บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

1. มะนาวพันธุ์พิจิตร1 (ปลูกที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงทุ่งหลวง บ้านห้วยตอง ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่)

2. น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (ตรามิตรผล บริษัทรวมเกษตรกรอุตสาหกรรม จำกัด จังหวัดชัยภูมิ)

3. เกลือ (ตราปรุงทิพย์ บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด จังหวัดนครราชสีมา)

4. น้ำผึ้ง (ตราสวนจิตรลดา โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ถนนราชวิถี แขวงจิตรลดา เขตดุสิต กรุงเทพฯ)

3.1.2 สารเคมี

1. เมทโธเซล (Methocel – type A4C ; methycellulose, food grade, บริษัท วิคกี้ เอนเตอร์ไพรซ์ จำกัด กรุงเทพฯ)

2. อัลบูมินจากไข่ (Egg Albumin, Sigma, USA: BNL Food Company, Belgium)

3. กลีเซอริลโมโนสเตียเรต (Glyceryl monostearate, food grade, บริษัท ยูเนี่ยน ซายน์ จำกัด จังหวัดเชียงใหม่)

4. มอลโตเด็กซ์ตริน (Maltodextrin, บริษัท ยูเนี่ยน ซายน์ จำกัด จังหวัดเชียงใหม่)

5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, V.S.CHEM HOUSE, Thailand)

6. 2,6-ไดคลอโรฟีนอลอินโดฟีนอล (2,6-Dichlorophenol Indophenol, Loba Chemie, India)

7. กรดเมตาฟอสฟอริก (Meta-Phosphoric, Panreac Quimica SAU, E.U.)

8. กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid, Ajax Finechem Pty Ltd, New Zealand)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตและวิเคราะห์คุณภาพ

1. เครื่องผสมอาหาร (Otto, Mixer w/stand & Bowl รุ่น HM – 900 กำลัง 250 วัตต์, Thailand)

2. เครื่องคั้นน้ำผลไม้ (Mouline รุ่น BKB241 กำลัง 25 วัตต์, Thailand)

3. เครื่องวัดค่าสี (Minolta Chroma รุ่น CR – 300, Japan)

4. เครื่องวัดความหนืด (Brookfield digital viscometer รุ่น LVDV-II+, Germany)

5. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance, Santorius รุ่น CP224S, Germany)

6. เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Hand refractometer, ATAGO รุ่น N1, Brix 0-32, Japan)

7. เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (pH meter, Hanna Instruments รุ่น HI 9021, USA)

8. เครื่องวัด Water activity (Aqualab รุ่น CX 3 TE Model series 3 S36092, USA)

9. เครื่องวัดขนาดอนุภาค (Particle size Analyzer Laser, Malverm Lnstruments Limited รุ่น Mastersizer S, Singapore)

10. เครื่องโฟกัส ไอออนบีม (Focused Ion Beam : FIB รุ่น Quanta 200 3D, Singapore)

11. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Memmert รุ่น UNE 400, Germany)

12. เครื่องอบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer รุ่น Armfield, Egland)

13. เครื่องปั่นอาหาร (Electrolux รุ่น No. EBR 100, Type TSK-936BS-V, 420-480 W, P.R.C.)

14. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

15. อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น บีกเกอร์ กระบอกตวง กรวยกรอง ขวดปรับปริมาตร แท่งแก้ว เป็นต้น

