

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 วิธีการผลิตมะเขี๋ยงผง โดยวิธีเคลือบผิวน้ำตาล

จากการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำมะเขี๋ยงที่สกัดได้ พบว่า น้ำมะเขี๋ยงที่สกัดได้มีสีสีแดงเข้มออกม่วง โดยวัดค่าสี L มีค่าสีออกคล้ำ คือ 39.29 ค่าสี a^* มีค่าเป็น สีแดง คือ 28.87 และค่าสี b^* มีค่าเป็นสีเหลือง คือ 3.68 ด้านปริมาณกรดได้วิเคราะห์ปริมาณกรด ในรูปกรดซิตริก เพราะจากการศึกษาของทวิพร (2530) รายงานว่าในผลมะเขี๋ยงสุกมีกรดซิตริก มากที่สุด คือร้อยละ 1.67 ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์ปริมาณกรดในรูปกรดซิตริกได้ร้อยละ 0.70 ทั้งนี้ ในขั้นตอนการเตรียมน้ำมะเขี๋ยงสกัดได้ผสมน้ำต่อเนื้อมะเขี๋ยงในอัตราส่วน 1 : 1 จึงทำให้ปริมาณ กรดในน้ำมะเขี๋ยงสกัดมีค่าน้อยกว่าในผลมะเขี๋ยง เมื่อเทียบกับน้ำมะเขี๋ยงสกัดจากการวิจัยของ ณัฐธิดา และนงลักษณ์ (2541) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน คือร้อยละ 0.68 ซึ่งมีวิธีการสกัดน้ำมะเขี๋ยง คล้ายกัน ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.40 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เท่ากับ 6.4 องศาบริกซ์ ปริมาณแอนโทไซยานินส์ เท่ากับ 115.36 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณและชนิดของ แอนโทไซยานินส์ในผลไม้จะแตกต่างกันไป สอดคล้องกับ Boyles and Wrolstad (1993) รายงาน ว่า ปริมาณแอนโทไซยานินส์ในน้ำผลไม้ที่มีสีแดงเข้มออกม่วง ปริมาณแอนโทไซยานินส์แตกต่างกัน มากตั้งแต่ 4 - 1,102 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลมะเขี๋ยงมีแอนโทไซยานินส์ประเภท cyanidin-3- glucosides เป็นองค์ประกอบหลัก และ cyanidin 3-5 glucosides เป็นองค์ประกอบรอง (ทวิพร, 2530) และน้ำมะเขี๋ยงมีสารประกอบฟีนอล (ในรูปกรดแกลลิก) เท่ากับ 628.46 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าการดูดกลืนแสงที่ 690 นาโนเมตร เท่ากับ 0.66 โดยสารแอนโทไซยานินส์จัดเป็นสารใน กลุ่มฟลาโวนอยด์ และสารประกอบฟีนอลในรูปกรดแกลลิก ซึ่งสารเหล่านี้ทำหน้าที่จับกับสาร กระตุ้นการเกิดมะเร็งที่เป็นอนุมูลอิสระ ทำให้สามารถป้องกันการเกิดโรคมะเร็งได้ (คณะกรรมการงานอนุรักษ์และใช้ประโยชน์พืชมะเขี๋ยง, 2545) ด้านปริมาณน้ำมะเขี๋ยงที่สกัดได้จริงมี ปริมาณร้อยละ 30.33 โดยน้ำหนักของเนื้อมะเขี๋ยงเริ่มต้น เมื่อเทียบกับการวิจัยของณัฐธิดา และ นงลักษณ์ (2541) คือร้อยละ 18.00 พบว่ามีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อมะเขี๋ยงที่ใช้ใน การวิจัยนี้ เป็นเนื้อมะเขี๋ยงแช่แข็ง มีผลให้ส่วนของเซลล์เนื้อเยื่อในผลมะเขี๋ยงแตก ทำให้น้ำหรือสาร ต่างๆ ในเนื้อมะเขี๋ยงสามารถที่จะถูกคั้นออกมาได้ง่ายและมากกว่า

จากน้ำมะเขี๋ยงสกัดที่เตรียมได้ นำมาเคลือบผิวน้ำตาลโดยใช้วิธีการพ่นน้ำมะเขี๋ยงลง บนผิวน้ำตาล โดยใช้ปริมาณน้ำมะเขี๋ยงสกัด 3 ระดับ คือร้อยละ 30, 40 และ 50 โดยปริมาตร

ค่อน้ำหนักของน้ำตาล จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของมะเคี้ยงผงที่ผลิตโดยวิธีเคลือบผิวน้ำตาล 3 ระดับ พบว่า ผลึกภัณฑ์มะเคี้ยงผงมีลักษณะเป็นผงสีแสดอมชมพู และไม่จับตัวกันเป็นก้อน มะเคี้ยงผงมีค่าสี L ก่อนข้างสว่าง ทั้ง 3 ระดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตาราง 4.1) โดยพบว่า ค่าสี L ของมะเคี้ยงผงที่ใช้ปริมาณน้ำมะเคี้ยงสกัดในการเคลือบผิวน้ำตาลร้อยละ 50 มีค่าต่ำสุด คือ 58.62 แสดงให้เห็นว่าสีของมะเคี้ยงผงมีสีเข้มมากที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 สิ่งทดลอง คือ ร้อยละ 30 และ 40 มีค่าสี L เท่ากับ 70.34 และ 66.59 ตามลำดับ และ ค่าสี a^* มีค่าเป็นสีแสดทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพบว่า ค่าสี a^* ของมะเคี้ยงผงที่ใช้ปริมาณน้ำมะเคี้ยงสกัดในการเคลือบผิวน้ำตาลร้อยละ 50 มีค่าสูงที่สุด คือ 41.62 แสดงให้เห็นว่าสีของมะเคี้ยงผงมีสีแสดมากที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 สิ่งทดลอง คือ ร้อยละ 30 และ 40 มีค่าสี a^* เท่ากับ 24.24 และ 35.51 ตามลำดับ จากผลการทดลองมะเคี้ยงผงที่ใช้ปริมาณน้ำมะเคี้ยงสกัดในการเคลือบผิวน้ำตาลร้อยละ 50 มีสีแสดและเข้มมากที่สุด อาจเป็นผลมาจากสิ่งทดลองมีการเคลือบน้ำตาลด้วยน้ำมะเคี้ยงในปริมาณมากที่สุด ส่วนค่าสี b^* มีค่าเป็นสีเหลือง ทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (อยู่ในช่วง 1.82 - 2.02)

คุณภาพด้านความสามารถในการคืนรูปของทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีปริมาณใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (อยู่ในช่วงร้อยละ 98.27 - 98.98) ความสามารถในการละลายของทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีปริมาณใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (อยู่ในช่วง 0.40 - 0.42 นาที) ความสามารถในการกระจายตัวของทั้ง 3 สิ่งทดลองมีปริมาณใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (อยู่ในช่วง 0.15 - 0.16) ทั้งนี้อาจเกิดจากขั้นตอนการทดลองมีข้อจำกัดในเรื่องของขั้นตอนการบดให้เป็นผง คือ มีการกำหนดเครื่องที่ใช้บด ความเร็ว และเวลาในการบดที่เท่ากัน จึงทำให้ขนาดอนุภาคของมะเคี้ยงผงใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้ค่าความสามารถในการคืนรูป ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการกระจายตัวของทั้ง 3 สิ่งทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้การละลายของเครื่องคั้มผง ขึ้นอยู่กับผิวสัมผัส ขนาด และความหนาแน่นของผง ถ้ามีผิวสัมผัสมากจะดูดน้ำได้ดี จะมีการจมน้ำได้เร็ว เมื่อมีการเติมน้ำลงไป ทำให้เกิดการกระจายตัวในของเหลวได้ง่าย แต่หากอาหารรวมกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น ความสามารถในการกระจายตัวอาจลดลงได้ (อรุณี, 2530) ค่าความชื้นของทั้ง 3 สิ่งทดลองมีปริมาณใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (อยู่ในช่วงร้อยละ 2.80 - 2.84) โดยอยู่ในเกณฑ์ของปริมาณความชื้นที่ป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์ควรจะลดปริมาณความชื้นให้ต่ำลงจนถึงร้อยละ 5 (พรพล, 2545) ปริมาณน้ำอิสระของทั้ง 3 สิ่งทดลองมีปริมาณใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (อยู่ในช่วง 0.31 - 0.32) โดยอยู่ในเกณฑ์ของค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.60 จึงจะสามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

ปริมาณผลผลิตที่ได้ของทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีปริมาณใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (อยู่ในช่วงร้อยละ 83.07 - 84.12) ระยะเวลาในการอบแห้งทั้ง 3 สิ่งทดลอง ใช้เวลาในการอบไม่เท่ากัน โดยการใช้ปริมาณน้ำมะเกลือสกัดในการเคลือบพืชน้ำตาลร้อยละ 50 ใช้เวลาอบแห้งนานที่สุด คือ 5.5 ชั่วโมง รองลงมา คือ ร้อยละ 40 และ 30 ใช้เวลาการอบแห้ง 5 และ 4.5 ชั่วโมง ตามลำดับ ค่าใช้จ่ายในการผลิตของมะเกลือผงที่ใช้ปริมาณน้ำมะเกลือสกัดในการเคลือบพืชน้ำตาลร้อยละ 50 มีค่าสูงที่สุด คือ 159 บาทต่อกิโลกรัมมะเกลือผง รองลงมา คือ ร้อยละ 40 และ 30 คือ 157 และ 156 บาทต่อกิโลกรัมมะเกลือผง ตามลำดับ

ตาราง 4.1 คุณภาพทางกายภาพของมะเกลือผงที่ผลิตโดยวิธีเคลือบพืชน้ำตาล

ลักษณะคุณภาพ	ปริมาณน้ำมะเกลือสกัด (ร้อยละ)		
	30	40	50
ค่าสี			
L	70.34 ^a ±2.02	66.59 ^b ±1.04	58.62 ^a ±1.02
a*	+24.24 ^c ±1.44	+35.51 ^b ±2.42	+41.62 ^a ±2.14
b* ^{ns}	+1.82±0.15	+2.02±0.29	+1.94±0.24
ความสามารถในการคืนรูป (ร้อยละ) ^{ns}	98.98±1.22	98.27±1.02	98.61±1.14
การละลาย (นาที่) ^{ns}	0.40±0.09	0.42±0.13	0.40±0.15
การกระจายตัว ^{ns}	0.15±0.01	0.15±0.02	0.16±0.01
ความชื้น (ร้อยละ) ^{ns}	2.84±0.09	2.80±0.14	2.82±0.40
ปริมาณน้ำอิสระ (a _w) ^{ns}	0.32±0.04	0.31±0.07	0.32±0.08
ปริมาณผลผลิตที่ได้ (ร้อยละ) ^{ns}	83.07±2.15	83.25±1.28	84.12±1.85
ระยะเวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	4.5	5.0	5.5
ค่าใช้จ่ายในการผลิต (บาท/กิโลกรัม)	156	157	159

- หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวอนอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P\leq 0.05$)
2. ns หมายถึง ข้อมูล ไม่มีความแตกต่างต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P>0.05$)

จากผลิตภัณฑ์มะเขี๋ยงที่ได้นำมาคืนรูป โดยการนำมะเขี๋ยงมาละลายน้ำปรับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 15 องศาบริกซ์ พบว่า น้ำมะเขี๋ยงคืนรูปที่ได้มีสีเข้ม ออกม่วง โดยมีค่าสี L มีค่าสีออกคล้ำ ทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ ($P \leq 0.05$) (ตาราง 4.2) โดยพบว่า ค่าสี L ของน้ำมะเขี๋ยงคืนรูปของมะเขี๋ยงที่ใช้ปริมาณน้ำ มะเขี๋ยงสกัดในการเคลือบผิวน้ำตาลร้อยละ 50 มีค่าต่ำสุด คือ 30.24 แสดงให้เห็นว่าสีของน้ำ มะเขี๋ยงคืนรูปมีสีเข้มมากที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 สิ่งทดลอง คือ ร้อยละ 30 และ 40 มีค่าสี L เท่ากับ 39.17 และ 34.44 ตามลำดับ และค่าสี a^* มีค่าเป็นสีแดงทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพบว่า ค่าสี a^* ของน้ำมะเขี๋ยงคืนรูปของมะเขี๋ยงที่ใช้ ปริมาณน้ำมะเขี๋ยงสกัดในการเคลือบผิวน้ำตาลร้อยละ 50 มีค่าสูงที่สุด คือ 47.22 แสดงให้เห็นว่า สีของมะเขี๋ยงผลมีสีเข้มมากที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 สิ่งทดลอง คือ ร้อยละ 30 และ 40 มีค่าสี a^* เท่ากับ 25.56 และ 31.46 ตามลำดับ น้ำมะเขี๋ยงหลังคืนรูปจะมีค่า L^* น้อยกว่าน้ำมะเขี๋ยงสด ซึ่งการอบแห้งทำให้ความสว่างของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือในระหว่างการอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ผงจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่มีเอนไซม์เข้าเกี่ยวข้อง เป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่ คาร์บอนิลในน้ำตาลรีดิวซ์กับอะมิโนอิสระที่มีอยู่ในน้ำผลไม้ (Fennema, 1976) ทำให้เมื่อนำ มะเขี๋ยงมาคืนรูปมีค่าความสว่างน้อยลง ค่าสี b^* มีค่าเป็นสีเหลือง ทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีค่า ใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (อยู่ในช่วง 5.24 - 6.82)

ด้านปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีค่าเท่ากันไม่มีความแตกต่าง กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (มีค่าเท่ากับ 15 องศาบริกซ์) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพบว่า น้ำมะเขี๋ยงคืนรูป ของมะเขี๋ยงที่ใช้ปริมาณน้ำมะเขี๋ยงสกัดในการเคลือบผิวน้ำตาลร้อยละ 50 มีค่าต่ำที่สุด คือ 3.78 เมื่อเทียบกับอีก 2 สิ่งทดลอง คือ ร้อยละ 30 และ 40 มีค่าเท่ากับ 4.05 และ 3.87 ตามลำดับ ส่งผลให้มีปริมาณกรด (ในรูปกรดซิตริก) ของน้ำมะเขี๋ยงคืนรูปของมะเขี๋ยงที่ใช้ปริมาณน้ำ มะเขี๋ยงสกัดในการเคลือบผิวน้ำตาลร้อยละ 50 มีค่าสูงที่สุด คือ ร้อยละ 0.40 เมื่อเทียบกับอีก 2 สิ่งทดลอง คือ ร้อยละ 30 และ 40 มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.30 และ 0.32 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตก ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยปริมาณกรดของน้ำมะเขี๋ยงพร้อมดื่มตามสูตรการ ผลิตน้ำมะเขี๋ยงพร้อมดื่มของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตลำปาง มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.35 - 0.45 จากการทดลองจะพบว่าการใช้ปริมาณน้ำมะเขี๋ยงสกัดในการเคลือบผิวน้ำตาลร้อยละ 50 เท่านั้นที่อยู่ในช่วงค่าดังกล่าว สำหรับคุณภาพทางด้านปริมาณแอนโทไซยานินส์ ทั้ง 3 สิ่ง- ทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยพบว่าน้ำมะเขี๋ยงคืนรูปของ มะเขี๋ยงที่ใช้ปริมาณน้ำมะเขี๋ยงสกัดในการเคลือบผิวน้ำตาลร้อยละ 50 มีค่าสูงที่สุด คือ 27.41

มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับอีก 2 สิ่งทดลอง คือ ร้อยละ 30 และ 40 มีค่าเท่ากับ 23.54 และ 21.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สารประกอบฟีนอล (ในรูปกรดแกลลิก) ทั้ง 3 สิ่งทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยน้ำมะเกี๋ยงคั้นรูปของมะเกี๋ยงผงที่ใช้จากมี ปริมาณน้ำมะเกี๋ยงสกัดที่ใช้ในการเคลือบพืชน้ำตาลร้อยละ 50 มีค่าสูงสุด คือ 98.50 มิลลิกรัมต่อ ลิตร เมื่อเทียบกับอีก 2 สิ่งทดลอง คือ ร้อยละ 30 และ 40 มีค่าเท่ากับ 73.72 และ 83.55 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การที่น้ำมะเกี๋ยงคั้นรูปของมะเกี๋ยงผงที่ใช้ปริมาณน้ำมะเกี๋ยงสกัดใน การเคลือบพืชน้ำตาลร้อยละ 50 มีค่าปริมาณแอนโทไซยานินส์ และสารประกอบฟีนอลมากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณน้ำมะเกี๋ยงสกัดที่ใช้ในการเคลือบพืชน้ำตาลมีมากกว่าสิ่งทดลองอื่น จึงส่งผลให้ มีปริมาณมากที่สุด

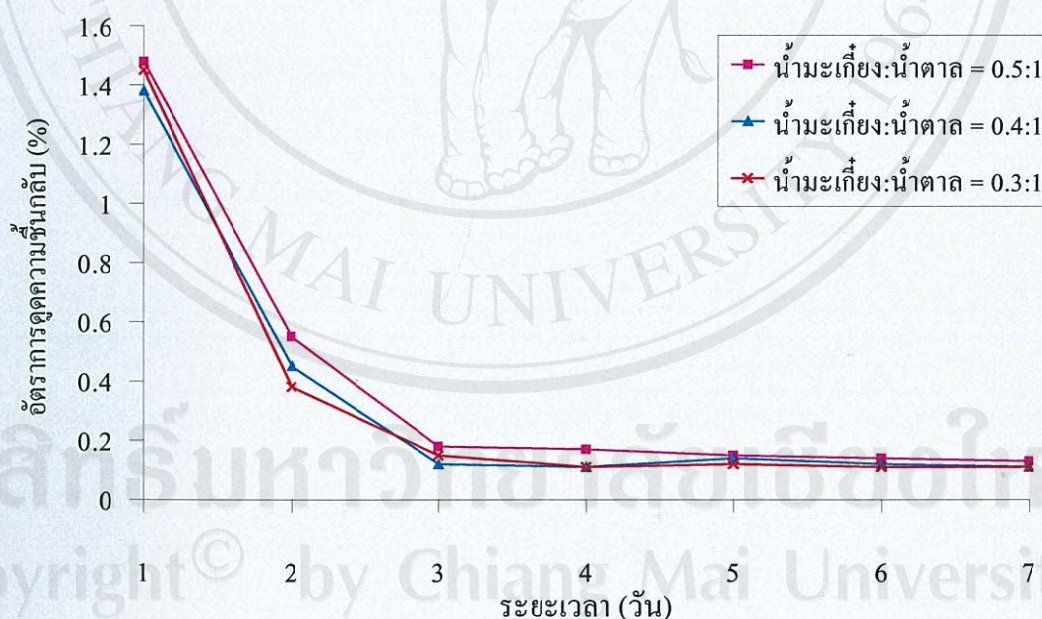
ตาราง 4.2 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำมะเกี๋ยงคั้นรูปจากมะเกี๋ยงผงที่ผลิตโดยวิธีเคลือบ พืชน้ำตาล

ลักษณะคุณภาพ	ปริมาณน้ำมะเกี๋ยงสกัด (ร้อยละ)		
	30	40	50
ทางกายภาพ			
ค่าสี			
L	39.17 ^a ±0.95	34.44 ^b ±0.83	30.24 ^a ±0.20
a*	25.56 ^c ±1.04	31.46 ^b ±1.06	47.22 ^a ±1.04
b* ^{ns}	6.82±0.12	6.35±0.20	5.24±0.21
ทางเคมี			
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ^{ns} (องศาบริกซ์)	15.00±0.20	15.00±0.40	15.00±0.20
ความเป็นกรด-ด่าง	4.05 ^c ±0.88	3.87 ^b ±0.68	3.78 ^a ±0.70
ปริมาณกรด (ในรูปกรดซิตริก) (ร้อยละ)	0.30 ^c ±0.03	0.32 ^b ±0.04	0.40 ^a ±0.04
แอนโทไซยานินส์ (มก./ลิตร)	21.56 ^b ±1.24	23.54 ^b ±2.62	27.41 ^a ±1.42
สารประกอบฟีนอล (ในรูปกรดแกลลิก) (มก./ลิตร)	73.72 ^c ±7.82	83.55 ^b ±8.84	98.5 ^a ±9.90

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอนอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

2. ns หมายถึง ข้อมูล ไม่มีความแตกต่างต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความ เชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$)

จากการทดสอบการดูดความชื้นกลับของผลิตภัณฑ์มะเขี๋ยงของทั้ง 3 สิ่งทดลอง โดยการเก็บมะเขี๋ยงที่อุณหภูมิห้อง และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 78 เป็นเวลา 7 วัน พบว่า มะเขี๋ยงดูดความชื้นกลับได้สูงเฉพาะในช่วงวันแรก (ภาพ 4.1) การที่มะเขี๋ยงดูดความชื้นกลับได้สูง อาจเกิดเนื่องจากมีความแตกต่างของความชื้นมะเขี๋ยงกับความชื้นของอากาศมีมาก และในวันที่ 2 เมื่อมะเขี๋ยงดูดความชื้นมากแล้วในวันแรก ความแตกต่างของความชื้นจึงน้อยลงทำให้มะเขี๋ยงมีอัตราการดูดความชื้นกลับลดลง และในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 7 พบว่า มะเขี๋ยงทุกสิ่งทดลองมีการดูดความชื้นกลับได้ต่ำมาก อาจเนื่องจากความชื้นในมะเขี๋ยงเริ่มเท่ากับความชื้นในอากาศระบบจึงเข้าสู่สมดุลความชื้น โดยทั่วไปผลึกน้ำตาลที่บริสุทธิ์จริงๆ จะมีคุณสมบัติการดูดความชื้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ถ้ามีสิ่งเจือปนอยู่มันจะมีคุณสมบัติการดูดความชื้นสูง น้ำตาลที่ค้าขาย (Plantation white sugar) จะมีความชื้นอยู่เพียงร้อยละ 0.05 - 0.10 แต่น้ำตาลจะเริ่มดูดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว ถ้าบรรยากาศที่เก็บน้ำตาลนั้นมีความชื้นสัมพัทธ์เกินกว่าร้อยละ 75 (กล้าณรงค์, 2538)



ภาพ 4.1 อัตราการดูดความชื้นกลับของมะเขี๋ยงที่ผลิตโดยวิธีเคลือบผิวน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 78

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำมะเงี้ยวพร้อมดื่มหลังคืนรูป โดยการนำมะเงี้ยวผงมาละลายน้ำปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 15 องศาบริกซ์ ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คน พบว่า ที่ปริมาณน้ำมะเงี้ยวสกัดในการเคลือบผิวน้ำตาลร้อยละ 50 โดยปริมาตรต่อน้ำหนักของน้ำตาล มีคะแนนความชอบสูงที่สุดในทุกคุณลักษณะ และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอีก 2 สิ่งทดลอง ($P \leq 0.05$) โดยมีคะแนนด้านลักษณะปรากฏ สีน้ำมะเงี้ยว กลิ่นมะเงี้ยว รสชาติรวม และการยอมรับรวม เท่ากับ 4.07 4.10 3.60 3.97 และ 3.90 ตามลำดับ (ตาราง 4.3) ซึ่งอาจเนื่องมาจากสิ่งทดลองมีการปรับปริมาณน้ำมะเงี้ยวที่ใช้ในการเคลือบผิวน้ำตาลมากกว่าสิ่งทดลองอื่น จึงส่งผลให้มีสีแดงเข้มมากที่สุดและมีปริมาณกรดสูงที่สุด ซึ่งปริมาณกรดจะมีผลต่อรสชาติของน้ำมะเงี้ยวพร้อมดื่มปริมาณกรดที่เหมาะสม ทำให้ได้รสชาติของน้ำมะเงี้ยวพร้อมดื่มที่ดี และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (คำเนิน และเรวดี, 2543)

เมื่อพิจารณาจากคุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำมะเงี้ยวคืนรูป และการทดสอบทางประสาทสัมผัส จะพบว่า มะเงี้ยวผงที่ผลิตโดยวิธีเคลือบผิวน้ำตาลโดยใช้ปริมาณน้ำมะเงี้ยวสกัดร้อยละ 50 โดยปริมาตรต่อน้ำหนักของน้ำตาล มีสีแดงเข้มมากที่สุด และมีรสชาติเป็นที่ยอมรับมากที่สุด ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมในการคัดเลือกเพื่อนำไปทำการทดลองต่อไป

ตาราง 4.3 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำมะเงี้ยวคืนรูปจากมะเงี้ยวผงที่ผลิตโดยวิธีเคลือบผิวน้ำตาล

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	ปริมาณน้ำมะเงี้ยวสกัด (ร้อยละ)		
	30	40	50
ลักษณะปรากฏ	2.87 ^c ±0.45	3.65 ^b ±0.52	4.07 ^a ±0.54
สีน้ำมะเงี้ยว	3.17 ^c ±0.87	3.75 ^b ±0.75	4.10 ^a ±0.80
กลิ่นมะเงี้ยว	2.93 ^b ±1.02	3.25 ^b ±1.11	3.60 ^a ±1.04
รสชาติรวม	2.85 ^c ±0.79	3.37 ^b ±0.62	3.97 ^a ±0.65
การยอมรับรวม	2.98 ^b ±0.83	3.65 ^a ±0.94	3.90 ^a ±0.99

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวอนอักษร์ที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

2. ns หมายถึง ข้อมูล ไม่มีความแตกต่างต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$)

4.2 วิธีการผลิตมะเขี๋ยงผงโดยวิธีอบแห้งแบบโฟม-แมท

จากการนำน้ำมะเขี๋ยงสกัดได้ ผสมกับสารที่ก่อให้เกิดโฟม 3 ประเภท คือ Methocel, Glyceryl monostearate (GMS), Carboxy methyl cellulose (CMC) และใช้สารผสม 3 ประเภท คือ Methocel ผสมกับ GMS, Methocel ผสมกับ CMC และ GMS ผสมกับ CMC โดยอัตราส่วนที่ผสมสาร 2 ชนิด คือ 1 : 1 โดยน้ำหนัก ละลายในน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำส่วนผสมน้ำมะเขี๋ยงเทลงในถังของเครื่องตี เปิดเครื่องให้ตีด้วยความเร็วช้าที่สุดเพื่อเป็นการคนให้ส่วนผสมมีความสม่ำเสมอ จากนั้นจึงค่อยๆ เติงเติมของสารที่ก่อให้เกิดโฟมลงไปในส่วนผสมน้ำมะเขี๋ยง พร้อมกับเร่งความเร็วในการตีให้เร็วขึ้นจนถึงความเร็วสูง ขณะที่ทำการตีโฟมสังเกตการเกิดโฟมในน้ำมะเขี๋ยง พบว่า Methocel และ Methocel ผสมกับ CMC สามารถทำให้ส่วนผสมของน้ำมะเขี๋ยงเกิดโฟมที่คงตัวได้ ทั้งนี้พิจารณาจากเมื่อตั้งทิ้งไว้ 60 นาที ไม่มีการของเหลวแยกตัวออกมา (กัลยาณี, 2540) โดยสารละลาย Methocel เริ่มทำให้ส่วนผสมน้ำมะเขี๋ยงเกิดโฟมได้เมื่อใช้ปริมาณร้อยละ 44 โดยน้ำหนัก ส่วนสารละลาย Methocel ผสมกับ CMC เริ่มทำให้ส่วนผสมน้ำมะเขี๋ยงเกิดโฟมได้เมื่อใช้ปริมาณร้อยละ 47 โดยน้ำหนัก (ตาราง 4.4) ดังนั้น จึงเลือกสารละลาย (ความเข้มข้นร้อยละ 1) ของ Methocel ในปริมาณร้อยละ 44 และสารละลาย (ความเข้มข้นร้อยละ 1) ของ Methocel ผสมกับ CMC ในปริมาณร้อยละ 47 เพื่อทำการศึกษาคือ

ตาราง 4.4 ผลการทดสอบชนิดของสารก่อให้เกิด โฟมระดับต่ำสุดที่ก่อให้เกิดโฟมในส่วนผสมน้ำมะเขี๋ยง

ชนิดของสารก่อให้เกิด โฟม	ปริมาณสารละลายต่ำสุด (%โดยน้ำหนัก)	ลักษณะของ โฟม
Methocel	44	เกิด โฟมที่คงตัวได้
GMS	≤ 300	ไม่เกิดลักษณะ โฟม
CMC	≤ 300	เกิด โฟมไม่คงตัว
Methocel + GMS	≤ 300	เกิด โฟมไม่คงตัว
Methocel + CMC	47	เกิด โฟมที่คงตัวได้
GMS + CMC	≤ 300	ไม่เกิดลักษณะ โฟม

จากนั้นนำสารก่อให้เกิด โฟมเติมลงในส่วนผสมน้ำมะเขี๋ยงในปริมาณที่แตกต่างกัน 5 ระดับ โดยระดับที่ต่ำที่สุด คือ ปริมาณของสารที่เติมลงไปในส่วนผสมน้ำมะเขี๋ยงในสัดส่วนที่น้อย

ที่สุดที่สามารถทำให้เกิดโฟมได้ และเพิ่มปริมาณขึ้นระดับร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของส่วนผสม ดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ปริมาณของสารที่ก่อให้เกิด โฟมในส่วนผสมน้ำมะเขีง

ชนิดของสารก่อให้เกิด โฟม	ปริมาณสารละลาย (% โดยน้ำหนักของส่วนผสม)				
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4	ระดับที่ 5
Methocel	44	54	64	74	84
Methocel + CMC	47	57	67	77	87

เตรียมส่วนผสมน้ำมะเขีงเติมสารที่ก่อให้เกิดโฟม โดยใช้ปริมาณต่างๆ ดังตาราง 4.5 แล้วนำไปตีให้เป็นโฟม ตรวจสอบคุณสมบัติของโฟม พบว่า ด้านความคงตัวของโฟมทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตาราง 4.6) โฟมมีอัตราการแยกตัวของของเหลวระหว่าง 0.037 – 0.046 มิลลิลิตรต่อนาที ความหนาแน่นของโฟม พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ อยู่ในช่วง 0.42 – 0.49 กรัมต่อมิลลิลิตร โดยค่าความหนาแน่นที่เหมาะสมของโฟม คือ ความหนาแน่นที่สูงที่สุดที่ทำให้เกิดโฟมที่คงตัว โดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 0.4 - 0.6 กรัมต่อมิลลิลิตร (Hart *et al.*, 1963) ซึ่งจากผลการทดลองจะพบว่าความหนาแน่นของโฟมสอดคล้องกับ Hart *et al.*, 1963 และจากผลการทดลองยังพบว่าสอดคล้องกับกัลยาณี, 2540 และ ชนนท์, 2545 ที่พบว่า ความหนาแน่นของโฟมลดลงเมื่อความเข้มข้นของ Methocel เพิ่มขึ้น สำหรับค่า overrun ของโฟมจะผันแปรกับความหนาแน่น โดยพบว่า ค่า overrun ของโฟมนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ Methocel ที่เพิ่มขึ้น คืออยู่ในช่วงร้อยละ 566.45 – 707.85 ซึ่งความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) การที่โฟมมีค่า overrun สูง และความหนาแน่นต่ำจะส่งผลให้โฟมมีฟองอากาศที่ละเอียดและสม่ำเสมอมีพื้นที่ผิวที่จะเกิดการระเหยของน้ำมาก ทำให้น้ำภายในโฟมซึ่งอยู่ในรูปฟิล์มบางๆ สามารถระเหยออกมาได้ง่ายและต่อเนื่อง นอกจากนี้ Methocel ยังทำหน้าที่พยุงโครงสร้างของโฟมไว้ไม่ให้ยุบตัวลงมา เพราะการยุบตัวของโฟมทำให้ไม่มีฟองอากาศที่จะให้ความร้อนแพร่เข้าไปได้มากนัก น้ำจึงระเหยออกได้ยากขึ้นทำให้แห้งได้ช้าลง (กัลยาณี, 2540)

ตาราง 4.6 คุณสมบัติของโฟมน้ำมะเขี๋ยง

ชนิดของสารก่อให้เกิดโฟม (%โดยน้ำหนักของส่วนผสม)		คุณสมบัติของ โฟม		
		ความคงตัว ^{ns} (มิลลิลิตร/นาที)	ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)	overrun (ร้อยละ)
สารละลาย Methocel ความเข้มข้นร้อยละ 1	44	0.032±0.01	0.49 ^c ±0.02	566.45 ^c ±22.84
	54	0.043±0.02	0.47 ^{bc} ±0.02	606.08 ^d ±15.56
	64	0.046±0.01	0.43 ^a ±0.03	661.17 ^{cd} ±27.94
	74	0.044±0.01	0.43 ^a ±0.03	672.28 ^c ±16.67
	84	0.046±0.01	0.42 ^a ±0.04	707.85 ^a ±17.67
สารละลาย Methocel + CMC ความเข้มข้นร้อยละ 1	47	0.037±0.01	0.44 ^{ab} ±0.03	699.07 ^a ±14.28
	57	0.041±0.01	0.44 ^{ab} ±0.04	701.54 ^a ±18.98
	67	0.041±0.01	0.43 ^a ±0.04	695.39 ^{ab} ±17.55
	77	0.046±0.01	0.43 ^a ±0.06	686.89 ^b ±19.80
	87	0.043±0.01	0.42 ^a ±0.01	680.34 ^{bc} ±24.25

- หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอนอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)
2. ns หมายถึง ข้อมูล ไม่มีความแตกต่างต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$)

จากโฟมน้ำมะเขี๋ยงที่เตรียมได้ นำโฟมมาบีบให้เป็นเส้นด้วยถุงสำหรับบีบแต่งหน้าเค้ก โดยใช้หัวที่เป็นรูปกลม มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 มิลลิเมตร โดยบีบโฟมให้เป็นเส้นยาวต่อเนื่องกันบนถาดที่เป็นรูโปร่ง นำเข้าอบโดยใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่า ผลิตภัณฑ์มะเขี๋ยงผงมีลักษณะเป็นผงสีแดงเข้ม และไม่จับตัวกันเป็นก้อน จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของมะเขี๋ยงผง (ตาราง 4.7) พบว่า ค่าสี L มีค่าสีออกคล้ำ ทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (อยู่ในช่วง 17.88 - 18.24) ค่าสี a* มีค่าเป็นสีแดง ทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (อยู่ในช่วง 43.25 - 44.89) และ b* มีค่าเป็นสีเหลือง ทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (อยู่ในช่วง 3.54 - 3.96) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมะเขี๋ยงผงทุกสิ่งทดลองใช้ระยะเวลาในการอบเท่ากันจึงทำให้ค่าสีมีค่าไม่แตกต่างกัน สำหรับความสามารถ

ในการคืนรูป (rehydration) ของน้ำมะเคียงผง ทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (อยู่ในช่วงร้อยละ 94.10 - 98.84) ด้านความสามารถในการละลายของน้ำมะเคียงผง พบว่า ทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (อยู่ในช่วง 2.22 - 2.37 นาที) ทั้งนี้การทำแห้งแบบโฟม-แมทจะช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมากจะเกิดการลอยตัวอยู่ที่ผิวหน้าของของเหลว และจากการที่มีอนุภาคที่เล็กจะทำให้ไม่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคเป็นผลให้น้ำไม่สามารถแทรกซึมผ่านระหว่างอนุภาคหรือแทรกซึมผ่านได้น้อย ทำให้อนุภาคไม่เปียกอย่างสม่ำเสมอ และเกิดการรวมเป็นก้อน โดยที่ผิวนอกเปียกแต่ภายในตรงกลางไม่เปียก จึงทำให้สมบัติการกระจายตัวเสียไป (Bockain *et al.*, 1957) ทำให้ใช้เวลานานในการละลาย ด้านความสามารถในการกระจายตัวของมะเคียงผงที่ค่า optical density (OD) ที่ 690 นาโนเมตร หมายถึง ความสามารถในการดูดซับแสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าวได้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของอนุภาคผง ซึ่งมีน้ำหนักเท่ากันในน้ำว่ากระจายตัวออกไปได้รวดเร็วเพียงใด เพื่อทำให้มีความหนาแน่นของอนุภาคผงในน้ำซึ่งปริมาตรและเวลาในการกระจายตัวเท่ากัน หากมีการกระจายตัวได้รวดเร็วจะมีความหนาแน่นสูงและดูดซับแสงเอาไว้ได้มาก ทำให้ค่า OD ที่วัดได้ตัวอย่างนั้นมีค่าสูง จากการทดลองพบว่า ค่า OD ที่วัดได้จากมะเคียงผงทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (อยู่ในช่วง 0.17 - 0.19) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมะเคียงผงมีอนุภาคใกล้เคียงกันทำให้มีความสามารถในการกระจายตัวออกไปในน้ำได้ในเวลาใกล้เคียงกัน ด้านปริมาณความชื้นทุกสิ่งทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (อยู่ในช่วงร้อยละ 2.49 - 2.70) และมีปริมาณน้ำอิสระในทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (อยู่ในช่วง 0.21 - 0.23)

สำหรับปริมาณผลผลิตที่ได้ พบว่า ทุกสิ่งทดลองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (อยู่ในช่วงร้อยละ 10.47 - 14.48) โดยมะเคียงผงที่เตรียมจากน้ำมะเคียงสดผสมสารละลาย (ความเข้มข้นร้อยละ 1) ของ Methocel ผสมกับ CMC ในปริมาณร้อยละ 47 มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุด และมีค่าใช้จ่ายในการผลิต คือ 437 บาทต่อกิโลกรัมมะเคียงผง โดยค่าใช้จ่ายในการผลิตมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณสารก่อให้เกิดโฟมที่ใส่ในปริมาณที่มากขึ้น

ตาราง 4.7 คุณภาพทางกายภาพของมะเขือเทศที่ผลิตโดยวิธีอบแห้งแบบโฟม-เมท

ชนิดของสารก่อให้เกิดโฟม (% โดยน้ำหนักของส่วนผสม)	ค่าสี L ^{ns}	ค่าสี a* ^{ns}	ค่าสี b* ^{ns}	ความสามารถในการคืนรูป ^{ns} (ร้อยละ)	การละลาย (นาฬิกา)	การกระจายตัว ^{ns}	ความชื้น ^{ns} (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ ^{ns}	ปริมาณผลผลิตที่ได้อุด ^{ns} (ร้อยละ)	ค่าใช้จ่ายในการผลิต (บาท/กิโลกรัม)
สารละลาย Methocel	44 17.88±0.32	44.69±0.45	3.96±0.23	98.84±0.23	2.34±0.98	0.19±0.04	2.63±0.72	0.23±0.08	24.36±0.25	443
ความเข้มข้นร้อยละ 1	54 18.21±0.35	44.58±0.47	3.75±0.24	97.23±0.48	2.37±0.78	0.19±0.06	2.49±0.73	0.22±0.05	23.18±0.35	468
	64 17.89±0.42	43.56±0.58	3.68±0.33	96.89±0.24	2.22±0.29	0.18±0.02	2.53±0.80	0.22±0.07	22.03±0.46	495
	74 18.12±0.61	44.87±0.78	3.87±0.34	96.56±0.26	2.28±0.32	0.17±0.02	2.84±0.64	0.23±0.09	21.23±0.40	517
	84 18.24±0.78	43.25±0.42	3.54±0.38	95.74±0.31	2.23±0.31	0.17±0.04	2.59±0.45	0.23±0.02	20.47±0.27	540
สารละลาย Methocel	47 17.95±0.46	43.98±0.58	3.81±0.30	97.86±0.30	2.32±0.40	0.19±0.04	2.66±0.52	0.23±0.04	24.48±0.24	437
+ CMC	57 18.02±0.47	44.85±0.61	3.94±0.44	96.75±0.35	2.29±0.27	0.19±0.02	2.65±0.61	0.23±0.05	23.82±0.99	451
ความเข้มข้นร้อยละ 1	67 18.11±0.65	44.55±0.69	3.79±0.41	95.78±0.40	2.25±0.25	0.17±0.01	2.70±0.44	0.22±0.02	23.07±0.75	468
	77 17.99±0.58	45.17±0.55	3.68±0.04	95.42±0.52	2.30±0.43	0.18±0.01	2.63±0.43	0.21±0.01	22.17±0.81	488
	87 18.22±0.61	44.89±0.12	3.94±0.13	94.10±0.16	2.33±0.26	0.18±0.05	2.65±0.52	0.22±0.01	21.13±1.02	513

หมายเหตุ ns หมายถึง ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)

จากผลิตภัณฑ์มะเข็ญผงที่ได้นำมาคั้นรูป โดยการนำมะเข็ญผงมาละลายน้ำปรับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 15 องศาบริกซ์ พบว่า น้ำมะเข็ญคั้นรูปที่ได้มีสีแดงเข้ม ออกม่วง (ตาราง 4.8) โดยมีค่าสี L มีค่าสีออกคล้ำ ทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่าง กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (อยู่ในช่วง 30.72 - 31.66) ค่าสี a* มีค่าเป็นสีแดง ทุก สิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (อยู่ในช่วง 48.65 - 49.20) และ b* มีค่าเป็นสีเหลือง ทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (อยู่ในช่วง 4.37 - 4.84)

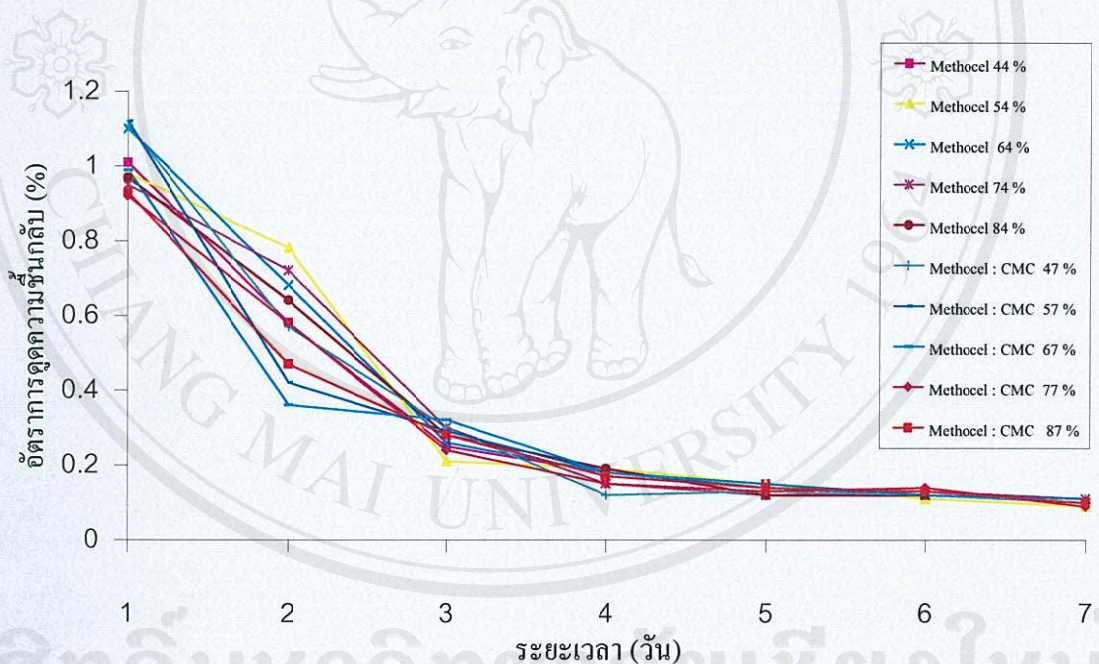
คุณภาพค้ำนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ทุกสิ่งทดลองมีค่าเท่ากันไม่มีความ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (มีค่าเท่ากับ 15 องศาบริกซ์) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (อยู่ในช่วง 3.20 - 3.26) มีปริมาณกรด (ในรูปกรดซิตริก) ทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (อยู่ในช่วงร้อยละ 0.37 - 0.40) โดยปริมาณกรดของน้ำมะเข็ญ คั้นรูปทุกสิ่งทดลองอยู่ในช่วงเดียวกับน้ำมะเข็ญพร้อมดื่มตามสูตรการผลิตน้ำมะเข็ญพร้อมดื่ม ของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตลำปาง ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.35 - 0.45 ปริมาณแอน- โทซียานินส์ ทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (อยู่ในช่วง 50.56 - 52.11 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสารประกอบฟีนอล (ในรูปกรดแกลลิก) ทุกสิ่งทดลองมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) (อยู่ในช่วง 235.11 - 239.84 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ตาราง 4.8 คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำมะกอกซึ่งผลิตโดยวิธีอบแห้งแบบไฟม-เมท

ชนิดของสารก่อให้เกิดโฟม (% โดยน้ำหนักของส่วนผสม)	คุณภาพทางกายภาพ			คุณภาพทางเคมี				
	ค่าสี L ^{ms}	ค่าสี a* ^{ms}	ค่าสี b* ^{ms}	ปริมาณของแข็ง ที่ละลายได้ ทั้งหมด ^{ms} (องศาบริกซ์)	ความเป็น กรด-ด่าง ^{ms}	ปริมาณกรด ^{ms} (ร้อยละ)	แอนโทซียานินสี ^{ms} (มก./ลิตร)	สารประกอบ ฟีนอล ^{ms} (มก./ลิตร)
สารละลาย Methocel	30.72±0.46	49.20±0.78	4.68±0.20	15.00±0.20	3.23±0.25	0.38±0.07	50.93±8.30	235.11±11.56
ความเข้มข้นร้อยละ 1	30.68±0.45	48.54±0.85	4.84±0.85	15.00±0.20	3.20±0.43	0.40±0.05	51.18±9.25	239.84±16.21
	31.39±0.37	48.65±1.02	4.59±0.74	15.00±0.20	3.22±0.45	0.38±0.05	51.19±7.94	238.24±18.22
	31.34±1.32	49.05±0.97	4.64±1.05	15.00±0.20	3.21±0.21	0.38±0.04	50.56±8.99	237.13±12.43
	31.66±0.89	49.18±0.92	4.38±1.19	15.00±0.20	3.23±0.24	0.37±0.06	51.08±5.08	237.52±17.11
สารละลาย	30.79±1.12	48.65±0.85	4.37±0.69	15.00±0.20	3.20±0.29	0.40±0.05	52.01±4.16	238.62±15.20
Methocel + CMC	30.90±1.20	49.19±0.79	4.48±0.99	15.00±0.20	3.25±0.98	0.39±0.01	51.52±8.55	239.48±16.43
ความเข้มข้นร้อยละ 1	30.85±1.11	48.95±0.70	4.65±0.24	15.00±0.20	3.21±0.17	0.40±0.01	50.72±7.85	237.13±17.41
	31.34±0.97	49.02±1.89	4.57±0.34	15.00±0.20	3.26±0.11	0.39±0.01	51.69±3.10	237.52±18.24
	31.06±1.18	49.11±1.88	4.62±0.01	15.00±0.20	3.24±0.46	0.38±0.02	52.11±4.09	239.62±11.05

หมายเหตุ ms หมายถึง ข้อมูล ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P>0.05)

จากการทดสอบการดูดความชื้นกลับของผลิตภัณฑ์มะกึ่งผงของทั้ง 10 สิ่งทดลอง โดยการเก็บมะกึ่งผงที่อุณหภูมิห้อง และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 78 เป็นเวลา 7 วัน พบว่า มะกึ่งผงมีความสามารถในการดูดความชื้นกลับได้สูงในช่วง 3 วันแรก (ภาพ 4.2) อาจเกิดเนื่อง จากความแตกต่างของความชื้นมะกึ่งผงกับความชื้นของอากาศมีมากในช่วง 2 วันแรกที่ทำ การทดลอง และในวันที่ 4 เมื่อมะกึ่งผงดูดความชื้นมากแล้วใน 3 วันแรก ความแตกต่างของ ความชื้นจึงน้อยลงทำให้มะกึ่งผงมีอัตราการดูดความชื้นกลับลดลง นอกจากนี้มอลโตเด็คซ์- ตรินที่มีในส่วนผสมยังมีคุณสมบัติดูดความชื้นได้ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากมอลโตเด็คซ์-ตรินมีปริมาณ โมโนแซคคาไรด์น้อย จึงทำให้คุณสมบัติการดูดความชื้นน้อย (Dow Chemical company, 1962) และในช่วงวันที่ 5 ถึงวันที่ 7 พบว่า มะกึ่งผงทุกสิ่งทดลองมีการดูดความชื้นกลับได้ต่ำมาก อาจ เนื่องจากความชื้นในมะกึ่งผงเริ่มเท่ากับความชื้นในอากาศระบบจึงเข้าสู่สมดุลความชื้น



ภาพ 4.2 อัตราการดูดความชื้นกลับของมะกึ่งผงที่ผลิตโดยวิธีอบแห้งแบบโพร-แมทในระหว่าง การเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 78

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำมะกึ่งพร้อมดื่มหลังคืนรูป โดยใช้ ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คน พบว่า ลักษณะปรากฏ สีน้ำมะกึ่ง และกลิ่นมะกึ่ง สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตาราง 4.9) แต่ด้านรสชาติ รวม สิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยน้ำมะกึ่งคืนรูปจาก

เมื่อพิจารณาผลการทดลองที่ได้จะเห็นได้ว่าสารละลาย (ความเข้มข้นร้อยละ 1) ของ Methocel ผสมกับ CMC ในปริมาณร้อยละ 47 เป็นสารที่ก่อให้เกิดโฟมเหมาะสมที่สุดที่จะถูกเลือกเพื่อนำไปใช้ในการผลิตน้ำมะเข็ญผงโดยวิธีอบแห้งแบบโฟม-แมท เนื่องจากค่าความคงตัวของโฟม ปริมาณน้ำอิสระ ความชื้น ความสามารถในการคืนรูป การละลาย การกระจายตัว ค่าสี L a^* b^* ของมะเข็ญผง ค่าพีเอช ปริมาณกรด (ในรูปกรดซิตริก) สารประกอบฟีนอล (ในรูปกรดแกลลิก) แอนโทไซยานินส์ ค่าสี L a^* b^* ของน้ำมะเข็ญคืนรูป ทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนค่าความหนาแน่นของโฟม ค่า overrun ของโฟม ปริมาณผลผลิตที่ได้ และค่าใช้จ่ายในการผลิตการผลิต สิ่งทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) โดยสารละลาย (ความเข้มข้นร้อยละ 1) ของ Methocel ผสมกับ Methyl cellulose ในปริมาณร้อยละ 47 อยู่ในเกณฑ์สูงและดีที่สุด คือ มีความหนาแน่นของโฟมน้อย คือ 0.44 กรัมต่อมิลลิลิตร ค่า overrun ของโฟมสูง คือร้อยละ 690.07 ปริมาณผลผลิตที่ได้สูงที่สุด คือร้อยละ 24.48 และมีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุดคือ 437 บาท ต่อกิโลกรัมมะเข็ญผง

4.3 เปรียบเทียบคุณภาพของมะเข็ญผงโดยวิธีเคลือบผิวน้ำตาลและวิธีอบแห้งแบบโฟม-แมท กับน้ำมะเข็ญพร้อมดื่ม

จากมะเข็ญผงที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 4.1 และ 4.2 ซึ่งประกอบด้วยมะเข็ญผงที่ผลิตโดยวิธีเคลือบผิวน้ำตาลที่ใช้ปริมาณน้ำมะเข็ญสกัดร้อยละ 50 โดยปริมาตรต่อน้ำหนักของน้ำตาลและมะเข็ญผงที่ผลิตโดยวิธีอบแห้งแบบโฟม-แมท ที่เตรียมจากน้ำมะเข็ญสกัดผสมสารละลาย (ความเข้มข้นร้อยละ 1) ของ Methocel ผสมกับ CMC ในปริมาณร้อยละ 47 นำมาคืนรูป โดยการนำมะเข็ญผงมาละลายน้ำปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 15 องศาบริกซ์ เปรียบเทียบคุณภาพกับผลิตภัณฑ์น้ำมะเข็ญพร้อมดื่มที่มีการวางขายในตลาดซึ่งผลิตจากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตลำปาง (วช.ลป.) พบว่า ค่าสี L a^* b^* ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรด มีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($P>0.05$) (ตาราง 4.10) ยกเว้นปริมาณแอนโทไซยานินส์ และสารประกอบฟีนอล (ในรูปกรดแกลลิก) มีค่าแตกต่างกันในทางสถิติ ($P\leq 0.05$) โดยน้ำมะเข็ญที่ผลิตจาก วช.ลป. มีปริมาณแอนโทไซยานินส์ และสารประกอบฟีนอล (ในรูปกรดแกลลิก) สูงที่สุด คือ 57.71 และ 248.59 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ รองลงมา คือ มะเข็ญผงที่ผลิตโดยวิธีอบแห้งแบบโฟม-แมท และวิธีเคลือบผิวน้ำตาล ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสัดส่วนของน้ำมะเข็ญสกัดที่ใช้ในการผลิตทั้ง 3 สิ่งทดลองมีปริมาณแตกต่างกัน จึงส่งผลถึงปริมาณแอนโทไซยานินส์ และสารประกอบฟีนอล (ในรูปกรดแกลลิก) ในผลิตภัณฑ์น้ำมะเข็ญ

เมื่อทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 15 คน พบว่า ด้านลักษณะปรากฏ สีน้ำมะเข็ญ และกลิ่นมะเข็ญ ทั้ง 3 สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่ด้านรสชาติรวม และการยอมรับรวม น้ำมะเข็ญซึ่งผลิตจาก วข.ลป ได้รับคะแนนสูงที่สุด คือ 4.72 และ 4.63 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันในทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับน้ำมะเข็ญคั้นรูปทั้ง 2 ชนิด จากการทดลองถึงแม้ว่าด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นน้ำมะเข็ญคั้นรูปจะไม่มี ความแตกต่างกับน้ำมะเข็ญพร้อมดื่มจาก วข.ลป. แต่ด้านรสชาติรวม ผู้บริโภคยังคงแยกความแตกต่างของน้ำมะเข็ญได้ จึงส่งผลให้การยอมรับรวมยังคงมีความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลอง แต่ผู้บริโภคยังสามารถยอมรับในน้ำมะเข็ญคั้นรูปทั้ง 2 ชนิด ทั้งรสชาติรวม และการยอมรับรวมอยู่ในเกณฑ์สูง (อยู่ในช่วง 4.45 - 4.63) หากพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการผลิตในรูปของน้ำมะเข็ญคั้นรูป เปรียบเทียบระหว่างมะเข็ญผงที่ผลิตโดยวิธีเคลือบผิวน้ำตาล และวิธีอบแห้งแบบโฟม-เมท กับน้ำมะเข็ญพร้อมดื่มซึ่งผลิตจาก วข.ลป. พบว่า มีค่าใช้จ่ายในการผลิตเท่ากับ 24 66 และ 30 บาทต่อลิตร (น้ำมะเข็ญ) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณากรรมวิธีการผลิต ได้แก่ อุปกรณ์ เครื่องมือ ความยากง่าย และความซับซ้อนของขั้นตอนการผลิต และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัส รวมถึงค่าใช้จ่ายค่าในการผลิตต่อกิโลกรัมมะเข็ญผง สรุปได้ว่า การผลิตมะเข็ญผงโดยวิธีเคลือบผิวน้ำตาลมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปผลิตในทางการค้า เนื่องจากการผลิตมะเข็ญผงโดยวิธีนี้มีขั้นตอนการผลิตที่ง่ายไม่ยุ่งยาก และใช้เทคโนโลยีไม่มาก สามารถเป็นแนวทางในการขยายกำลังผลิตเสริมเข้าไปในโรงงาน มะเข็ญผงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา มีความชื้นต่ำกว่าปกติประมาณร้อยละ 5 ทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญขึ้นได้ และสามารถเก็บไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้อง สะดวกต่อการขนส่งทางการค้า การบรรจุหีบห่อ ด้านการบริโภคจะทำได้ง่ายเพียงแต่ชงกับน้ำเย็นหรือน้ำร้อนก็สามารถดื่มได้ทันที เป็นการเพิ่มความสะดวกในการบริโภค ด้านคุณภาพทางกายภาพ และเคมีของน้ำมะเข็ญคั้นรูป เมื่อเปรียบเทียบกับ 2 วิธี พบว่าคุณภาพโดยรวมมีค่าใกล้เคียงกัน และน้ำมะเข็ญคั้นรูปมีค่าใช้จ่ายเพียง 24 บาทต่อลิตร อีกทั้งผู้บริโภคมีการยอมรับอยู่ในเกณฑ์สูง

ตาราง 4.10 ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของมะเกี๋ยง ผง โดยวิธีเคลือบผิวน้ำตาลและวิธีอบแห้งแบบโฟม-แมท กับน้ำมะเกี๋ยงพร้อมดื่มจาก สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตลำปาง (วช.ลป.)

ลักษณะคุณภาพ	น้ำมะเกี๋ยง		
	วช.ลป.	วิธีเคลือบผิว น้ำตาล	วิธีอบแห้งแบบ โฟม-แมท
ทางกายภาพ			
ค่าสี			
L ^{ns}	28.56±4.20	30.24±0.20	30.79±1.12
a* ^{ns}	43.82±7.04	47.22±1.04	48.65±0.85
b* ^{ns}	3.24±0.28	5.24±0.21	4.37±0.69
ทางเคมี			
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ^{ns} (องศาบริกซ์)	14.80±0.20	15.00±0.20	15.00±0.20
ความเป็นกรด-ด่าง ^{ns}	3.16±0.50	3.28±0.70	3.20±0.29
ปริมาณกรด (ในรูปกรดซิตริก) ^{ns} (ร้อยละ)	0.38±0.02	0.40±0.04	0.40±0.05
แอนโทไซยานินส์ (มก./ลิตร)	57.71 ^a ±5.42	27.41 ^b ±1.42	52.01 ^a ±4.16
สารประกอบฟีนอล (ในรูปกรดแกลลิก) (มก./ลิตร)	248.59 ^a ±12.90	98.50 ^b ±9.90	238.62 ^a ±15.20
ทางประสาทสัมผัส			
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	4.23±0.54	4.20±0.63	4.21±0.99
สีน้ำมะเกี๋ยง ^{ns}	4.52±0.84	4.47±0.12	4.46±0.57
กลิ่นมะเกี๋ยง ^{ns}	4.41±0.29	4.37±1.10	4.37±1.10
รสชาติรวม	4.72 ^a ±0.33	4.63 ^{ab} ±0.67	4.56 ^b ±0.44
การยอมรับรวม	4.63 ^a ±0.98	4.50 ^b ±1.19	4.45 ^b ±0.18

หมายเหตุ 1. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอนอักษรที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

2. ns หมายถึง ข้อมูลไม่มีความแตกต่างต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$)