

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	น
สารบัญ	๗
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
<b>บทที่ 2 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>5</b>
2.1 มะนาว	5
2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	5
2.3 พันธุ์มะนาว	7
2.4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาว	8
2.5 การใช้ประโยชน์จากมะนาว	9
2.6 เครื่องดื่มจากธรรมชาติ	11
2.7 การอบแห้ง	12
2.8 การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง	24
2.9 ประโยชน์ของการทำแห้ง	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10 ข้อดีและข้อเสียของการทำให้อาหารแห้ง	27
2.11 การทำแห้งแบบโฟม-แมท	28
2.12 เครื่องอบแห้งสำหรับการทำแห้งแบบโฟม-แมท	38
2.13 น้ำผลไม้ผง	40
<b>บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง</b>	<b>44</b>
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	44
3.2 วิธีการทดลอง	46
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์</b>	<b>59</b>
4.1 คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของน้ำมะนาวสด	59
4.2 การศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมเครื่องดื่มน้ำมะนาวโดยอาศัยการ ออกแบบการทดลองแบบ mixture design	60
4.3 ผลของความเข้มข้นของสารก่อให้เกิดโฟม และเวลาในการตีโฟม ที่มีต่อค่าโอเวอร์รัน ความคงตัว และความหนาแน่นของโฟม	63
4.4 การเปรียบเทียบการลดความชื้นของ โฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่อุณหภูมิ ลมร้อนต่างๆ	76
4.5 จลนพลศาสตร์การอบแห้งของ โฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว	80
4.6 ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมีและ ประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำมะนาวผง	90
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ</b>	<b>108</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	108
5.2 ข้อเสนอแนะ	110

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	111
ภาคผนวก	120
ภาคผนวก ก ภาพประกอบ	121
ภาคผนวก ข วิเคราะห์ทางกายภาพ	127
ภาคผนวก ค วิเคราะห์ทางเคมี	131
ภาคผนวก ง แบบทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	136
ภาคผนวก จ การคำนวณต้นทุนการผลิต	138
ประวัติผู้เขียน	140

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 องค์ประกอบของน้ำมะนาวสด	9
2.2 สารเพิ่มความคงตัวของโฟมและวิธีการเตรียมสาร	36
2.3 ชนิดและความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวของโฟมในผลิตภัณฑ์	37
3.1 ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ของส่วนผสมในสูตรเครื่องดื่มน้ำมะนาวตามแผนการทดลองแบบ mixture design	48
3.2 แผนการทดลองเมื่อเติมเมทโรเซล	51
3.3 แผนการทดลองเมื่อเติม GMS	52
3.4 แผนการทดลองเมื่อเติมอัลบูมินจากไข่	52
4.1 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำมะนาวพันธุ์พิจิตร 1	59
4.2 สัดส่วนส่วนผสมของสูตรเครื่องดื่มน้ำมะนาวตามแผนการทดลองแบบ mixture design (100 กรัม)	60
4.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มน้ำมะนาว	61
4.4 คุณภาพทางกายภาพและเคมีบางประการของเครื่องดื่มน้ำมะนาวสูตรที่ 3	62
4.5 ค่าโอเวอร์รัน (ร้อยละ) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม	64
4.6 ค่าความคงตัว (มิลลิลิตรต่อนาที) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม	64
4.7 ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม	64
4.8 ค่าโอเวอร์รัน (ร้อยละ) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม	68
4.9 ค่าความคงตัว (มิลลิลิตรต่อนาที) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม	68
4.10 ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร) ของโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาว โดยใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม	69

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.11 ค่าโอเวอร์รัน (ร้อยละ) ของโฟมเครื่องคั้นน้ำมะนาว โดยใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม	71
4.12 ค่าความคงตัว (มิลลิลิตรต่อนาที) ของโฟมเครื่องคั้นน้ำมะนาว โดยใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม	71
4.13 ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร) ของโฟมเครื่องคั้นน้ำมะนาว โดยใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม	72
4.14 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งโฟมเครื่องคั้นน้ำมะนาวที่ใช้เมทโทเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม	82
4.15 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งโฟมเครื่องคั้นน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม	85
4.16 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งโฟมเครื่องคั้นน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม	88
4.17 คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของเครื่องคั้นน้ำมะนาวผงด่อนการชงละลาย	97
4.18 คุณภาพทางด้านกายภาพและเคมีของเครื่องคั้นน้ำมะนาวผงดหลังการชงละลาย	102
4.19 คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเครื่องคั้นน้ำมะนาวผงด	106

## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 ลักษณะภาพตัดขวางของผลไม้ตระกูลส้ม	6
2.2 ลักษณะของผลมะนาว	7
2.3 สูตรโครงสร้างของกรดซิตริก	8
2.4 สูตรโครงสร้างของกรดแอสคอร์บิก	9
2.5 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง	13
2.6 การเคลื่อนที่ของน้ำด้วยแรงผ่านช่องแคบ (capillary force)	14
2.7 การเคลื่อนที่ของน้ำด้วยการแพร่ (diffusion)	15
2.8 การเปรียบเทียบอัตราการอบแห้งกับความชื้น	16
2.9 ลักษณะของฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่ในของเหลวตั้งแต่เริ่มตีปั่นจนเกิดโฟมที่สมบูรณ์	28
2.10 โครงสร้างทางเคมีของ methocel ชนิด methhycellulose (A) และชนิด hydroxypropyl methycelluiose (B)	31
2.11 ผลของการเพิ่มและลดอุณหภูมิต่อความชื้นหนืดและการเกิดเจลของสารละลายเมทโทเซล	32
2.12 โครงสร้างของไข่	34
2.13 สูตรโครงสร้างของกลีเซอรอล โมโนสเตียเรต	35
2.14 เครื่องอบแห้งแบบถาดชนิดคาบิเนท	38
2.15 เครื่องอบแห้งแบบโฟมเมท	39
3.1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำมะนาวคั้นสดและน้ำมะนาวแช่แข็ง	46
3.2 แผนภูมิแสดงปริมาณ (ร้อยละ โดยน้ำหนัก) ของส่วนผสมในสูตรเครื่องคั้นน้ำมะนาวตามแผนการทดลองแบบ mixture design	48
3.3 ขั้นตอนการผลิตเครื่องคั้นน้ำมะนาวผงโดยวิธีทำแห้งแบบโฟม-เมท	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.1 (a) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอเวอร์รันและความหนาแน่นของโฟมที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม	
(b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอเวอร์รันและความหนาแน่นของโฟมที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม	
(c) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอเวอร์รันและความหนาแน่นของโฟมที่ใช้ อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม	76
4.1 (d) ลักษณะของโฟมหลังการตีขึ้นของสารก่อให้เกิดโฟม 3 ชนิด คือ เมทโรเซล GMS และอัลบูมินจากไข่	76
4.2 การเปรียบเทียบการลดความชื้นของโฟมเครื่องดัดน้ำมะนาวที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส	78
4.3 การเปรียบเทียบการลดความชื้นของโฟมเครื่องดัดน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส	78
4.4 การเปรียบเทียบการลดความชื้นของโฟมเครื่องดัดน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส	78
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของโฟมเครื่องดัดน้ำมะนาวที่ใช้เมทโรเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม อบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส	79
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของโฟมเครื่องดัดน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม อบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส	79
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งและความชื้นของโฟมเครื่องดัดน้ำมะนาวที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม อบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส	80



## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.8 การเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้เมท- โซเซลเป็นสารก่อให้เกิดโฟม โดย (a), (b) และ (c) เป็นผลของการทดลอง และผลของ แบบจำลองต่างๆที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ	83
4.9 การเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้เกิดโฟม โดย (a), (b) และ (c) เป็นผลของการทดลอง และผลของ แบบจำลองต่างๆที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ	86
4.10 การเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นในการอบแห้งโฟมเครื่องดื่มน้ำมะนาวที่ใช้ อัลบูมินจากไข่เป็นสารก่อให้เกิดโฟม โดย (a), (b) และ (c) เป็นผลของการทดลอง และผลของแบบจำลองต่างๆที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ	89
4.11 ลักษณะของรูพรุนด้านผิวหน้า และด้านภาคขวางของโฟมที่ใช้เมทโซเซลเป็นสาร ก่อให้เกิดโฟม ที่อบแห้งในที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส	93
4.12 ลักษณะของรูพรุนด้านผิวหน้า และด้านภาคขวางของโฟมที่ใช้ GMS เป็นสารก่อให้ เกิดโฟม ที่อบแห้งในที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส	94
4.13 ลักษณะของรูพรุนด้านผิวหน้า และด้านภาคขวางของโฟมที่ใช้อัลบูมินจากไข่เป็น สารก่อให้เกิดโฟม ที่อบแห้งในที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส	95