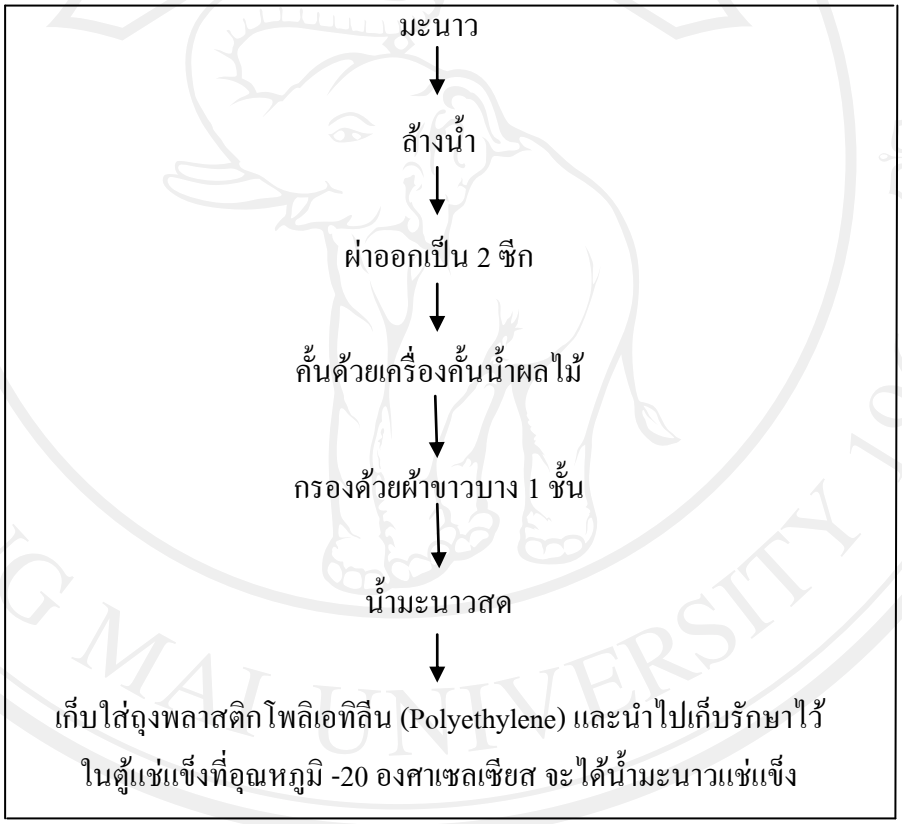
16. อุปกรณ์เครื่องครัว เช่น ผ้าขาวบาง หม้อ ทัพพี มีด เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมน้ำมะนาว

ในการศึกษานี้ มีขั้นตอนการเตรียมน้ำมะนาวดังแสดงในภาพที่ 3.1 โดยวิธีการคั้นสดด้วยเครื่องคั้นน้ำผลไม้ แล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการเตรียมโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำมะนาวคั้นสดและน้ำมะนาวแช่แข็ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.2 วิธีวิจัย

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

การทดลองที่ 1 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของน้ำมะนาวสด

ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำมะนาวสด โดยเมื่อคั้นมะนาวแล้วทำการกรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำมาทำการวิเคราะห์ทันที โดยค่าที่วิเคราะห์ มีดังนี้

- ค่าสีด้วยระบบ CIE (L^* , a^* และ b^*) ด้วยเครื่องวัดค่าสี
- ความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด
- ความหนาแน่นโดยใช้ขวดหาความถ่วงจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH meter
- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้ Hand refractometer
- ปริมาณวิตามินซีด้วยวิธีการไตเตรทตัวอย่างกับสารละลายมาตรฐานอินโดฟีนอลตามวิธีของ AOAC (2000)
- ปริมาณกรดซิตริกตามวิธีของ AOAC (2000)

หมายเหตุ : ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ซึ่งวิธีวิเคราะห์ต่างๆแสดงในภาคผนวก

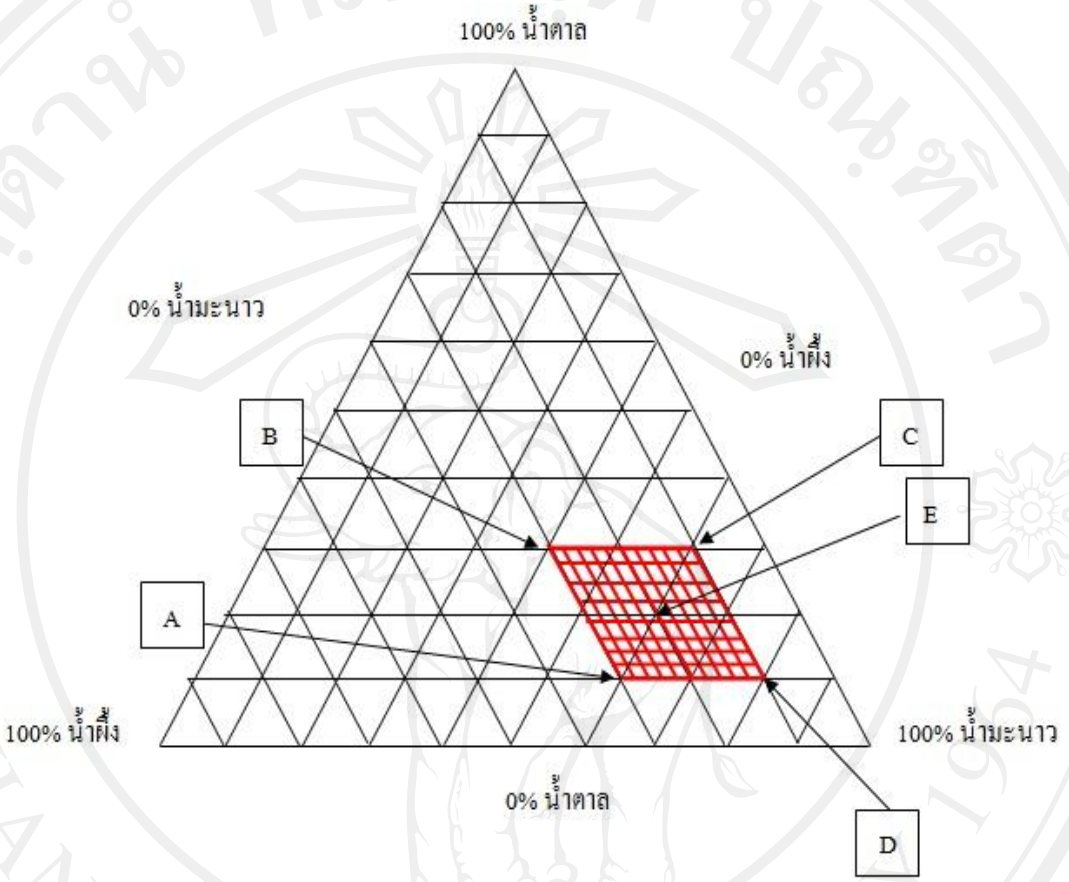
การทดลองที่ 2 การศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมเครื่องดื่มน้ำมะนาวโดยการออกแบบการทดลองแบบ mixture design

นำน้ำมะนาวแช่แข็งมาทำการคืนรูป ด้วยการแช่ถุงในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้องจนกว่าน้ำมะนาวในถุงจะละลาย จากนั้นนำน้ำมะนาวมาผสมกับน้ำตาลทราย น้ำผึ้ง และเกลือ โดยใช้แผนการทดลองแบบ mixture design และพิจารณาช่วงระดับปัจจัยดังนี้

ก) น้ำมะนาวร้อยละ 40 – 80 โดยน้ำหนัก
ข) น้ำตาลทรายร้อยละ 10 – 30 โดยน้ำหนัก
ค) น้ำผึ้งร้อยละ 10 – 30 โดยน้ำหนัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สิ่งทดลองตามแผนการทดลองแบบ mixture design มี 5 สิ่งทดลอง คือ สูตร A, B, C, D และ E ดังภาพที่ 3.2 และตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.2 แผนภูมิแสดงปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ของส่วนผสมในสูตรเครื่องดื่มน้ำมะนาวตามแผนการทดลองแบบ mixture design

ตารางที่ 3.1 ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ของส่วนผสมในสูตรเครื่องดื่มน้ำมะนาวตามแผนการทดลองแบบ mixture design

สูตร	น้ำมะนาว	น้ำตาลทราย	น้ำผึ้ง
A	60	10	30
B	40	30	30
C	60	30	10
D	80	10	10
E	60	20	20

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อทราบสัดส่วนของส่วนผสมของเครื่องดื่มน้ำมะนาวทุกสูตร จากนั้นทำการผลิตเครื่องดื่มน้ำมะนาวตามสูตรต่างๆ โดยนำน้ำมะนาว น้ำตาลทราย และน้ำผึ้งมาเทรวมกัน พร้อมกับเติมเกลือแกงลงไปร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก คนจนส่วนผสมต่างๆละลายจนหมด จากนั้นนำเครื่องดื่มน้ำมะนาวทุกสูตรที่ได้ไปทดสอบทางประสาทสัมผัส เพื่อประเมินหาปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมอย่างน้อย 50 คน ทดสอบคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส และความชอบโดยรวมที่มีต่อเครื่องดื่มน้ำมะนาว และใช้วิธีทดสอบแบบ 9-point hedonic scale ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนตามความชอบ 1–9 คะแนน โดยเรียงคะแนนจากชอบน้อยที่สุดไปหาชอบมากที่สุด (ไพโรจน์, 2545) วิเคราะห์ผลการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ โดยตัวอย่างใบทดสอบทางประสาทสัมผัส แสดงในภาคผนวก

นำผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสมาหาข้อสรุปถึงปริมาณน้ำมะนาว ปริมาณน้ำตาลทราย และปริมาณน้ำผึ้งที่เหมาะสมในการเตรียมเครื่องดื่มน้ำมะนาว จากนั้นเตรียมเครื่องดื่มน้ำมะนาวด้วยสูตรที่ได้รับคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสมากที่สุด แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมี โดยค่าที่วิเคราะห์มีดังนี้

- ค่าสีด้วยระบบ CIE (L^* , a^* และ b^*) ด้วยเครื่องวัดค่าสี
- ความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด
- ความหนาแน่นโดยใช้ขวดหาความถ่วงจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH meter
- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้ Hand refractometer
- ปริมาณวิตามินซีด้วยวิธีการไตเตรทตัวอย่างกับสารละลายมาตรฐานอินโดฟีนอลตามวิธีของ AOAC (2000)
- ปริมาณกรดซิตริกตามวิธีของ AOAC (2000)

<u>หมายเหตุ</u> : วิธีวิเคราะห์ต่างๆ แสดงในภาคผนวก

วิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพทางกายภาพและเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาว ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 3 ผลของความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟม และเวลาในการตีโฟมที่มีต่อค่าโอเวอร์รัน ความคงตัว และความหนาแน่นของโฟม

นำเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ผลิตด้วยสูตรที่ผู้ทดสอบชิมยอมรับมากที่สุด จากผลการทดลองที่ 2 มาผสมกับมอลโตเดกซ์ตริน จากนั้นเติมสารก่อให้เกิดโฟม โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้สารก่อให้เกิดโฟม 3 ชนิด คือ

ก) เมทโธเซล
ข) กลีเซอริล โมโนสเตียเรต (GMS)
ค) อัลบูมินจากไข่

วิธีการเตรียมสารก่อให้เกิดโฟม มีขั้นตอน ดังนี้

- เตรียมเจลของเมทโธเซล โดยละลายผงเมทโธเซลด้วยน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (ตามความเข้มข้นที่ศึกษา) เมื่อละลายผงเมทโธเซลจะได้สารมีสีขาวขุ่น จากนั้นนำไปเก็บในตู้เย็นข้ามคืน จะได้เจลที่มีลักษณะค่อนข้างใส ไม่มีสี และหนืด จากนั้นนำเจลที่ได้ไปผสมลงในเครื่องดื่มน้ำมะนาว ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส

- นำ GMS ไปผสมลงในเครื่องดื่มน้ำมะนาว ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นคน GMS ให้ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับเครื่องดื่มน้ำมะนาว

- นำอัลบูมินจากไข่ ไปผสมลงในเครื่องดื่มน้ำมะนาว ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซล-เซียส จากนั้นไปผสมลงในเครื่องดื่มน้ำมะนาว

จากนั้นทำการตีโฟม โดยทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อหาปริมาณของสารก่อให้เกิดโฟมที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดโฟมได้ โดยการตีโฟมด้วยเครื่องผสมอาหาร ความเร็วสูงสุด (2,500 rpm) ใช้หัวตีรูปตะกร้อ ตีโฟมเป็นเวลา 10 นาที สังเกตร้อยละของความเข้มข้นสารก่อให้เกิดโฟมน้อยที่สุดที่ทำให้เกิดโฟมในเวลาการตีโฟม 10 นาที โดยกำหนดให้

- ความเข้มข้นต่ำสุดของเมทโธเซลในการทำให้เกิดโฟมคือ ร้อยละ A
- ความเข้มข้นต่ำสุดของ GMS ในการทำให้เกิดโฟมคือ ร้อยละ B
- ความเข้มข้นต่ำสุดของอัลบูมินจากไข่ในการทำให้เกิดโฟมคือ ร้อยละ C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทำการทดลองต่อเพื่อศึกษาผลของปริมาณสารก่อให้เกิดโฟมแต่ละชนิด และเวลาในการตีโฟมที่มีต่อค่าโอเวอร์รัน ความคงตัว และความหนาแน่นของโฟม โดยเติมสารก่อให้เกิดโฟมด้วยระดับ A% หรือ B% หรือ C% แล้วเพิ่มปริมาณขึ้น 4 ระดับ และทำการผันแปรเวลาตีโฟม 5 ระดับ คือ 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที ดังแสดงในตารางที่ 3.2 – 3.4 นำโฟมที่ตีได้ในแต่ละสิ่งทดลองมาทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพโฟม ดังนี้

- ค่าโอเวอร์รันของโฟม ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักของส่วนผสม ลบด้วยน้ำหนักของโฟม แล้วหารด้วยน้ำหนักของโฟม ซึ่งการชั่งน้ำหนักนั้นใช้ภาชนะที่มีปริมาตรเท่ากัน (Kirk and Sawyer, 1991)

- ความคงตัวของโฟม ด้วยวิธี drainage method (Sauter and Montoure, 1972)

- ความหนาแน่นของโฟม ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักโฟมที่ได้ในภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน (รัตนา, 2545)

หมายเหตุ : วิธีวิเคราะห์ต่างๆ แสดงในภาคผนวก

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลองเมื่อเติมเมทโธเซล

เวลาที่ใช้ในการตีโฟม (นาที)	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
10	ปริมาณต่ำที่สุด (A%)	A+0.28%	A+0.56%	A+0.84%	A+1.12%
15	ปริมาณต่ำที่สุด (A%)	A+0.28%	A+0.56%	A+0.84%	A+1.12%
20	ปริมาณต่ำที่สุด (A%)	A+0.28%	A+0.56%	A+0.84%	A+1.12%
25	ปริมาณต่ำที่สุด (A%)	A+0.28%	A+0.56%	A+0.84%	A+1.12%
30	ปริมาณต่ำที่สุด (A%)	A+0.28%	A+0.56%	A+0.84%	A+1.12%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.3 แผนการทดลองเมื่อเติม GMS

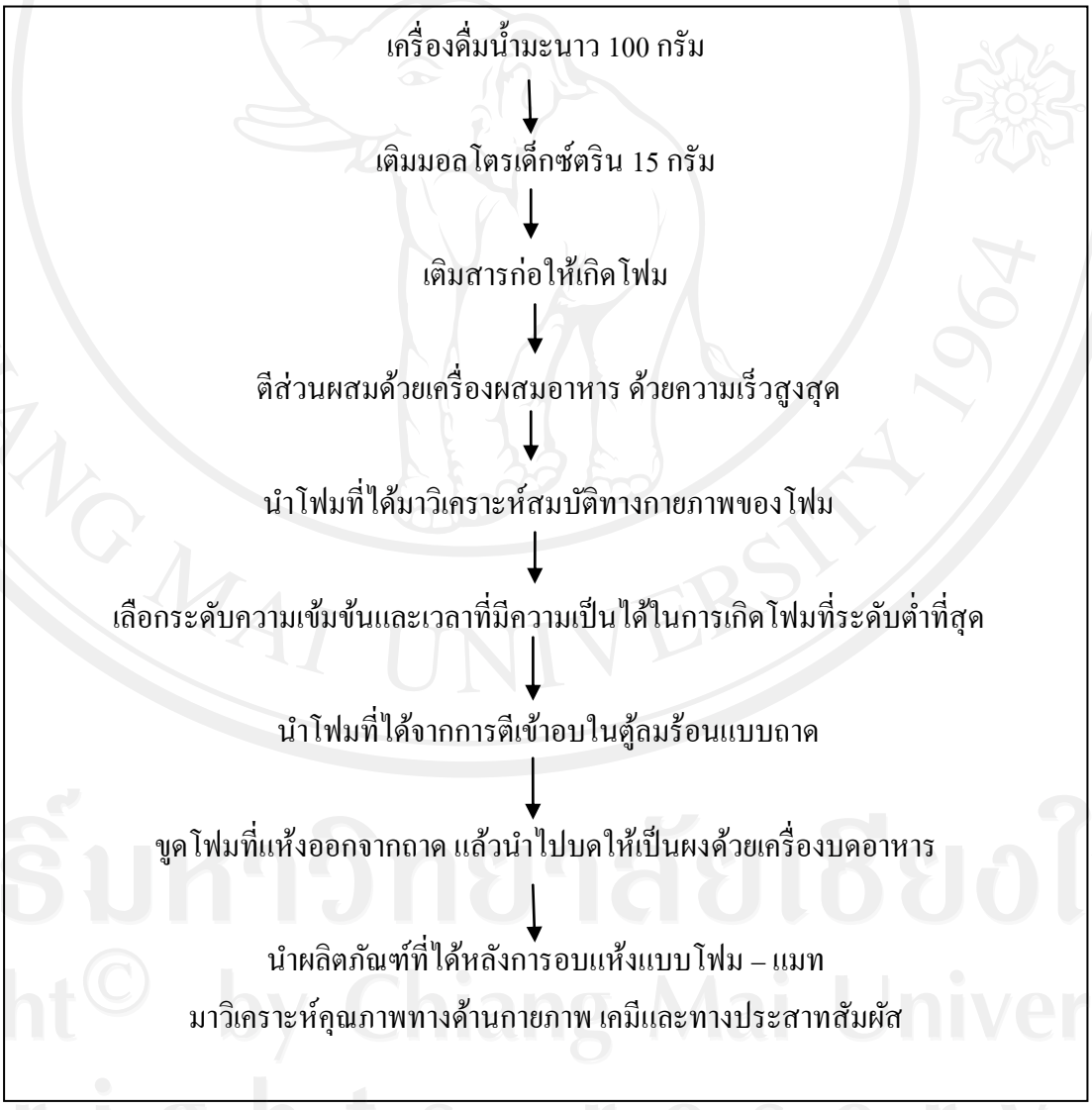
เวลาที่ใช้ในการตีโฟม (นาที)	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
10	ปริมาณต่ำที่สุด (B%)	B+5%	B+10%	B+15%	B+20%
15	ปริมาณต่ำที่สุด (B%)	B+5%	B+10%	B+15%	B+20%
20	ปริมาณต่ำที่สุด (B%)	B+5%	B+10%	B+15%	B+20%
25	ปริมาณต่ำที่สุด (B%)	B+5%	B+10%	B+15%	B+20%
30	ปริมาณต่ำที่สุด (B%)	B+5%	B+10%	B+15%	B+20%

ตารางที่ 3.4 แผนการทดลองเมื่อเติมอัลบูมินจากไข่

เวลาที่ใช้ในการตีโฟม (นาที)	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
10	ปริมาณต่ำที่สุด (C%)	C+5%	C+10%	C+15%	C+20%
15	ปริมาณต่ำที่สุด (C%)	C+5%	C+10%	C+15%	C+20%
20	ปริมาณต่ำที่สุด (C%)	C+5%	C+10%	C+15%	C+20%
25	ปริมาณต่ำที่สุด (C%)	C+5%	C+10%	C+15%	C+20%
30	ปริมาณต่ำที่สุด (C%)	C+5%	C+10%	C+15%	C+20%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ นำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ซึ่งการพิจารณาเลือกความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมและเวลาในการตีปั่นโฟมที่เหมาะสม โดยจะเลือกจากปริมาณของความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟมที่ใช้ตีเครื่องดื่มน้ำมะนาว ซึ่งใช้ปริมาณของสารก่อให้เกิดโฟมน้อยที่สุด และเวลาในการตีโฟมที่ทำให้โฟมมีค่าโอเวอร์รันสูงที่สุด และมีความคงตัวดีที่สุด เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป โดยวิธีการผลิตเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง โดยวิธีทำแห้งแบบโฟม-แมท แสดงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการผลิตเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง โดยวิธีทำแห้งแบบโฟม – แมท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดลองที่ 4 จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว และผลของอุณหภูมิในการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง

โดยเตรียมเครื่องดื่มน้ำมะนาว จากปริมาณน้ำมะนาว ปริมาณน้ำตาลทราย และปริมาณน้ำผึ้งที่เลือกได้จากการทดลองที่ 2 และเตรียมโฟมตามวิธีการทดลองที่ 3 จากนั้นนำโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ได้ไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาด โดยผันแปรอุณหภูมิเป็น 3 ระดับ คือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยทำการจดบันทึกน้ำหนักตัวอย่างทุกๆ 5 นาที ในชั่วโมงแรก และทุกๆ 10 นาที ในชั่วโมงถัดไป จนกว่าน้ำหนักตัวอย่างจะคงที่ เพื่อนำผลที่ได้ไปสร้างกราฟแสดงพฤติกรรมการอบแห้ง (drying rate curve) และทำการวิเคราะห์หาค่าคงที่ในรูปแบบสมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งแบบเอมไพริคเคิลของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว

การสร้างสมการจลนพลศาสตร์

- การวิเคราะห์ค่าคงที่ของการอบแห้ง

นำข้อมูลการทดลองของการลดลงของความชื้น ขณะอบแห้งที่ได้จากการทดลองอบแห้งแบบชั้นบางมาทำการวิเคราะห์ด้วยรูปแบบสมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งแบบเอมไพริคเคิล ดังนี้

1. คำนวณหาอัตราส่วนความชื้นจากสมการที่ 3.1

$$MR = \frac{M - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \qquad (3.1)$$

เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้นของวัสดุ

M_{in} = ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

M_{eq} = ความชื้นสมดุลของวัสดุ, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

M = ค่าความชื้นในวัสดุ, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. คำนวณหาค่าคงที่ของการอบแห้งที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ โดยนำค่าอัตราส่วนความชื้นจากผลการทดลอง มาวิเคราะห์สมการถดถอยโดยใช้สมการจลนพลศาสตร์อบแห้งแบบเอมไพริคเคิล ตามรูปแบบสมการของ Henderson and Pabis, Lewis, Page และ Two – term expontial ดังสมการที่ (2.15), (2.17), (2.18) และ (2.19) ตามลำดับ ซึ่งจะได้ค่าคงที่ของการอบแห้งของแต่ละสมการ

3.จากนั้นนำสมการของการอบแห้งที่คำนวณได้ ในแต่ละการทดลอง มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของการอบแห้งกับอุณหภูมิ ด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด และคำนวณค่า Adjusted Coefficient of Determination (R^2_{adj}) ค่า Root Mean Square Error (RMSE) และ ค่า Reduced Chi – square (χ^2) ซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้เป็นพารามิเตอร์ทางสถิติ ซึ่งช่วยในการวิเคราะห์การเปรียบเทียบเพื่อหาค่าความแม่นยำ ในการทำนายค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อน (สุเนตรและฤทธิชัย, 2554) ค่า R^2_{adj} เป็นค่าพารามิเตอร์ทางสถิติที่สำคัญในการบ่งบอกคุณภาพของรูปแบบสมการ ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้ง ในขณะที่ค่า χ^2 และค่า RMSE เป็นพารามิเตอร์ทางสถิติ ที่ใช้บ่งบอกความผิดพลาดในการทำนายค่าของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งที่มีความแม่นยำในการทำนายที่เหมาะสม ควรจะมีค่า R^2_{adj} มาก แต่มีค่า χ^2 และค่า RMSE น้อย โดยคำนวณตามสมการ (3.2) (3.3) และ (3.4) ตามลำดับ ดังนี้

(1) Adjusted Coefficient of Determination (R^2_{adj})

$$R^2_{adj} = 1-\left(1-R^2\right)\frac{n-1}{n-k-1} \qquad (3.2)$$

เมื่อ n = จำนวนชุดข้อมูล (observations on data points)
k = จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ต้องประมาณการในสมการถดถอย

หมายเหตุ :
$$R^2 = 1-\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{\exp,i}-MR_{pre,i}\right)^2}{\sum_{i-1}^{N}\left(\overline{MR}-MR_{pre,i}\right)^2}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) ค่า Root Mean Square Error (RMSE)

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (MR_{\exp,i} - MR_{pre,i})^2 \right]^{1/2} \quad (3.3)$$

(3) Reduced Chi – square (χ^2)

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} (MR_{\exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad (3.4)$$

เมื่อ $MR_{exp,i}$ = อัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง

$MR_{pre,i}$ = อัตราส่วนความชื้นที่ทำนายจากสมการ

N = จำนวนข้อมูลการทดลอง

Z = จำนวนของพารามิเตอร์ในแบบจำลอง

4. วิเคราะห์ความแม่นยำของแบบจำลองการอบแห้งตามรูปแบบสมการ (2.15), (2.17), (2.18) และ (2.19) กับผลการทดลองเพื่อเลือกใช้แบบจำลองที่มีความเหมาะสมในการทำนาย โดยพิจารณาจากค่า R^2_{adj} ค่า RMSE และ ค่า χ^2 และพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง (MR_{exp}) กับอัตราส่วนความชื้นจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (MR_{pre})

จากการอบแห้งจนน้ำหนักของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวคงที่นั้น จะทำให้ทราบจำนวนชั่วโมงในการอบแห้ง ซึ่งมาจากการสร้างกราฟแสดงพฤติกรรมการอบแห้ง จากนั้นจะทำการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวอีกครั้ง เพื่อนำมาบดเป็นผงแล้วนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมีและทางประสาทสัมผัส โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ 3 ซ้ำ นำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าต่างๆ จะใช้ในการพิจารณาเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด ในการทำแห้งเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง ซึ่งค่าต่างๆที่ทำการวิเคราะห์ มีดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. วิเคราะห์ลักษณะรูพรุนของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว ด้วยเครื่องโฟกัสไอออนบีม

2. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงก่อนชงละลาย โดยมีค่าที่วิเคราะห์ต่างๆดังนี้

- ความสามารถในการละลายของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง ด้วยวิธีการชั่งเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง มา 1 กรัม เติมน้ำอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ปริมาตร 100 มิลลิลิตร คนเป็นเวลา 1 นาที กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 แล้วอบให้แห้ง ชั่งน้ำหนักตะกอน และคำนวณหาร้อยละการละลายของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง (ลักขณา และนิธิยา, 2531)
- ค่าสีด้วยระบบ CIE (L^* , a^* และ b^*) ด้วยเครื่องวัดค่าสี
- ขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค
- ปริมาณความชื้นตามวิธี AOAC (2000)
- ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ โดยใช้เครื่อง Aqualab

3. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผงหลังชงละลาย โดยนำเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง มาละลายในน้ำอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วนเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง : น้ำ คือ 1 : 3 คนจนเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง ละลายจนหมด จากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆดังนี้

- ค่าสีด้วยระบบ CIE (L^* , a^* และ b^*) ด้วยเครื่องวัดค่าสี
- ความหนืดของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง หลังการชงละลาย โดยใช้เครื่องวัดความหนืด
- ความหนาแน่นของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง หลังการชงละลายโดยใช้ขวดหาความถ่วงจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
- ค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH meter
- ปริมาณกรดซิตริกตามวิธีของ AOAC (2000)
- ปริมาณวิตามินซีด้วยวิธีการไตเตรทตัวอย่างกับสารละลายมาตรฐานอิน-โดฟีนอล ตามวิธีของ AOAC (2000)
- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้ Hand refractometer

<u>หมายเหตุ</u> : วิธีวิเคราะห์ค่าต่างๆ แสดงในภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพทางกายภาพและเคมีของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง โดยการวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และวิเคราะห์ 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

4. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

- ทำการทดสอบคุณภาพด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส และความชอบโดยรวมที่มีต่อเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง หลังการชงละลาย โดยนำเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง มาละลายน้ำที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน เครื่องดื่มน้ำมะนาวผง : น้ำ คือ 1 : 3 คนจนละลายเทใส่ถ้วยพลาสติกสีขาวปริมาตร 20 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง (ใส่น้ำแข็งลงไปเล็กน้อยในถ้วยทดสอบชิม) เสนอให้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คนใช้วิธีทดสอบแบบ 9-point hedonic scale ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนตามความชอบ 1–9 คะแนน โดยเรียงคะแนนจากไม่ชอบมากที่สุดถึงชอบมากที่สุด (ไพโรจน์, 2545) วิเคราะห์การทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ เพื่อใช้พิจารณาเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง โดยทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่นรส และการยอมรับโดยรวมมากที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved