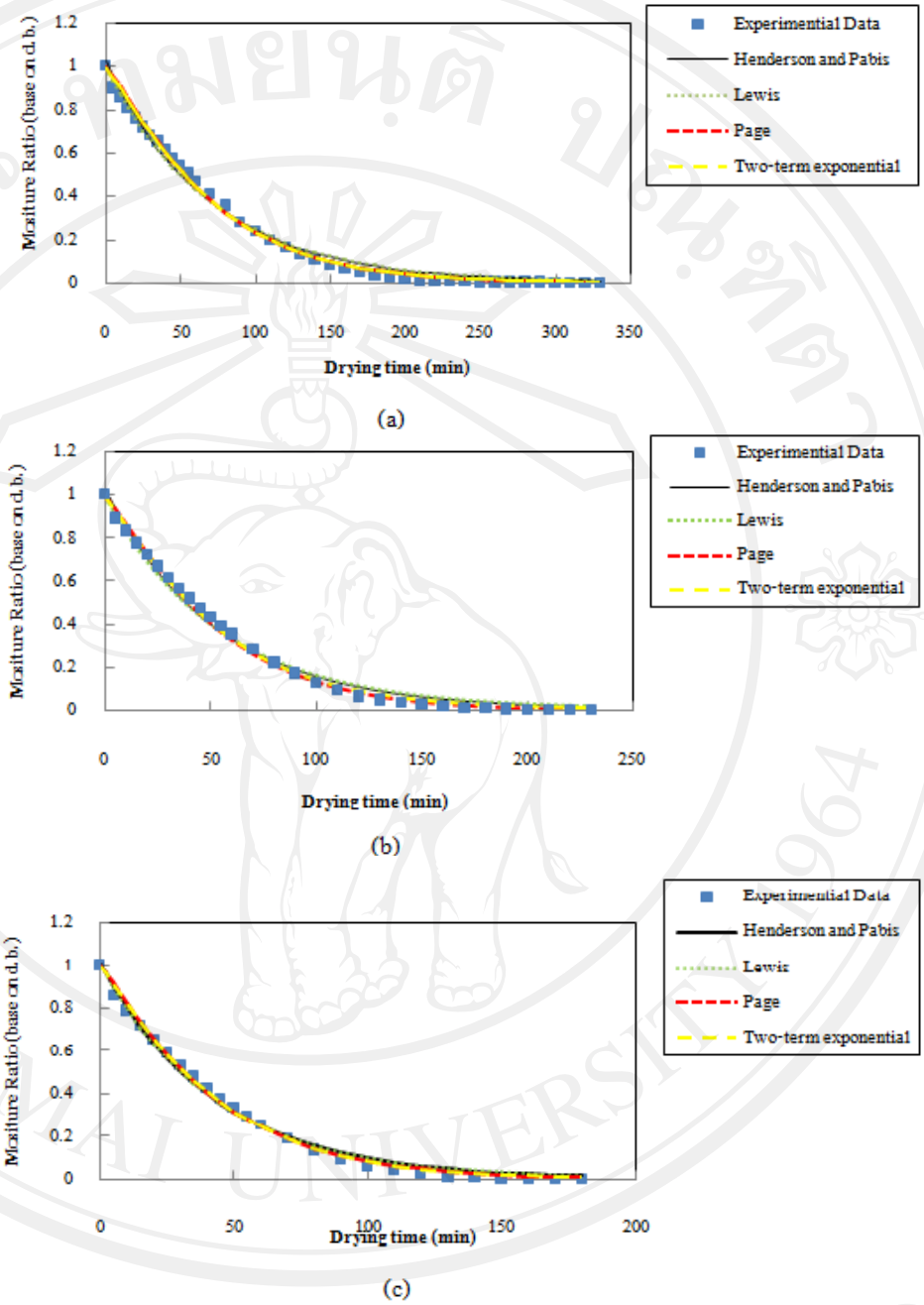
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เหตุนี้แบบจำลองของ Page จึงเหมาะสำหรับการทำนายอัตราการลดความชื้นของการอบแห้งองุ่นดำได้ดีที่สุด

ตารางที่ 4.14 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม

อุณหภูมิ (°C)	แบบจำลอง	สมการ	RMSE	R^2_{adj}	χ^2
50	Henderson and Pabis	MR = 1.0238 exp(-0.0144*t*)	0.03009	0.9908	0.00095
	Lewis	MR = exp(-0.014*t*)	0.03101	0.9904	0.00099
	Page	MR = exp(-0.007$t^{1.1555}$)	0.02130	0.9954	0.00048
	Two – term exponential	MR = 1.6613exp(-0.0184*t*) + (1 – 1.6613) exp(-0.0184*1.6613*t*)	0.02028	0.9958	0.00043
60	Henderson and Pabis	MR = 1.0279 exp(-0.0190*t*)	0.02855	0.9915	0.00087
	Lewis	MR = exp(-0.0184*t*)	0.02992	0.9910	0.00093
	Page	MR = exp(-0.0095$t^{1.1613}$)	0.01853	0.9964	0.00037
	Two – term exponential	MR = 1.6703exp(-0.0243*t*) + (1 – 1.6703) exp(-0.0243*1.16703*t*)	0.01885	0.9960	0.00033
70	Henderson and Pabis	MR = 1.0103 exp(-0.0232*t*)	0.02538	0.9928	0.00070
	Lewis	MR = exp(-0.0230*t*)	0.02560	0.9930	0.00068
	Page	MR = exp(-0.0153$t^{1.1053}$)	0.02028	0.9954	0.00045
	Two – term exponential	MR = 1.5846exp(-0.0287*t*) + (1 – 1.5846) exp(-0.0287*1.5846*t*)	0.01885	0.9960	0.00039

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.8 การเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม โดย (a), (b) และ (c) เป็นผลของการทดลอง และผลของแบบจำลองต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

จากตารางที่ 4.15 ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Henderson and Pabis, Lewis, Page และ Two – term exponential พบว่าแบบจำลองของ Henderson and Pabis สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดี โดยมีค่า R^2_{adj} เท่ากับ 0.9819, 0.9899 และ 0.9920 ตามลำดับ มีค่า RMSE เท่ากับ 0.03429, 0.02810 และ 0.02762 ตามลำดับ และมีค่า χ^2 เท่ากับ 0.00262, 0.00083 และ 0.00082 ตามลำดับ และค่าคงที่ที่คำนวณได้จากแบบจำลองของ Lewis, Page และ Two – term exponential ก็สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้เช่นกัน โดยมีค่า R^2_{adj} อยู่ในช่วง 0.9360 – 0.9958 มีค่า RMSE อยู่ในช่วง 0.02001 – 0.06519 และมีค่า χ^2 อยู่ในช่วง 0.00043 – 0.00434

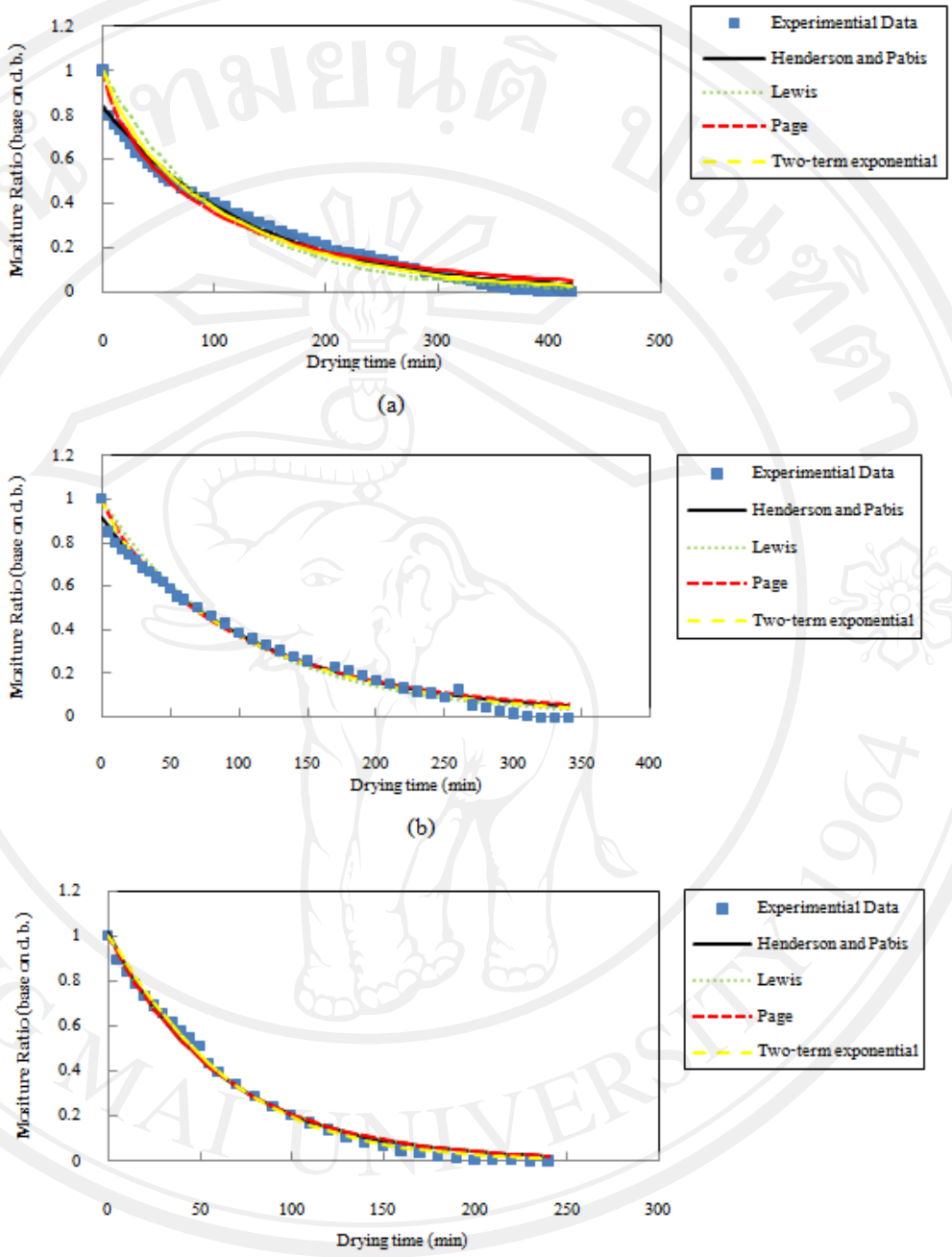
ภาพที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบการลดลงของความชื้น ในการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟมที่ได้จากการทดลอง และจากแบบจำลองทั้งสี่ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าค่าอัตราส่วนที่ได้จากการทดลองกับค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการคำนวณทั้งสี่แบบจำลองให้ผลใกล้เคียงกัน โดยสามารถทำนายอัตราส่วนความชื้นได้ดีตลอดช่วงการอบแห้ง ด้วยเหตุนี้จึงเลือกแบบจำลองของ Henderson and Pabis มาทำนายอัตราการลดความชื้นของการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว เนื่องจากแบบจำลองของ Henderson and Pabis นี้มีความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์น้อยกว่าแบบจำลองอื่นๆ และเป็นที่น่าพอใจ เมื่อนำมาใช้ทำนายอัตราการลดความชื้นของการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.15 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

อุณหภูมิ (°C)	แบบจำลอง	สมการ	RMSE	R^2_{adj}	χ^2
50	Henderson and Pabis	$MR = 0.8369 \exp(-0.0077t)$	0.03429	0.9819	0.00262
	Lewis	$MR = \exp(-0.0096t)$	0.06519	0.9360	0.00434
	Page	$MR = \exp(-0.0350t^{0.7326})$	0.03793	0.9779	0.00150
	Two – term exponential	$MR = 0.1562\exp(-0.0515t) + (1 - 0.1562) \exp(-0.0515*0.1562t)$	0.04371	0.9706	0.00199
60	Henderson and Pabis	$MR = 0.9192 \exp(-0.0088t)$	0.02810	0.9899	0.00083
	Lewis	$MR = \exp(-0.0098t)$	0.04071	0.9794	0.00170
	Page	$MR = \exp(-0.0172t^{0.8813})$	0.03406	0.9852	0.00122
	Two – term exponential	$MR = 0.0852\exp(-0.1033t) + (1 - 0.0852) \exp(-0.1033*0.0852t)$	0.02928	0.9891	0.00090
70	Henderson and Pabis	$MR = 1.0140 \exp(-0.0159t)$	0.02762	0.9920	0.00082
	Lewis	$MR = \exp(-0.0157t)$	0.02802	0.9920	0.00081
	Page	$MR = \exp(-1.1145t^{0.0097})$	0.02144	0.9951	0.00049
	Two – term exponential	$MR = 1.6042\exp(-0.0199t) + (1 - 1.6042) \exp(-0.0199*1.6042t)$	0.02001	0.9958	0.00043

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม โดย (a), (b) และ (c) เป็นผลของการทดลอง และผลของแบบจำลองต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(3) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

ตารางที่ 4.16 ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Henderson and Pabis, Lewis, Page และ Two – term exponential พบว่าแบบจำลองของ Henderson and Pabis สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดี โดยมีค่า R^2_{adj} เท่ากับ 0.9985, 0.9914 และ 0.9973 ตามลำดับ มีค่า RMSE เท่ากับ 0.01082, 0.02450 และ 0.01394 ตามลำดับ และมีค่า χ^2 เท่ากับ 0.00013, 0.00064 และ 0.00021 ตามลำดับ และค่าคงที่ที่คำนวณได้จากแบบจำลองของ Page และ Two – term exponential ก็สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้เช่นกัน โดยมีค่า R^2_{adj} อยู่ในช่วง 0.9927 – 0.9986 มีค่า RMSE อยู่ในช่วง 0.01039 – 0.02256 และมีค่า χ^2 อยู่ในช่วง 0.00012 – 0.00055

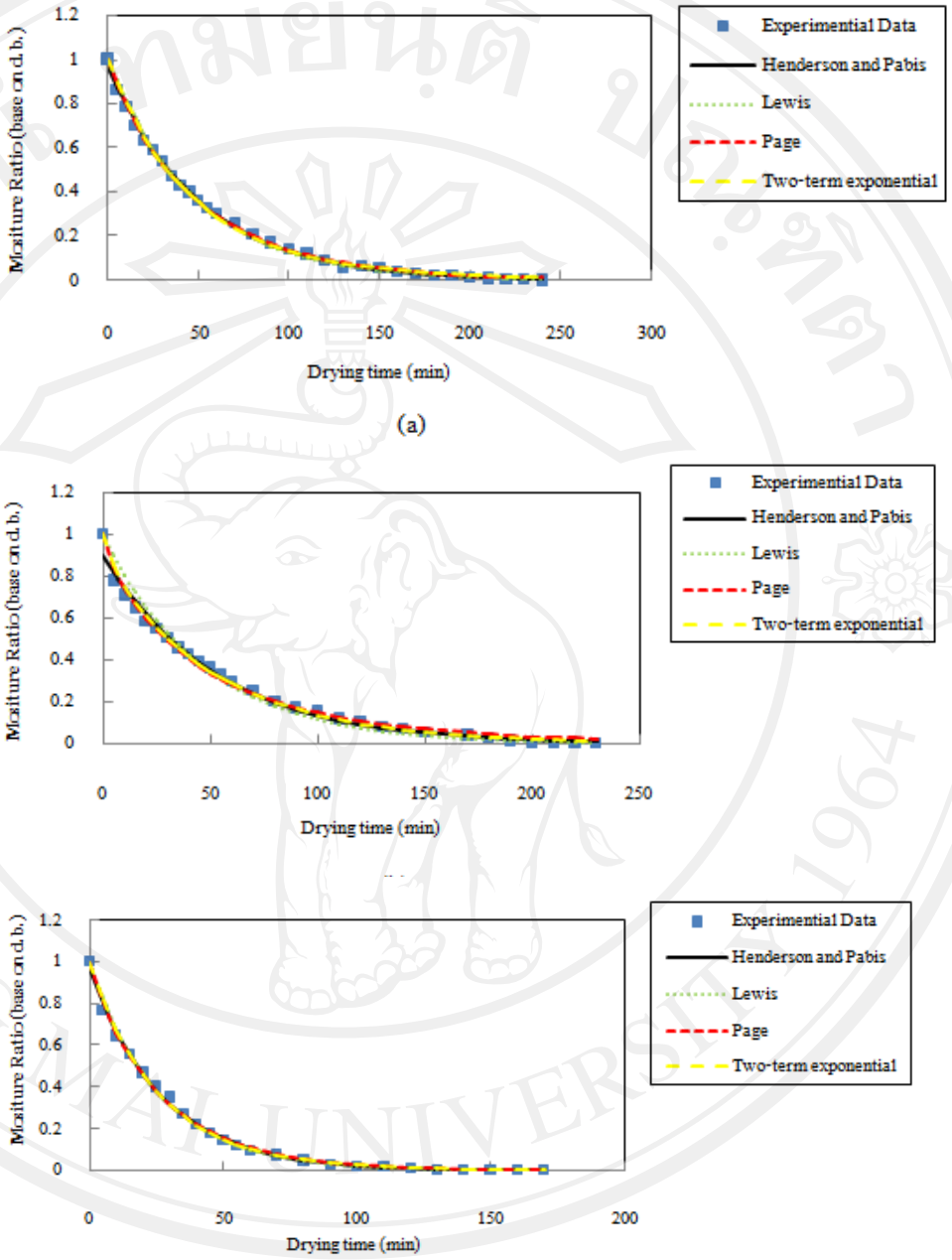
ภาพที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟมที่ได้จากการทดลอง และจากแบบจำลองทั้งสี่ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าค่าอัตราส่วนที่ได้จากการทดลองกับค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการคำนวณทั้งสี่แบบจำลองให้ผลใกล้เคียงกัน โดยสามารถทำนายอัตราส่วนความชื้นได้ดีตลอดช่วงการอบแห้ง ด้วยเหตุนี้จึงเลือกแบบจำลองของ Henderson and Pabis มาทำนายอัตราการลดความชื้นของการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว เนื่องจากแบบจำลองของ Henderson and Pabis นี้มีความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์น้อยกว่าแบบจำลองต่างๆ และเป็นที่น่าพอใจ เมื่อนำมาใช้ทำนายอัตราการลดความชื้นของการอบแห้งเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.16 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

อุณหภูมิ (°C)	แบบจำลอง	สมการ	RMSE	R^2_{adj}	χ^2
50	Henderson and Pabis	MR = 0.9647 exp(-0.0199*t*)	0.01082	0.9985	0.00013
	Lewis	MR = exp(-0.0208*t*)	0.01510	0.9972	0.00024
	Page	MR = exp(-0.0273$t^{0.9308}$)	0.01039	0.9986	0.00012
	Two – term exponential	MR = 0.5592exp(-0.0272*t*) + (1 – 0.5592) exp(-0.0272*0.5592*t*)	0.01345	0.9977	0.00019
60	Henderson and Pabis	MR = 0.9012 exp(-0.0189*t*)	0.02450	0.9914	0.00064
	Lewis	MR = exp(-0.0215*t*)	0.03897	0.9791	0.00157
	Page	MR = exp(-0.0448$t^{0.8148}$)	0.02256	0.9927	0.00055
	Two – term exponential	MR = 0.1353exp(-0.1354*t*) + (1 – 0.1353) exp(-0.1354*0.1353*t*)	0.02076	0.9939	0.00046
70	Henderson and Pabis	MR = 0.9693 exp(-0.0370*t*)	0.01394	0.9973	0.00021
	Lewis	MR = exp(-0.0382*t*)	0.01633	0.9965	0.00028
	Page	MR = exp(-0.0469$t^{0.9407}$)	0.01416	0.9972	0.00022
	Two – term exponential	MR = 0.6609exp(-0.0443*t*) + (1 – 0.6609) exp(-0.0443*0.6609*t*)	0.01605	0.9964	0.00028

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม โดย (a), (b) และ (c) เป็นผลของการทดลอง และผลของแบบจำลองต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

โดยสรุปสมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งที่เหมาะสมของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างกัน พบว่าโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้เมทโธเซลเป็นสาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก่อให้เกิดโฟม แบบจำลองของ Page เหมาะสมในการทำนายอัตราส่วนความชื้นได้เหมาะสมที่สุด และโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม แบบจำลองของ Henderson and Pabis เหมาะสมในการทำนายอัตราส่วนความชื้นได้เหมาะสมที่สุด และผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่า drying constant (k) พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่า k มีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำให้ในการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิสูงมีระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าที่อุณหภูมิต่ำ โดยหากค่า k มีค่ามาก แสดงว่าการอบแห้งใช้เวลาสั้น (สุเนตรและฤทธิชัย, 2554)

4.6 ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง

เมื่อนำโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีโฟม–แมท ตามสภาวะที่ได้จากการศึกษาข้อที่ 4.3 นำมาอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยจะอบแห้งตามระยะเวลาที่ได้จากข้อที่ 4.4 โดยทำการตีปั่นโฟมใหม่อีกครั้ง เมื่อตีปั่นโฟมเสร็จให้นำโฟมที่ได้มาอบแห้งในเครื่องอบแห้งแบบถาด การอบแห้งตามระยะเวลาที่ได้จากข้อ 4.4 นำโฟมที่แห้งแล้วออกมาขูดเพื่อให้หลุดออกจากถาด จากนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกไม่ต้องบดเก็บไว้ในลักษณะแบบแผ่นเพื่อไปส่องดูลักษณะของรูพรุน และส่วนที่สองนำไปบดให้เป็นผงเพื่อนำผงที่ได้มาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมีและทางประสาทสัมผัสทั้งก่อนและหลังการชงละลาย โดยแบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ ได้ดังนี้

4.6.1 ลักษณะของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวหลังจากอบแห้งแล้ว แต่ยังไม่ได้ทำการบดเป็นผง

เมื่อได้โฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ผ่านการอบแห้งในอุณหภูมิต่างๆ ที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกันแล้ว จากนั้นนำไปส่องดูด้วยเครื่องโฟกัส ไอออนบีม (Focused Ion Beam) กำลังขยาย 200X เพื่อดูลักษณะของรูพรุนของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว ได้ผลดังแสดงในภาพ 4.11 – 4.13

(1) ลักษณะของรูพรุนโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่าลักษณะของรูพรุนของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่ส่องดูด้วยเครื่องโฟกัส ไอออนบีม พบว่าโฟมอบแห้งที่อุณหภูมิทั้งสามมีรูพรุนกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอทั้งทางด้านผิวหน้า (Surface) และด้านภาคตัดขวาง (Cross) ซึ่งลักษณะของรูพรุนมีลักษณะคล้ายกับตาข่ายเหมือนกันทั้งหมด และรูพรุนด้านผิวหน้ามีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 45 – 270 μm และด้านภาคตัดขวางมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 45 – 270 μm

(2) ลักษณะของรูพรุนโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

พบว่าลักษณะของรูพรุนของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่ารูพรุนด้านผิวหน้ามีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 9 – 45, 9 – 90 และ 45 – 225 μm ตามลำดับ และด้านภาคตัดขวาง มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 90 – 180, 45 – 270 และ 90 – 270 μm ตามลำดับ และขนาดของรูพรุนด้านผิวหน้าของอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะมีขนาดเล็กที่สุด และใหญ่ขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น และยังพบอีกว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ด้านผิวหน้าของรูพรุนมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่มาก อาจเกิดจากในระหว่างการอบแห้งฟองอากาศเล็กๆมีการรวมกลุ่มกัน จนทำให้ฟองอากาศมีขนาดใหญ่มากขึ้น และขณะที่การอบแห้งนั้นโฟมได้มีการยุบตัวลงไปมาก ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าการเพิ่มอุณหภูมิมีผลทำให้โฟมเกิดการยุบตัวลงในขณะอบแห้ง และจากด้านภาคตัดขวางจะเห็นว่าโครงสร้างภายในไม่ค่อยเป็นระเบียบ และไม่ค่อยมีรูพรุนของฟองอากาศ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าโอเวอร์รันที่ค่อนข้างต่ำและลักษณะภายนอกของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

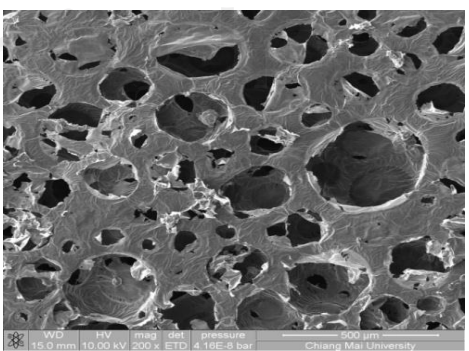
(3) ลักษณะของรูพรุนโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

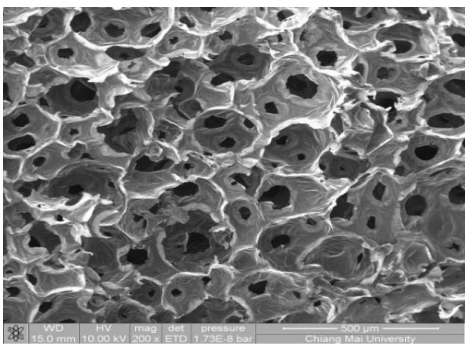
พบว่าลักษณะของรูพรุนของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่ เป็นสารก่อให้เกิดโฟมหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าโฟมที่แห้งแล้วจากการอบทั้ง 3 อุณหภูมิ จะมีรูพรุนกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอทั้งทางด้านผิวหน้าและภาคตัดขวาง แต่ว่าขนาดของรูพรุนด้านผิวหน้าจะมีขนาดที่ค่อนข้างเล็กและก็มีจำนวนไม่มากเมื่อเทียบกับจำนวนของรูพรุนด้านภาคตัดขวาง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับรังผึ้งและมีจำนวนรูพรุนค่อนข้างมาก ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากโปรตีนเกิดการเสียสภาพขณะการอบแห้ง จึงทำให้ความร้อน

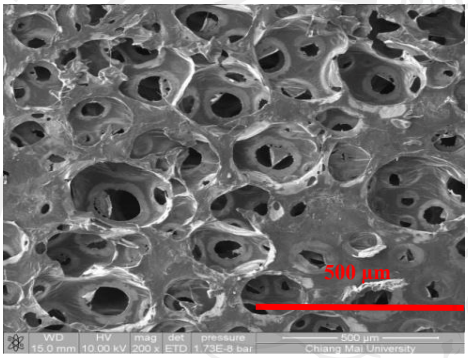
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่งผ่านออกมาทางผิวหน้าได้น้อย รูพรุนด้านผิวหน้ามีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 9 – 45 μm และด้านภาคตัดขวางมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 45 – 180 μm ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าด้านผิวหน้าของโฟมที่อบในอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีจำนวนรูพรุนน้อยที่สุดและมากขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้น ที่แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้บริเวณด้านผิวหน้าของโฟมมีการส่งผ่านความร้อนขึ้นมาบนชั้นผิวหน้ามากขึ้น ทำให้ผิวหน้าของโฟมมีจำนวนรูพรุนมากขึ้น ส่วนด้านภาคตัดขวางจะเห็นว่ามีรูพรุนค่อนข้างหนาแน่นและละเอียด ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าการตีปั่นของโฟมมีส่วนทำให้อากาศเข้าไปอัดตัวภายในมากยิ่งขึ้น

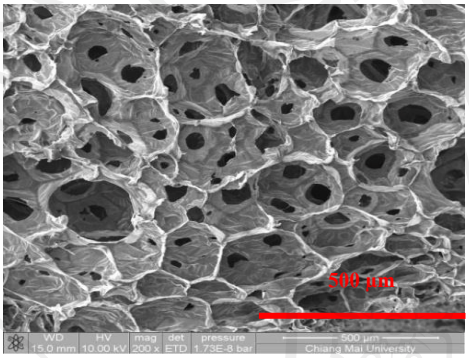
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved







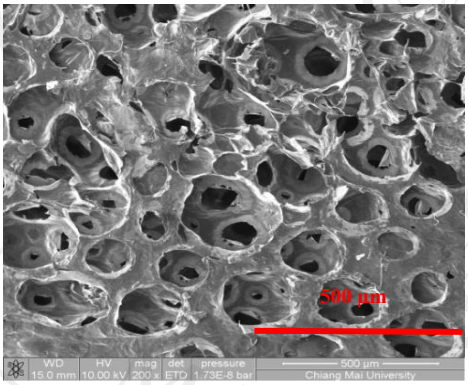
(a) ผิวหน้า methocel 50 °C



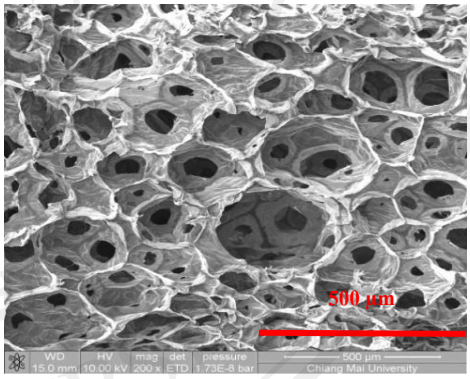
(b) ภาคตัดขวาง methocel 50 °C

(c) ผิวหน้า methocel 60 °C

(d) ภาคตัดขวาง methocel 60 °C



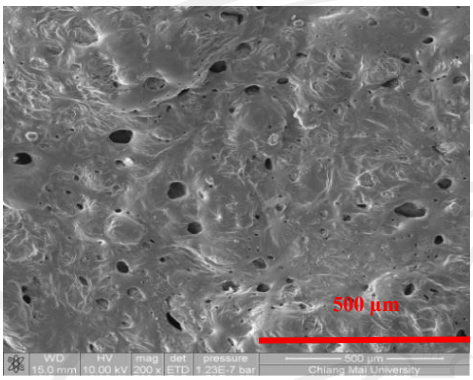
(e) ผิวหน้า methocel 70 °C



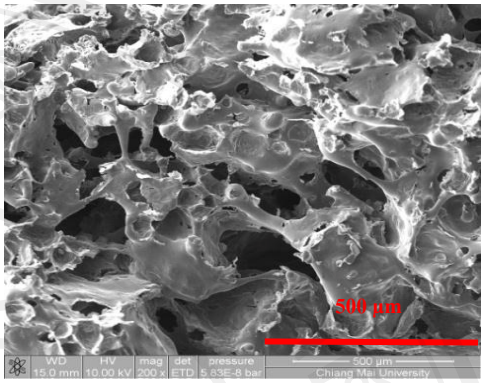
(f) ภาคตัดขวาง methocel 70 °C

ภาพที่ 4.11 ลักษณะของรูพรุนด้านผิวหน้า และด้านภาคตัดขวางของโฟมที่ใช้เมทโธเซล เป็นสารก่อให้เกิดโฟม อบแห้งในอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 200X)

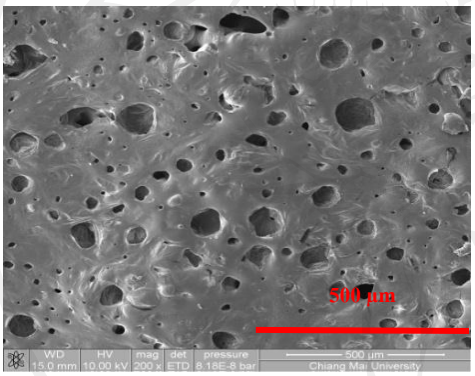
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



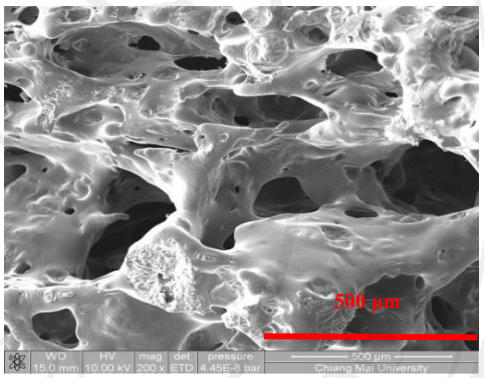
(a) ผิวหน้า GMS 50 °C



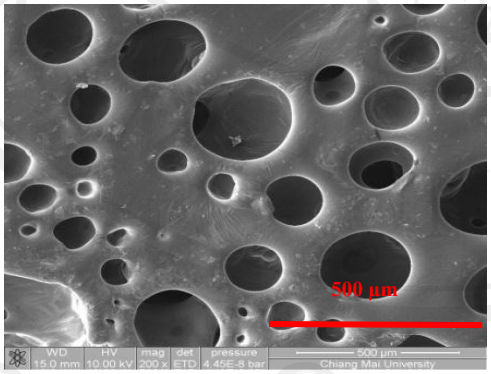
(b) ภาคตัดขวาง GMS 50 °C



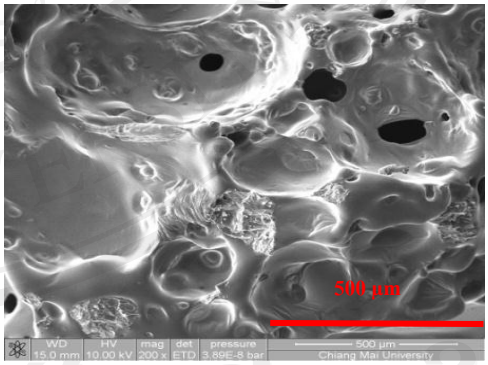
(c) ผิวหน้า GMS 60 °C



(d) ภาคตัดขวาง GMS 60 °C



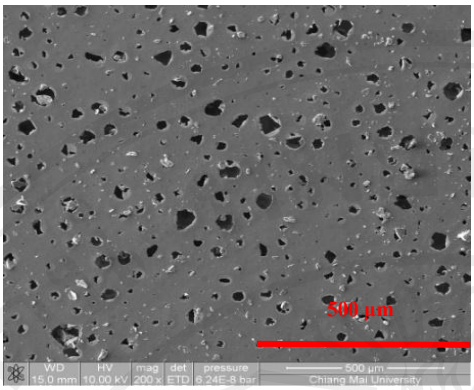
(e) ผิวหน้า GMS 70 °C



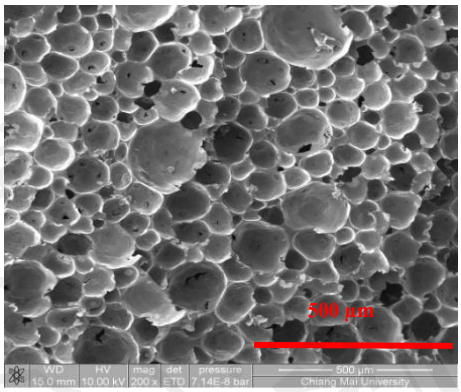
(f) ภาคตัดขวาง GMS 70 °C

ภาพที่ 4.12 ลักษณะของรูพรุนด้านผิวหน้า และด้านภาคตัดขวางของโฟมที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม อบแห้งในอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 200X)

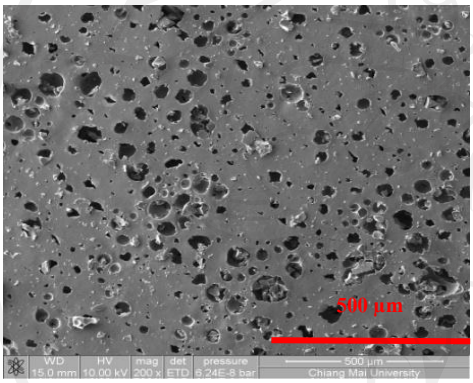
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



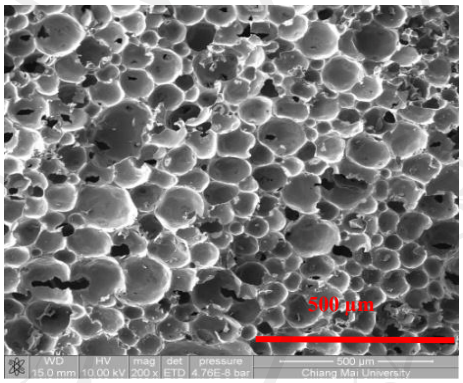
(a) ผิวหน้า egg albumin 50 ˚C



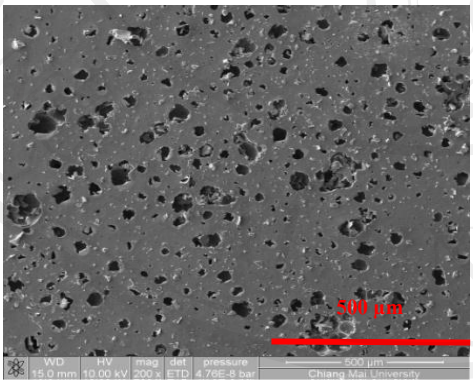
(b) ภาคตัดขวาง egg albumin 50 ˚C



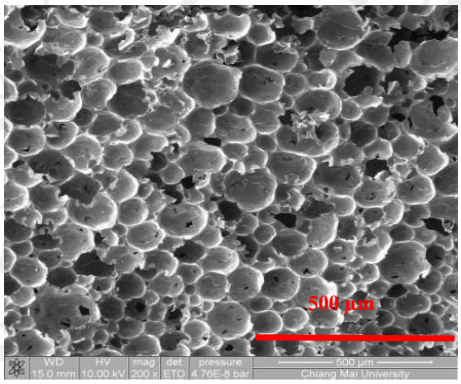
(c) ผิวหน้า egg albumin 60 ˚C



(d) ภาคตัดขวาง egg albumin 60 ˚C



(e) ผิวหน้า egg albumin 70 ˚C



(f) ภาคตัดขวาง egg albumin 70 ˚C

ภาพที่ 4.13 ลักษณะของรูพรุนด้านผิวหน้า และด้านภาคตัดขวางของโฟมที่ใช้ของอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม อบแห้งในอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส (กำลังขยาย 200X)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากลักษณะรูพรุนของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว ที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดเป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการอบแห้ง โดยโฟมที่ใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟมนั้นใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่าโฟมที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของรูพรุน ซึ่งจะเห็นได้ว่ารูพรุนของโฟมที่ใช้เมทโธเซลป็นสารก่อให้เกิดโฟมนั้น มีรูพรุนที่มากกว่าและยังมีลักษณะของรูพรุนเป็นโพรง ซึ่งทำให้การส่งผ่านความร้อนมายังผิวหน้าของโฟมเป็นไปได้ดีกว่าโฟมของสารก่อให้เกิด โฟมอีกสองชนิด และในระหว่างการอบแห้งโฟมที่ใช้ GMS เป็สารก่อให้เกิดโฟมนั้น มีการยุบตัวลงในทุกๆอุณหภูมิของการอบแห้ง ซึ่งอาจเกิดจากที่มีค่าโอเวอร์รันที่ต่ำนั่นเองและโฟมก็มีลักษณะคล้ายครีมมากกว่าคล้ายโฟมอีกด้วย ในส่วนของโฟมที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ถึงแม้ว่าจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าโฟมที่ใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม แต่โฟมที่ใช้อัลบูมินจากไข่มีกลิ่นของไข่หลังการอบแห้ง และโฟมที่อบแห้งนั้นยังคงมีลักษณะนิ่มอยู่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าลักษณะรูพรุนของโฟมด้านผิวหน้าจะมีจำนวนรูพรุนที่ไม่มากจึงทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดได้ไม่ดีนัก

4.6.2 คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง ก่อนการชงละลาย

นำโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่แห้งแล้วมาบดให้เป็นผง จากนั้นนำเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมีได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.17

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.17 คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง ก่อนการชงละลาย

คุณภาพทางกายภาพและเคมี	อุณหภูมิ (°C)	สารก่อให้เกิดโฟม		
		เมทโธเซล (0.60% w/w)	GMS (15%w/w)	อัลบูมินจากไข่ (10.5%w/w)
ค่าสี				
*L**	50	87.11 ± 0.79^{bA}	87.82 ± 0.25^{bA}	88.89 ± 0.29^{aA}
	60	85.63 ± 0.97^{bAB}	87.16 ± 0.85^{bA}	88.73 ± 0.14^{aB}
	70	83.38 ± 2.79^{bB}	87.55 ± 0.17^{aA}	88.55 ± 0.29^{aB}
*a**	50	-0.78 ± 0.03^{bC}	-0.26 ± 0.05^{aB}	-0.91 ± 0.03^{cC}
	60	-0.46 ± 0.04^{bB}	-0.25 ± 0.05^{aB}	-0.25 ± 0.06^{aA}
	70	0.23 ± 0.22^{aA}	-0.09 ± 0.06^{bA}	-0.58 ± 0.11^{cB}
*b**	50	6.26 ± 0.61^{cB}	7.18 ± 0.19^{bC}	9.53 ± 0.09^{aB}
	60	6.06 ± 0.32^{bB}	8.39 ± 0.03^{aB}	8.56 ± 0.20^{aC}
	70	7.68 ± 0.54^{cA}	14.81 ± 0.37^{aA}	10.59 ± 0.25^{bA}
ปริมาณความชื้น	50	16.74 ± 0.51^{aA}	11.85 ± 0.21^{bA}	11.89 ± 0.43^{bA}
(ร้อยละ)	60	15.46 ± 0.24^{aB}	10.25 ± 0.07^{bB}	7.73 ± 0.17^{cC}
	70	15.31 ± 0.22^{aB}	12.39 ± 0.54^{bA}	9.15 ± 0.57^{cB}
a_w	50	0.23 ± 0.22^{bA}	0.27 ± 0.01^{aB}	0.27 ± 0.01^{aB}
	60	0.18 ± 0.01^{cB}	0.31 ± 0.00^{aA}	0.29 ± 0.00^{bA}
	70	0.16 ± 0.03^{cB}	0.26 ± 0.00^{aC}	0.24 ± 0.01^{bC}
ขนาดอนุภาค (μm)	50	58.82 ± 0.73^{bB}	75.57 ± 0.47^{aB}	48.58 ± 0.26^{cA}
	60	58.59 ± 0.38^{bB}	74.74 ± 1.59^{aB}	48.53 ± 0.38^{cA}
	70	60.39 ± 0.38^{bA}	88.06 ± 0.78^{aA}	39.05 ± 0.28^{cB}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(1) คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง เมื่อใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโธ-เซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 4.17 พบว่าค่า L^* (ความสว่าง) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และจะเห็นได้ว่าค่าความสว่างจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับชุติมา และคณะ (2553) ที่ได้ศึกษาผลิตภัณฑ์ผงสำเร็จรูปจากตะไคร้ด้วยการทำแห้งแบบโฟม – แมท โดยใช้สารที่ก่อให้เกิดโฟม 3 ชนิด คือ เมทโธเซล เมทโธเซลร่วมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (1:1) และเมทโธเซลร่วมกับโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (1:1) ปริมาณร้อยละ 50 (โดยน้ำหนัก) ผสมลงในส่วนสกัดจากใบตะไคร้ ความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโฟม 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 (โดยน้ำหนัก) ตีให้เป็นโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ 60 และ 70 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่า L^* จะลดลง

ค่า a^* ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ -0.78 และ -0.46 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.23 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิต่ำ ค่า a^* มีค่าติดลบซึ่งแสดงถึงความเป็นสีเขียว ในขณะที่อุณหภูมิสูง ค่า a^* มีค่าเป็นบวก ซึ่งแสดงลักษณะความเป็นสีแดง ที่เป็นเช่นนี้ อาจจะเกิดจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้น เพราะว่าสีของอาหารหลังการอบแห้งจะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการอบแห้งทำให้ลักษณะผิวหน้าของอาหารเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดการสะท้อนแสง สีเปลี่ยนเพราะความร้อนที่สูงขึ้นและยิ่งเป็นอาหารที่มีน้ำตาลสูง ทำให้มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นได้ง่าย (รุ่งนภา, 2535) ค่า b^* ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งค่า b^* ถ้าเป็นบวกจะให้ความเป็นสีเหลือง ซึ่งทั้ง 3 อุณหภูมิให้ค่าบวก แสดงว่าเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง มีค่าความเป็นสีเหลืองทั้ง 3 อุณหภูมิ ซึ่งตรงกับสีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวเริ่มต้นก่อนการอบแห้ง

ปริมาณความชื้น พบว่าที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับร้อยละ 16.74, 15.46 และ 15.31 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น และค่า a_w พบว่าที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.23, 0.18 และ 0.16 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (2547) ที่ระบุว่า เครื่องดื่มน้ำมะนาวผงสำเร็จรูปต้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีค่า a_w ไม่เกิน 0.6 การที่ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6 - 0.7 หรือต่ำกว่า ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ ซึ่งค่า a_w เป็นตัวชี้บ่ง หรือทำนายการเสื่อมสลายและการเน่าเสียของอาหาร และเป็นตัวกำหนดการสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาของอาหารอบแห้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งสามารถเก็บรักษาได้นาน และมีความคงตัวดี (นิธิยา, 2544) และขนาดอนุภาคที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับขนาดอนุภาคที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส

(2) คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง เมื่อใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 4.17 พบว่าค่า L^* (ความสว่าง) ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศา-เซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P > 0.05$) ค่า a^* ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ -0.26, -0.25 และ -0.09 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่า a^* มีค่าติดลบ ซึ่งแสดงถึงความเป็นสีเขียวและค่า b^* ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) แต่ทั้งสามอุณหภูมิก็ให้ค่าที่เป็นบวก แสดงว่าเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงมีค่าความเป็นสีเหลืองทั้ง 3 อุณหภูมิ

ปริมาณความชื้น พบว่าที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับร้อยละ 11.85, 10.25 และ 12.39 ตามลำดับ ค่า a_w พบว่า ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.27, 0.31 และ 0.26 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (2547) ที่ระบุว่า น้ำมะนาวผงสำเร็จรูปต้องมีค่า a_w ไม่เกิน 0.6 การที่ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6 - 0.7 หรือต่ำกว่า ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ ซึ่งค่า a_w เป็นตัวชี้บ่ง หรือทำนายการเสื่อมสลาย และการเน่าเสียของอาหาร ทั้งเป็นตัวกำหนดการสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาของอาหารอบแห้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งสามารถเก็บรักษาได้นาน และมีความคงตัวดี (นิธิยา, 2544) ขนาดอนุภาคที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับขนาดอนุภาคที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(3) คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง เมื่อใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้อัลบู- มินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 4.17 พบว่าค่า L^* (ความสว่าง) ที่อุณหภูมิ 50 องศา-เซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับอุณหภูมิ 60 และ 70 องศา-เซลเซียส ค่า a^* ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) และจะเห็นได้ว่า ค่า a^* มีค่าติดลบซึ่งแสดงถึงความเป็นสีเขียว และค่า b^* ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) ซึ่งทั้ง 3 อุณหภูมิให้ค่าบวก แสดงว่าเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง มีค่าความเป็นสีเหลืองทั้ง 3 อุณหภูมิ

ปริมาณความชื้น พบว่าที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับร้อยละ 10.59, 11.89 และ 9.15 ตามลำดับ ค่า a_w พบว่าที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.27, 0.29 และ 0.24 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (2547) ที่ระบุว่า น้ำมะนาวผงสำเร็จรูปต้องมีค่า a_w ไม่เกิน 0.6 การที่ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6 - 0.7 หรือต่ำกว่า ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ ซึ่งค่า a_w เป็นตัวชี้บ่ง หรือทำนายการเสื่อมสลาย และการเน่าเสียของอาหาร และเป็นตัวกำหนดการสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาของอาหารอบแห้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งสามารถเก็บรักษาได้นาน และมีความคงตัวดี (นิธิยา, 2544) ขนาดอนุภาคที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) กับขนาดอนุภาคที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส

ในการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโธ-เซล GMS และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 4.17 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่อบแห้งในอุณหภูมิเดียวกัน แต่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกัน จะเห็นได้ว่าค่า L^*, a^*, b^* ปริมาณความชื้น ค่า a_w และขนาดอนุภาคแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P \leq 0.05$) ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากการที่ใช้สารก่อเกิดโฟมต่างชนิดกัน มีผลต่อคุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีที่ได้แตกต่างกัน เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารก่อให้เกิดโฟมมีลักษณะที่แตกต่างกัน และปริมาณที่ใช้ในการทำให้เกิดโฟมก็ใช้ในปริมาณที่แตกต่างกันอีกด้วย จึง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นเหตุให้คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีที่ได้มีความแตกต่างกัน ถึงแม้ว่าจะทำการอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกันก็ตาม

4.6.3 คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง หลังการชงละลาย

นำเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงมาทำการชงละลาย โดยนำเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงละลายในอัตราส่วน ผง:น้ำ คือ 1:3 ในน้ำอุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส ทำการคนจนเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง ละลายจนหมด จากนั้นนำเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ละลายเรียบร้อยแล้วไปวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมี ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.18

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.18 คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง หลังการชงละลาย

คุณภาพทางกายภาพและเคมี	อุณหภูมิ (°C)	สารก่อให้เกิดโฟม		
		เมทโธเซล (0.60% w/w)	GMS (15%w/w)	อัลบูมินจากไข่ (10.5%w/w)
ค่าสี				
*L**	50	26.47±0.19^{cA}	61.84±0.49^{aA}	53.16±1.78^{bB}
	60	26.32±0.29^{cA}	60.96± 0.50^{aA}	55.82± 0.82^{bAB}
	70	25.85±0.63^{bA}	55.85±0.69^{aB}	57.61±1.34^{aA}
*a**	50	-0.45±0.19^{aA}	-1.54±0.03^{bA}	-2.79±0.27^{cA}
	60	-0.31±0.03^{aA}	-1.64±0.07^{bA}	-2.81±0.06^{cA}
	70	-0.33±0.06^{aA}	-1.59±0.11^{bA}	-2.51±0.04^{cA}
*b**	50	1.94±0.13^{bB}	0.74±0.12^{bB}	4.94±2.15^{aA}
	60	2.15±0.17^{aAB}	2.08±0.45^{aA}	0.32±0.67^{bB}
	70	2.84±0.59^{bA}	1.17±0.44^{cB}	6.16±0.63^{aA}
ความสามารถในการคืนรูป (ร้อยละ)	50	94.84±1.49^{aA}	77.77±1.44^{cAB}	82.63±0.34^{bB}
	60	94.39±0.57^{aA}	76.00±0.00^{cB}	87.00±2.65^{bA}
	70	95.79±0.55^{aA}	79.24±0.67^{bA}	81.25±2.64^{bB}
ความหนืด (เซนติพอยด์)	50	18.34±1.26^{aA}	12.50±1.00^{bA}	18.00±0.50^{aA}
	60	17.67±0.77^{aA}	10.17±1.53^{bB}	16.67±0.29^{aB}
	70	18.34±0.77^{aA}	12.67±0.29^{bA}	13.17±0.29^{bC}
ความหนาแน่น	50	1.11±0.01^{aA}	1.08±0.01^{bA}	1.11±0.00^{aA}
(กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	60	1.11±0.00^{aA}	1.07±0.00^{cB}	1.09±0.00^{bB}
	70	1.11±0.01^{aA}	1.08±0.01^{bA}	1.09±0.01^{aB}
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	50	27.00±0.20^{aA}	20.20±0.80^{cB}	24.80±0.20^{bB}
	60	26.80±0.20^{aAB}	22.57±0.38^{cA}	25.97±0.06^{bA}
	70	26.54±0.23^{aB}	22.00±1.00^{cA}	25.00±0.20^{bB}
ความเป็นกรดด่าง (pH)	50	2.72±0.05^{aB}	2.68±0.03^{bA}	3.30±0.01^{aB}
	60	2.76±0.05^{bA}	2.22±0.02^{cB}	3.13±0.02^{aC}
	70	2.75±0.03^{bA}	2.68±0.02^{cA}	3.52±0.03^{aA}
ปริมาณกรดทั้งหมดซึ่งคำนวณในรูปกรดซิตริก	50	1.86±0.05^{aB}	1.26±0.06^{bC}	1.79±0.09^{aA}
(ร้อยละ)	60	2.16±0.30^{aAB}	1.39±0.04^{bB}	1.38±0.05^{bB}
	70	2.47±0.11^{aA}	1.51±0.03^{bA}	1.30±0.05^{cB}
ปริมาณวิตามินซี	50	1.12±0.24^{cA}	1.45±0.07^{bA}	3.72±0.11^{aA}
(มิลลิกรัมต่อ100 มิลลิลิตร)	60	1.12±0.24^{aA}	1.60±0.53^{aA}	1.25±0.31^{aB}
	70	1.40±0.24^{bA}	2.17±0.41^{aA}	1.32±0.22^{cB}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวนอน แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(1) คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงหลังการชงละลายที่ใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโธ-เซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 4.18 พบว่าค่าสี L^*, a^* ความสามารถในการคืนรูป ความหนืด ความหนาแน่น และปริมาณวิตามินซีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P>0.05$) กับอุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ค่า b^* ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) กับอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และความเป็นกรดด่างที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) กับอุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส

(2) คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง หลังการชงละลายที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง ที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 4.18 พบว่าค่า a^* และปริมาณวิตามินซีของทั้งสามอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P>0.05$) และค่า L^* ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) กับอุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ค่า b^* ความหนืด ความหนาแน่น และความเป็นกรดด่างที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) กับอุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส และความสามารถในการคืนรูปที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) กับอุณหภูมิ 70 องศา-เซลเซียส แต่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) กับอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(3) คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง หลังการชงละลายที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 4.18 พบว่าค่า a^* ของทั้งสามอุณหภูมิไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P>0.05$) แต่ความหนืด และความเป็นกรดด่างของทั้งสามอุณหภูมิแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) และปริมาณกรดทั้งหมด ค่า L^* ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) กับที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ค่า b^* ความสามารถในการคืนรูป และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) กับอุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส ความหนาแน่น ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณวิตามินซีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) กับอุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงหลังการชงละลายของโฟมที่ใช้เมทโธเซล GMS และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ได้ผลดังตารางที่ 4.18 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่อบแห้งในอุณหภูมิเดียวกัน แต่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกัน จะเห็นได้ว่าค่าสี (L^*, a^*, b^*) ค่าความสามารถในการคืนรูป ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดของสามอุณหภูมิ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) โดยค่าความสามารถในการคืนรูปของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม มีความสามารถในการคืนรูปสูงที่สุด โดยเฉลี่ยร้อยละ 95.01 ในขณะที่เครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม มีความสามารถในการคืนรูปร้อยละ 77.67 และ 83.63 ตามลำดับ แต่ถึงอย่างไรก็ตามการที่เครื่องดื่มน้ำมะนาวผงมีความสามารถในการคืนรูปที่สูง แต่ก็ยังพบว่ามีปัญหาในการคืนรูปอยู่ เนื่องจากว่าเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโธเซล และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟมเกิดการลอยตัวและการรวมตัวเป็นก้อนขณะทำการคนละลาย จึงทำให้การละลายใช้เวลาค่อนข้างนาน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Bockain *et al.* (1957) ที่รายงานว่า การทำแห้งแบบ โฟม - แมทจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก และมีความหนาแน่นต่ำ จึงเกิดการลอยตัวอยู่ที่ผิวหน้าของของเหลว และจากการที่มีอนุภาคที่เล็กทำให้ไม่มีช่องว่างระหว่างอนุภาค ส่งผลให้น้ำไม่สามารถแทรกซึมผ่านระหว่างอนุภาคหรือแทรกซึมผ่านได้น้อย ทำให้อนุภาคไม่เปียกอย่างสม่ำเสมอ เกิดการรวมเป็นก้อนโดยที่ผิวนอกเปียกแต่ภายในตรงกลางไม่เปียก จึงทำให้ความสามรถในการคืนรูปเสียไปและใช้เวลานานในการละลาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แต่สำหรับเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ไม่พบปัญหาการรวมกันเป็นก้อนขณะละลาย เนื่องจากเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ได้จากการอบแห้งมีน้ำหนักค่อนข้างมาก จึงจมน้ำได้ง่ายและไม่พบปัญหารวมตัวเป็นก้อน แต่กลับพบปัญหาในการกระจายตัว คือเมื่อทำการละลายน้ำจะมีลักษณะเป็นเม็ดๆ ทำให้เกิดลักษณะที่ไม่พึงประสงค์

ค่าปริมาณกรดทั้งหมดของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมทั้งสามชนิด มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 1.26 – 2.47 ค่าความหนืด พบว่าเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) กับเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง ที่ใช้เมทโธเซล และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟมที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่าความหนาแน่น พบว่าเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) กับที่อุณหภูมิ 60 และ องศา-เซลเซียส กับเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโธเซล และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่าความหนาแน่นของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมทั้งสามชนิด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$)

ค่าความเป็นกรดด่าง พบว่าเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมทั้งสามชนิดที่อบแห้งในอุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) แต่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) กับเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโธเซล และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม ปริมาณวิตามินซี พบว่าเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมทั้งสามชนิด และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P\leq0.05$) แต่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง ที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมทั้งสามชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P>0.05$)

โดยสรุป ในการวิเคราะห์คุณลักษณะทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกันและอบแห้งในอุณหภูมิต่างกัน จะเห็นได้ว่าชนิดของสารก่อให้เกิดโฟม และอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อคุณลักษณะทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง แต่เครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS และอัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟมนั้นไม่เหมาะสมที่จะนำไปรับประทานได้ เนื่องจากมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ในขณะที่เครื่องดื่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำมะนาวผงที่ใช้เมทเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม ไม่ส่งผลต่อรสชาติและกลิ่นของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง ดังนั้นจึงเลือกเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม นำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อไป

4.6.4 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

เมื่อทำการวิเคราะห์คุณลักษณะทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง ดังที่กล่าวมาข้างต้น จากนั้นนำเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงมาทำการชงละลาย และนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีให้คะแนนความชอบแบบ 9-point Hedonic Scale คุณลักษณะด้านสี กลิ่นมะนาว กลิ่นน้ำผึ้ง รสเปรี้ยว รสหวาน และความชอบโดยรวม ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง

สิ่งทดลอง (อุณหภูมิ)	สี	กลิ่นมะนาว	กลิ่นน้ำผึ้ง	รสเปรี้ยว	รสหวาน	ความชอบโดยรวม
50 องศาเซลเซียส	6.46±1.39[a]	5.70±1.46[a]	4.64±1.40[a]	6.06±1.81[a]	5.00±1.21[a]	5.82±1.27[a]
60 องศาเซลเซียส	6.46±1.45[a]	5.74±1.52[a]	4.64±1.44[a]	6.20±1.49[a]	5.50±1.49[a]	6.28±1.31[a]
70 องศาเซลเซียส	6.56±1.50[a]	5.94±1.45[a]	4.76±1.64[a]	6.22±1.58[a]	5.50±1.58[a]	6.22±1.57[a]

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าข้อมูลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิม พบว่าคะแนนของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ชงละลายในคุณภาพด้านสี กลิ่นมะนาว กลิ่นน้ำผึ้ง รสเปรี้ยว รสหวาน และความชอบโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติที่ ($P>0.05$) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการอบแห้งไม่มีผลต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง

กล่าวโดยสรุป พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง ทั้งก่อนและหลังชงละลาย แต่ไม่มีผลต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส และเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้สารก่อให้เกิดโฟมต่างชนิดกัน เมื่อผ่านการอบแห้งแล้วพบว่าเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้ GMS และอัลบูมินจากไข่ไม่เหมาะสมที่จะนำไปรับประทาน เนื่องจากมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ แต่สำหรับเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม ไม่พบปัญหาดังกล่าว จึงมีการนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยทดสอบทุกอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำมะนาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผงที่ใช้เมทโธเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งทั้งสามอุณหภูมินั้นได้ค่าคุณภาพที่ใกล้เคียงกับเครื่องดื่มน้ำมะนาวก่อนการนำมาอบแห้ง แต่ทั้งนี้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว คือ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพราะว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้นอกจากจะมีคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมีและประสาทสัมผัสที่ใกล้เคียงกับเครื่องดื่มน้ำมะนาวแล้ว ยังใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่ไม่นานจนเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และถึงแม้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แต่ทำให้เครื่องดื่มน้ำมะนาวผงที่ได้มีสีที่เปลี่ยนแปลงไป และเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน ด้วยเหตุนี้ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด ที่จะนำไปผลิตเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงด้วยวิธีโฟม-แมท

ข้อดี และข้อด้อยของการอบแห้งแบบโฟม-แมท จะเห็นได้ว่า การอบแห้งแบบโฟม-แมท เป็นวิธีการที่ง่าย และไม่ได้ใช้เทคโนโลยีที่ยุ่งยาก และยังได้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำมะนาวที่มีวิตามินซีสูงกว่าการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ได้มีค่าวิตามินซี 1.12 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร เมื่อเทียบกับน้ำมะนาวที่อบแห้งแบบพ่นฝอย มีวิตามินซี 0.03 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (Roustapour *et al.* 2006) ซึ่งอุณหภูมิของการอบแห้งแบบโฟม-แมทนั้นใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าการอบแห้งแบบพ่นฝอย แต่ข้อด้อยของการอบแห้งแบบโฟม-แมท คือ การนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เนื่องจากการที่จะตีโฟมในปริมาณมากๆ เป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก และการเกลี่ยโฟมลงบนถาดเพื่อนำไปอบแห้ง ต้องใช้ความรวดเร็ว ซึ่งอาจจะต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ จึงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างจะยากสำหรับการนำไปใช้จริงในโรงงาน แต่สำหรับการผลิตในครัวเรือนหรือวิสาหกิจชุมชน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ง่ายกว่าและมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved