1. บทนำ

มะขามเปรี้ยวเป็นพืชที่สำคัญชนิดหนึ่ง ซึ่งการจำหน่ายผลผลิตนอกจากใช้บริโภคภายในประเทศแล้ว ยังสามารถส่งออกไปต่างประเทศในรูปของมะขามเปียก แต่ปัญหาของมะขามเปียกเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานคือ สีของมะขามจะเปลี่ยนเป็นสีคล้ำดำ เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่เกี่ยวข้องกับเอ็นไซม์ (non-enzymatic browning) และยังมีปัญหาการรบกวนจากแมลงและเชื้อรา การเก็บรักษามะขามเปียกในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 5-7 องศาเซลเซียส สามารถเก็บรักษามะขามเปียกได้ 9-12 เดือน ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก (ภคนี, 2533) ฉะนั้นถ้าสามารถแปรรูปมะขามเปียกให้เป็นมะขามผงก็เป็นกระบวนการแปรรูปที่น่าสนใจ เพราะสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้นานและมีความสม่ำเสมอของคุณภาพ นอกจากนี้ยังสะดวกในการเก็บรักษาและการขนส่ง สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องแกงสำเร็จรูป การผลิตลูกอมสมุนไพร การผลิตน้ำมะขาม การผลิตน้ำจิ้มหรือซอส และใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์ เป็นต้น

วิธีการอบแห้งมีหลายวิธี ซึ่งการอบแห้งแบบโฟม(Foam-mat drying)ก็เป็นวิธีการหนึ่งที่อบแห้งโดยการทำให้วัตถุดิบเกิดลักษณะเป็นโฟม (foam) ที่คงตัวในระหว่างการอบแห้ง โดยการตีปั่นเติมอากาศเข้าไปและเติมสารที่ช่วยให้โฟมคงตัว (foam stabilizer) จากนั้นนำโฟมที่ได้เกลี่ยเป็นชั้นบางๆ อบแห้งโดยลมร้อน (air drying) ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุน เมื่อนำไปบดเป็นผงจะสามารถทำให้กลับคืนรูปเดิมได้เร็วมาก และสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้เนื่องจากใช้เวลาสั้นลงในการอบแห้ง (สมชาติ, 2537) ฉะนั้นเทคโนโลยีการอบแห้งแบบโฟม จึงเป็นการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่มีราคาไม่สูงมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) หรือการใช้เครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็ง (Freezed dryer) และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมขนาดย่อมหรืออุตสาหกรรมชุมชนได้อีกด้วย

2. วัตถุประสงค์

2.1 ศึกษากระบวนการผลิตมะขามผงโดยการอบแห้งแบบโฟม

2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งแบบโฟม

2.3 ศึกษาคุณภาพของมะขามผงที่ได้จากการอบแห้งแบบโฟม

3. การตรวจเอกสาร

3.1 มะขาม

มะขามมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Tamarindus indica* L.ชื่อวงศ์ Leguminosae (Fabaceae) – Caesalpinioideae ชื่ออังกฤษ Indian date, Tamarind และชื่อท้องถิ่นตะลูบ ม่องโคล้ง มอดแล ส่ามอเกล หมากแกง อำเปียล มะขามเป็นพืชพื้นเมืองในเขตร้อนของเอเชียและอัฟริกา และเป็นพืชวงศ์ถั่วเช่นเดียวกับผักกะเฉด มันแกว มะขาม ถั่วเหลือง ถั่วพู และถั่วอื่นๆ ปัจจุบันประเทศแถบละตินอเมริกาส่งออกมะขามในน้ำเชื่อม แต่ทางอินเดียผลิตมะขามคลุกเกลือ ชาวเอเชียนิยมผสมมะขามในซอส แกง ทำเครื่องดื่มน้ำมะขาม มะขามแช่อิ่ม และมะขามแก้ว ในบ้านเราใช้มะขามเปียกใส่แกงส้ม และน้ำพริกแกง ส่วนมะขามสกัดเข้มข้นใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตซอส เช่น ซอสวูสเตอร์ และผสมลูกกวาดและทอฟฟี่ มะขามเป็นไม้ต้นไม่ผลัดใบ สูงได้ถึง 30 เมตร ทรงพุ่มกลมเปลือกหยาบ เป็นร่อง ใบประกอบแบบขนนก เรียงสลับ มีหูใบ และก้านใบ ใบย่อยรูปขอบขนานแคบ ขอบใบเรียบ ช่อดอกออกที่ซอกใบและปลายกิ่ง ดอกมีกลิ่นหอม กลีบเลี้ยง 4 มีขนาดไม่เท่ากัน กลีบดอก 5 กลีบ กลีบบนและกลีบข้างมีขนาดใหญ่ และเด่นสะดุดตา สีเหลืองนวลและมีเส้นใบสีแดงปนน้ำตาล อีก 2 กลีบลดรูป เป็นรูปแถบ สีขาว เกสรเพศเมีย 3 เกสรเพศเมีย 1 ผลรูปกึ่งทรงกระบอก อาจแบนด้านข้าง ผลเป็นฝักหักข้อ ผนังผลชั้นนอกเปราะ ผนังผลชั้นกลางเป็นเนื้อนุ่มสีน้ำตาล มีรสเปรี้ยวหรือหวาน (สำนักงานข้อมูลสมุนไพร, 2553; คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2553)

มะขามเปรี้ยวเป็นพืชที่ปลูกได้ง่าย สามารถขึ้นได้ดี ในดินแทบทุกชนิด ประกอบกับเป็นพืช ที่มีความสำคัญ ทางเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถส่งเป็นสินค้าออก ทำรายได้เข้าประเทศปีละหลายล้านบาท สถาบันวิจัยพืชสวน โดย ศูนย์วิจัยพืชสวน ศรีสะเกษ จึงได้ทำการรวบรวมต้นแม่พันธุ์มะขามเปรี้ยว ที่มีลักษณะการให้ผลผลิตสูงและคุณภาพดี จากแหล่งปลูกต่างๆ ที่สำคัญของประเทศ โดยในปี พ.ศ. 2537 ได้นำยอดพันธุ์ของต้นแม่พันธุ์เหล่านั้น มาเสียบกับต้นตอในแปลงรวบรวมพันธุ์มะขามเปรี้ยว ซึ่งปลูกไว้เมื่อปี พ.ศ. 2526 จากนั้นทำการบันทึก ข้อมูลต่างๆ เพื่อใช้ในการคัดเลือกให้ได้ต้นแม่พันธุ์มะขามเปรี้ยวพันธุ์ดีโดยกำหนดหลักเกณฑ์ที่สำคัญ ในการเลือกพันธุ์มะขามเปรี้ยวไว้ดังนี้ กล่าวคือ ลักษณะทรงพุ่มเป็นทรงกระบอกหรือทรงกลม มีการเจริญเติบโตดีให้ผลผลิตสูงสม่ำเสมอ ฝักมีขนาดใหญ่และตรงยาวไม่น้อยกว่า 10 เซนติเมตร เปลือกหนาฝักไม่แตกง่าย มีเนื้อมากไม่น้อยกว่าร้อยละ 45 ขึ้นไป มีเมล็ดร้อยละ 33.9 เปลือกกับรกร้อยละ 11.1 เนื้อสีอำพัน เปอร์เซ็นต์ กรดทาร์ทาริค (ความเปรี้ยว) สูงมากกว่าร้อยละ 12 ปรากฏว่าจากการบันทึกข้อมูลประมาณ 8 ปี (ถึง พ.ศ. 2536) สามารถคัดเลือกต้นแม่พันธุ์มะขามเปรี้ยวพันธุ์ดี ที่ให้ผลผลิตสูง และคุณภาพดีตรงตามหลักเกณฑ์ การคัดเลือกพันธุ์เป็นที่น่าพอใจ จึงตั้งชื่อว่า "มะขาม

เปรี้ยวศรีสะเกษ" (ศก.019) ปี 2537 กรมวิชาการเกษตรได้ประกาศให้ มะขามเปรี้ยว ศก.019 เป็นพันธุ์แนะนำ มะขามเปรี้ยวจหลังจากเก็บเกี่ยวแล้วนำฝักมะขามเปรี้ยวมาแกะเอาเปลือกและเมล็ดออก จากนั้นนำเนื้อมะขาม ที่แกะได้เรียกว่า มะขามเปียก บรรจุลงในภาชนะต่างๆ เช่น ถุงพลาสติก หรือ เข่ง เพื่อจำหน่ายต่อไป สำหรับวิธีการเก็บรักษามะขามเปียกไว้นานๆ เพื่อจะนำมาจำหน่ายในช่วงที่มีราคาสูง โดยที่เนื้อมะขาม ไม่เปลี่ยนเป็นสีคล้ำทำได้โดย การนำมะขามเปียกที่บรรจุในภาชนะ ไปเก็บไว้ในห้องเย็นที่อุณหภูมิต่ำ คือ 5 อาศาเซลเซียส ซึ่งสามารถชะลอการเกิดสีดำของเนื้อมะขามได้ประมาณ 10 เดือน (ศูนย์วิจัยพืชสวนศรีสะเกษ, 2546)

ปัจจุบันมะขามเปรี้ยวมีบทบาทในตลาดส่งออกมากขึ้น โดยในปี 2544 มีพื้นที่ปลูกประมาณ 105,329 ไร่ ผลผลิตประมาณ 56,586 ตัน แหล่งผลิตที่สำคัญ จะอยู่ในเขตภาคเหนือตอนล่าง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันตก โดยฤดูกาลผลิตมะขามเปรี้ยวจะเก็บเกี่ยวได้ประมาณเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ราคาของมะขามเปียกแกะเมล็ดในปี 2540-2552 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ราคามะขามเปียกแกะเมล็ดในปี 2540-2552

ปี	ราคาเฉลี่ยต่อกิโลกรัม
2440	21.25
2541	26.88
2542	60.62
2543	31.03
2544	25.99
2545	32.34
2546	27.26
2547	28.00
2548	34.81
2549	45.42
2550	28.16
2551	39.19
2552	39.24

ที่มา: กรมการค้าภายใน (2553)

ตลาดส่งออกที่สำคัญได้แก่ มาเลเซีย อินโดนีเซีย สิงค์โปร์ สหรัฐอเมริกา แคนาดา และประเทศแถบตะวันออกกลาง เป็นต้น โดยส่งออกในรูปมะขามเปียกแห้งและผลิตภัณฑ์แปรรูป ส่วนปัญหาด้านการผลิตและการตลาด คือ ผลผลิตมีคุณภาพต่ำและมีโรคแมลงติดไปกับฝักหลังการเก็บเกี่ยว กรมวิชาการเกษตร (2553) จึงได้แนะนำการเก็บเกี่ยวและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวในแปลงของมะขามดังนี้

ก. การเก็บเกี่ยว ให้ปฏิบัติดังนี้

1) เก็บเกี่ยวมะขามที่ระยะเหมาะสม สังเกตจากสีเปลือกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล สีนวล หรือสีทองทั้งฝัก แล้วแต่พันธุ์ ขั้วแห้ง เมื่อทดลองใช้นิ้วดีดฝักมะขามเบาๆ จะมีเสียงโพรกไม่แน่นทึบ เพราะเนื้อมะขามยุบตัวแยกออกจากเปลือก จึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเนื้อและเปลือก หรือมีอายุประมาณ 7-8 เดือนหลังดอกบานแล้วแต่พันธุ์ กรณีต้องการเก็บเกี่ยวเพื่อส่งโรงงานแปรรูปหรือแช่อิ่มหรือแปรรูปอื่นๆ ต้องเก็บเกี่ยวเมื่อฝักมีอายุ 5-7 เดือนหลังดอกบานหรือตามความต้องการของผู้รับซื้อ

2) เก็บเกี่ยวด้วยความระมัดระวัง โดยใช้กรรไกรที่สะอาดและคมตัดขั้วมะขามทีละฝัก

3) รวบรวมฝักมะขามที่เก็บเกี่ยวแล้วใส่ภาชนะบรรจุที่สะอาด ป้องกันการซ้อนทับเพราะจะทำให้ฝักแตกร้าว แล้วขนย้ายไปยังโรงเรือนภายในแปลง หรือในที่ร่มที่มีอากาศถ่ายเททันที

ข. การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว

1) การขนย้ายผลิตผลมะขามจากบริเวณที่เก็บเกี่ยวไปยังโรงเรือนภายในแปลง หรือในที่ร่ม ด้วยความระมัดระวังทันทีที่เก็บเกี่ยวเสร็จ

2) คัดแยกฝักที่เสียหายจากการเก็บเกี่ยวและจากการขนย้าย ฝักที่มีรอยแตกร้าว หรือมีตำหนิจากการเข้าทำลายของโรคและแมลงแยกไว้ และนำไปใช้ประโยชน์ตามคำแนะนำหรือแผนที่กำหนดไว้

3) คัดขนาดฝักมะขามเปรี้ยวตามความต้องการของแต่ละตลาด อย่างระมัดระวัง มิให้ฝักมีรอยแตกร้าว ตัดขั้วฝักให้มีความยาวขั้วประมาณ 0.5 เซนติเมตร

4) นำฝักมะขามเปรี้ยวที่คัดขนาดแล้วผึ่งลมประมาณ 2-5 วัน จะเก็บรักษาไว้ได้นานประมาณ 20 วัน หากผึ่ง-ลมนานประมาณ 10-15 วัน ก็จะเก็บรักษาไว้ได้นานประมาณ 60 วัน จากนั้นขนส่งไปยังแหล่งรวบรวม หรือผู้รับซื้อ หรือผู้จัดจำหน่ายหรือจำหน่ายทันที

3.2 การอบแห้งแบบโฟม

3.2.1 หลักการอบแห้งแบบโฟม

การอบแห้งแบบโฟมอาศัยหลักการของการเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับอาหาร ที่จะสัมผัสกับอากาศร้อน ทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น สามารถทำให้อาหารแห้งได้ภายใน 10-20 นาที การทำให้เกิดโฟมทำได้โดยการตีหรือการกวนด้วยความเร็วสูงๆหรือโดยการพ่นอากาศ เพื่อเติมลงไปจะทำให้อาหารเหลวแตกตัวมีอากาศแทรกตัวเป็นฟอง ซึ่งความคงตัวของโฟมขึ้นกับคุณสมบัติของอาหาร

แต่ละประเภท สำหรับอาหารที่ไม่สามารถเกิดฟองหรือโฟมได้จากการตีหรือการกวนอย่างเดียว ต้องใส่สารเคมีกลุ่มที่สามารถลดค่าแรงตึงผิวซึ่งมีหลายชนิดแตกต่างกันตามความสามารถในการทำให้เกิดโฟมและการทำให้โฟมคงตัว ซึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Foaming agent (สมบัติ, 2529) ได้มีงานวิจัยต่างๆที่ใช้วิธีการอบแห้งแบบโฟมดังนี้

Gunther (1964) ได้ทดลองอบแห้งกล้วยแบบโฟม โดยใช้ Methocel ชนิด methycellulose ตีปั่นส่วนผสมให้เกิดโฟม และตรวจสอบโฟมให้มีความหนาแน่น 0.27 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นำโฟมมาเกลี่ยบนถาด teflon อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 77 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง การใช้ถาดที่เคลือบ teflon เพื่อป้องกันกล้วยแห้งเหนียวติดถาดและลอกออกยาก เนื่องจากกล้วยมีปริมาณน้ำตาลสูง และสามารถดูดความชื้นกลับได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ Morgan *et al.* (1961) ได้แนะนำให้ใช้แผ่นพลาสติกชนิดโพลีเอทธิลีนปูรองถาดก่อนเกลี่ยโฟมลงไป เพื่อป้องกันการแห้งเหนียวติดถาดได้เช่นกัน

กัลยาณี (2540) ได้ทดลองผลิตกล้วยหอมผงโดยการอบแห้งแบบโฟมและแบบพ่นฝอย โดยการอบแห้งแบบโฟมได้เปรียบเทียบสารช่วยให้โฟมคงตัว 2 ชนิดคือ Methocel (อนุพันธ์ dimethyl ether ของ cellulose) และ Myvatex (ประกอบด้วย distilled monoglycerides , distilled propylene glycol monostearate , sodium stearoyl lactylate และ silicon dioxide) จากผลการทดลองพบว่าการใช้ Methocel เป็นสารช่วยให้โฟมคงตัวมีประสิทธิภาพดีกว่า Myvatex โดยใช้ Methocel ปริมาณร้อยละ 0.9 ของน้ำหนักแห้งกล้วย นำโฟมที่ได้ไปอบแห้งที่ 75 องศาเซลเซียส โดยใช้ตู้อบลมร้อนแบบชั้น เปรียบเทียบคุณภาพของกล้วยผงที่ได้จากการอบแห้งแบบโฟมกับการอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งแบบโฟมมีความสามารถในการกระจายตัว ความสามารถในการละลายน้ำ และดูดความชื้นกลับได้ดีกว่าการอบแห้งแบบพ่นฝอย

Akimtoye และ Oguntunde (1991) ได้ทดลองอบแห้งนมถั่วเหลือง โดยการอบแห้งแบบโฟม พบว่าหากใช้ปริมาณสารที่ช่วยให้โฟมคงตัว คือ Glyceryl distearate (GDS) ในปริมาณที่สูงขึ้น มีผลทำให้โฟมมีความหนาแน่นต่ำลง และใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง เนื่องจากโฟมมีฟองอากาศที่ละเอียดและสม่ำเสมอและมีพื้นที่ผิวที่จะเกิดการระเหยของน้ำมาก ทำให้น้ำในโฟมซึ่งอยู่ในรูปฟิล์มบางๆสามารถระเหยไปได้ง่ายและต่อเนื่อง นอกจากนี้สารช่วยให้โฟมคงตัวยังทำหน้าที่พยุงโครงสร้างของโฟมไว้ไม่ให้ยุบตัวลงมาขณะอบแห้ง

Beristain และคณะ (1993) ได้ทดลองผลิตเครื่องดื่มผงจากน้ำสกัดจากดอกของ *Hibiscus sabdariffa L.* ด้วยการอบแห้งแบบโฟม โดยใช้สารช่วยให้โฟมคงตัว 2 ชนิด คือ Sorbitan monostearate และ Polyoxyethylene Sorbitan monostearate และใช้มอลโทเด็กซ์ทรินร้อยละ 5 เพื่อเป็นตัวพา (carrier)ในการอบแห้ง พบว่าการใช้สารช่วยให้โฟมคงตัวที่ร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักแห้ง

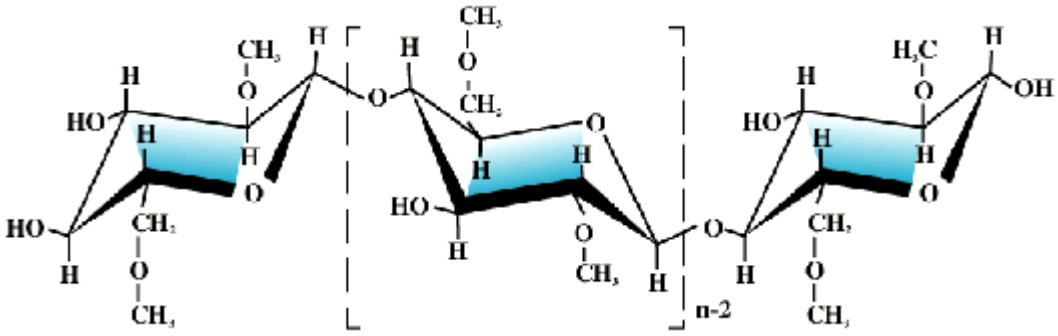
เกลี่ยโฟมหนา 4 มิลลิเมตร และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 75 นาที จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีที่สุด

3. 2.2 สารที่ช่วยให้เกิดโฟม (foaming agent) หรือสารที่ช่วยให้โฟมคงตัว(foaming stabilizer)

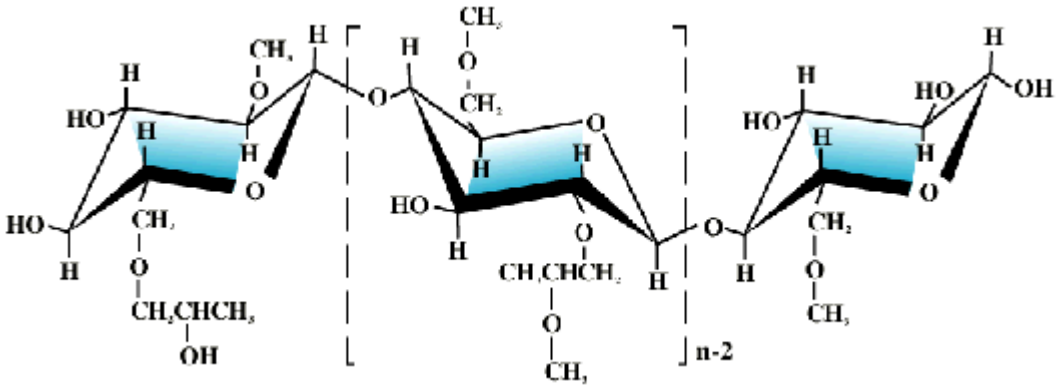
เป็นสารประกอบที่ช่วยทำให้เกิดสภาพโฟมขึ้นภายในของไหล ขณะเดียวกันยังช่วยรักษาสภาพโฟมไว้ให้คงตัวอยู่ได้นาน โดยไม่แตกหรือแยกออก ซึ่งสารเหล่านี้เมื่อเติมลงไปในของไหลจะทำให้ของไหลนั้นอุ้มอากาศไว้ภายในได้มากขึ้น เมื่อมีการตีปั่นเติมอากาศเข้าไปจึงเกิดสภาพเป็นโฟมขึ้นมา ปกติโมเลกุลของสารที่ช่วยให้เกิดโฟมนั้นประกอบไปด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) โดยส่วนที่ชอบน้ำจะเป็นพวกอนุมูลอิสระที่มีประจุอยู่ เช่น OH^-, COO^-, HN_2^+ และ N^+ เป็นต้น ส่วนพวกที่ไม่ชอบน้ำจะเป็นพวกอนุมูลอิสระที่มีพันธะคาร์บอนอะตอมที่มีสายยาวๆ (aliphatic carbon chain) (สมบัติ,2529)

จากข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยหลายชิ้นดังกล่าวข้างต้น เห็นว่าได้ว่าเมทโทเซลเป็นสารที่ช่วยให้โฟมเกิดความคงตัวที่ดีโดย บริษัท Dow Chemical ซึ่งเป็นผู้ผลิต เมทโทเซล ในประเทศสหรัฐอเมริกาให้คำจำกัดความว่า เมทโทเซล เป็นสารช่วยให้โฟมคงตัวชนิดหนึ่ง โดยมีสายโพลิเมอร์ของเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบเคมีหลัก ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา มีลักษณะเป็นผงที่มีความบริสุทธิ์สูง และให้พลังงานต่ำ ไม่ให้กลิ่นรสกับอาหารที่ถูกเติมลงไปและใช้ในปริมาณน้อยเท่านั้น เมทโทเซลมีคุณสมบัติเป็นสารยึดเกาะ (binders) สารช่วยให้เกิดการแขวนลอย (suspension agent) สารช่วยให้อีมัลชั่นคงตัว (emulsifier) สเตบิไลเซอร์ (stabilizer) และสารป้องกันไม่ให้สารแขวนลอยแยกตัว (protective colloid) นอกจากนั้นยังแสดงคุณสมบัติเป็นสารหล่อลื่น รักษาความชื้นให้กับอาหาร ที่สำคัญคือ เมทโทเซล เป็นกัมที่มีคุณสมบัติเป็นเจลที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ สามารถทำหน้าที่เป็นสารตึงผิว ทำให้เกิดสภาพเป็นฟิลม์ขึ้นในอาหารได้ที่อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีในการเป็นสารช่วยทำให้เกิดโฟมคงตัวในอาหารที่ต้องการทำแห้งแบบโฟม เมทโทเซลสามารถแบ่งได้ตามชนิดของ cellulose ethers ภายในองค์ประกอบทางเคมีเป็น 2 ชนิดคือ methylcellulose (MC) และ hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) โดยโครงสร้างทางเคมีของ เมทโทเซล ทั้ง 2 ชนิดแสดงในภาพที่ 1

A



B



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของสารเมทโทเซล ชนิด Methylcellulose (A)
และ ชนิด Hydroxypropyl methylcellulose (B)

ที่มา : Dow Chemical Company (2010)

ความแตกต่างของเมทโทเซลชนิดต่างๆเกิดจากการผันแปรในสัดส่วนของหมู่แทนที่ที่เป็น hydroxypropyl กับ methoxyl ซึ่งสัดส่วนดังกล่าวนี้จะทำให้ความสามารถในการละลาย ความหนืด และอุณหภูมิการเกิดเจล (thermal gel point) ของสารละลายเมทโทเซลแตกต่างออกไป ซึ่งสามารถแบ่งออกตามค่าระดับการแทนที่ (degree of substitution, D.S) ซึ่งหมายถึงปริมาณโดยเฉลี่ยของหมู่แทนที่ ที่ทำปฏิกิริยาแทนที่กับวงแหวนตรงบริเวณหมู่ hydroxyls ของ anhydroglucose units หากมีการแทนที่ 2 แห่งเรียก D.S. =2 เป็นต้น เมทโทเซลชนิด A จะมีเฉพาะหมู่ methoxyl เท่านั้นที่เป็นหมู่แทนที่ ส่วนเมทโทเซลชนิด E, F, K ยังคงมีหมู่ methoxyl เป็นหมู่หลักในปฏิกิริยาการแทนที่แต่จะมีหมู่ hydroxypropyl มาแทนที่ในจำนวนที่แตกต่างกันออกไป ความหนืดของสารละลายเมทโทเซลเริ่มตั้งแต่ 3-100,000 centipoise

เมทโทเซลละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องได้ไม่ดีนัก แต่สามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำร้อนซึ่งต้องมีอุณหภูมิของน้ำสูงเกินค่าเฉพาะค่าหนึ่ง และหลังจากเมทโทเซลกระจายตัวในน้ำและทุกอนุภาคเปียกแล้ว การละลายของเมทโทเซลจะเกิดขึ้นต่อเมื่อทำการลดอุณหภูมิของน้ำให้ต่ำลง

ปรากฏการณ์เกิดเจลของเมทโทเซลที่บริเวณ interfacial ของอาหารที่มีสภาพอิมัลชั่นเกิดขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของเมทโทเซลซึ่งมีลักษณะเป็นสายโพลิเมอร์เคลื่อนที่ไปยังบริเวณช่องว่างระหว่างอากาศกับน้ำ (air/water interface) ในอาหาร และเกิดเจลขึ้นซึ่งมีลักษณะเป็นฟิล์มบางๆยึดเกาะบริเวณนี้ไว้ ทำให้สภาพอิมัลชั่นหรือในที่นี้คือสภาพโฟมมีความแข็งแรงและไม่เกิดการยุบตัว เมทโทเซลชนิด A จะเกิดเจลที่แข็งแรงและยืดหยุ่น มีอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเมทโทเซลชนิด E F และ K ที่ใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้ ความหนืดของเมทโทเซลมีผลเล็กน้อยต่ออุณหภูมิเริ่มเกิดเจล ในขณะที่หากความเข้มข้นของเมทโทเซลเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้อุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลลดลง (กัลยาณี, 2540)

4. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1. มะขามเปียก จากตลาดเทศบาล อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี
2. เมทโทเซล (Methocel E4M Premium) ยี่ห้อ Colorcon บริษัท รามาโปรดักชั่น

4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องอบแห้งแบบถาด ยี่ห้อ Armfield รุ่น UOP 8
2. เครื่องแยกกาก ยี่ห้อ Didacta รุ่น TA16/D
3. เครื่องปั่นผสมอาหาร (Blender) ยี่ห้อเนชั่นแนล รุ่น MIK-C300N
4. เครื่องปิดผนึกถุงด้วยความร้อน ยี่ห้อ Hana รุ่น NT 300-5
5. เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color flex 45/0
6. ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Nu-Vu รุ่น ES-13
7. เครื่องตีผสม ยี่ห้อ Michigan รุ่น K5SS
8. เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น Seven Easy
9. เครื่อง Magnetic stirrer ยี่ห้อ JENWAY รุ่น 1103
10. เครื่อง Spectrophotometer รุ่น Biochrom ยี่ห้อ Libra S12
11. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Refrigerated centrifuge) ยี่ห้อ Hettich รุ่น model Universal 32 R
12. เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper) : 0-150 mm
13. เครื่องแก้ว
14. อุปกรณ์ในการทดสอบชิม

4.3 การวางแผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) มีจำนวนสิ่งทดลองทั้งหมด 9 สิ่งทดลอง โดยศึกษาระดับการเติมสารที่ช่วยให้โฟมคงตัว (สารเมทโทเซล)ที่ร้อยละ 0.6 0.9 และ 1.2 ของน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะขาม และอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 70 และ75 องศาเซลเซียส ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ นำข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.4 วิธีการทดลอง

4.4.1 การเตรียมวัตถุดิบและสารที่ช่วยให้เกิดโฟม

4.4.1.1 การเตรียมเนื้อมะขาม

เตรียมเนื้อมะขามเพื่อใช้ในการอบแห้ง ตามวิธีของ ชุมสาย (2529) โดยใช้น้ำเป็นตัวสกัดเนื้อมะขามออกจากมะขามเปียก โดยใช้อัตราส่วนของมะขามเปียกต่อน้ำที่ 1 : 2 ทำการแยกกรกและเยื่อหุ้มเมล็ดออกด้วยเครื่องแยกกาก ได้เนื้อมะขามที่นำมาใช้ในการทดลอง

4.4.1.2 การเตรียมสารที่ช่วยให้เกิดโฟม

สารที่ทำให้เกิดโฟมที่เลือกใช้คือ สารเมทโทเซล ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีขาว ต้องเตรียมให้อยู่ในลักษณะของเจลที่มีเมทโทเซลร้อยละ 4 ก่อนการนำไปใช้ ในการเตรียมเจลของสารเมทโทเซลต้องทราบค่าความชื้นของเมทโทเซลผงก่อน เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid) ในการทดลองนี้ สารเมทโทเซลที่ความชื้นร้อยละ 2.67 จึงมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 97.33 จากนั้นจึงเตรียมเจลสารเมทโทแซลร้อยละ 4 ยกตัวอย่างเช่น ต้องการเตรียมเจลของสารเมทโทเซลร้อยละ 4 จำนวน 500 กรัม ต้องใช้สารเมทโทเซลผงจำนวน 20.55 กรัม ผสมกับน้ำกลั่นร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จำนวน 150 กรัม ในบีกเกอร์ จากนั้นใช้แท่งแก้วคนให้กระจายเพื่อให้ทุกอนุภาคของผงเปียกทั่วถึงกันจนหมด จากนั้นเติมน้ำกลั่นเย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จำนวน 330 กรัมลงไปโดยใช้แท่งแก้วคนตลอดเวลา จนกระทั่งส่วนผสมทั้งหมดเกิดเป็นเจล เรียบ ใส ไม่ขุ่น จึงสามารถนำไปใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดโฟมได้

4.4.2 การศึกษาระยะเวลาในการตีโฟมมะขาม

การเตรียมโฟมมะขาม โดยนำเนื้อมะขามจำนวน 400 กรัม มาตีปั่นผสมกับสารเมทโทเซลที่ระดับต่างๆแล้วด้วยเครื่องผสมอาหารใช้หัวตีรูปตะกร้อที่ความเร็วสูงสุด ในการทดลองนี้เนื้อมะขามมีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 24.6 หากต้องการใช้เมทโทเซลร้อยละ 0.6 ต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในเนื้อมะขาม ต้องใช้เจลของสารเมทโทเซลร้อยละ 4 ที่เตรียมไว้ในข้อ 4.4.1.2 จำนวน 14.76 กรัมต่อเนื้อมะขาม 400 กรัม เพื่อทำให้เกิดเป็นโฟมมะขามที่ใช้สารเมทโทเซลร้อยละ 0.6 ทำการศึกษาค่าความหนาแน่นของโฟมมะขามที่ถูกตีปั่นทุก 2 นาที เป็นเวลา 20 นาที ตามวิธีของ Akitoye and Oguntunde (1991) โดยการนำโฟมของมะขามที่ต้องการวัดความ

หนาแน่น บรรจุลงในถ้วยแก้วมาตรฐานที่ทราบปริมาตรและน้ำหนักที่แน่นอน บรรจุโฟมให้เต็ม พยายามไม่ให้มีโพรงอากาศภายในถ้วย จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักคำนวณความหนาแน่นของโฟมซึ่งมีสูตรดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นของโฟม} = \frac{\text{น้ำหนักของโฟมมะขาม}}{\text{ปริมาตรของถ้วยมาตรฐาน}}$$

โดยค่าความหนาแน่นของโฟมก่อนอบแห้งควรอยู่ในช่วง 0.2-0.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

4.3.2 การศึกษาการอบแห้งโฟมมะขาม

4.3.2.1 เมื่อได้ระยะเวลาในการตีโฟมที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการทดลองอบแห้งโฟมมะขาม นำเนื้อมะขามที่เตรียมได้มาผสมกับสารเมทโทเซลที่ร้อยละ 0.6 ร้อยละ0.9 และร้อยละ 1.2 จากนั้นตีปั่นผสมกันด้วยเครื่องผสมอาหารใช้หัวตีรูปตะกร้อที่ความเร็วสูงสุดตามเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในข้อที่ 4.4.2 นำโฟมมะขามที่ได้มาหาความชื้นเริ่มต้นโดยวิธีของ AOAC (1984) จากนั้นเกลี่ยโฟมมะขามลงบนถาดสแตนเลสที่ปูรองถาดด้วยถุงพลาสติกโพลีเอทธิลีนเพื่อป้องกันไม่ให้โฟมมะขามแห้งติดถาด ควบคุมความหนาของโฟมให้มีความหนา 3.175 มิลลิเมตร(1/8 นิ้ว) โดยวัดความหนาอย่างละเอียดด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ นำไปชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่างพร้อมถาด

4.3.2.2 นำโฟมมะขามไปอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ตามแผนการทดลอง(65 70 และ75 องศาเซลเซียส) ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทุก 30 นาที จนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง จึงนำออกจากตู้อบ บันทึกระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

4.3.2.3 นำแผ่นมะขามอบแห้งมาวัดความหนาอย่างละเอียดด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ เพื่อหาระยะการยุบตัวของโฟม และสุ่มเก็บตัวอย่างส่วนหนึ่งไปหาความชื้น ตัวอย่างที่เหลือนำไปบดด้วยเครื่องบดละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด40 mesh ตามวิธีของAL-kahtani and Hassan (1990) จากนั้นนำมะขามผงที่ได้บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอล์ยลามิเนตกับโพลีเอทธิลีนลามิเนต

4.4.5 การวิเคราะห์คุณภาพของมะขามผงที่ผ่านการอบแห้งแบบโฟม

4.4.5.1 วัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Associates Laboratory รุ่น ColorFlex ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- เตรียมตัวอย่างมะขามผงจำนวน 10 กรัม

-ทำการตั้งค่าเครื่อง โดยใช้ Black glass และ White standard tile กำหนด Port size เป็น 0.50 นิ้ว

-วัดค่าสีของตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และนำไปหาค่าเฉลี่ย

4.4.5.2 วัดค่าความชื้นของมะขามอบแห้งแบบโฟม ตามวิธีของ AOAC. (1984) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- อบ Moisture can อุณหภูมิ 103-105 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

- ชั่งตัวอย่างมะขามผงประมาณ 5 กรัม ใส่ใน Moisture can

-นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105°C ประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักแล้วนำไปอบซ้ำหลายครั้ง จนน้ำหนักคงที่

4.4.5.3 การวัดความสามารถในการกระจายตัว (Dispersibility) โดยดัดแปลงจากวิธีของ AL-kahtani and Hassan (1990)

ชั่งตัวอย่างมะขามผงน้ำหนักที่แน่นอน 2 กรัมลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นจำนวน 100 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างไปกวนด้วย magnetic stirrer ที่ความเร็วระดับ 5 นาน 5 วินาที ดึงตัวอย่างออกด้วยกระบอกฉีดยาขนาด 50 มิลลิลิตร นำไป centrifuge ด้วยแรง 1735 × g นาน 3 นาที วัดค่าความสามารถในการกระจายตัว โดยวัดค่า optical density (OD) ของส่วนใสที่แยกออกมาได้ โดยทำการวัดด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ใช้น้ำกลั่นเป็น blank

4.4.5.4 การวัดความสามารถในการละลาย(Solubility)โดยดัดแปลงจากวิธีของ AL-kahtani *et al*. (1990)

ชั่งมะขามผงด้วยน้ำหนักที่แน่นอน 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น(อุณหภูมิห้อง) ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร กวนของผสมทั้งหมดด้วย magnetic stirrer ที่ความเร็วระดับ 5 จับเวลา (นาที) ที่ใช้ในการละลายมะขามผงอย่างสมบูรณ์

4.4.5.5 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน ลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นของน้ำมะขามที่ใช้มะขามผงมาละลายกับน้ำในที่อัตราส่วน มะขามผงต่อน้ำ 1: 2 ทำการทดสอบโดยวิธี Rating test

5. ผลการทดลอง

5.1 การหาระยะเวลาในการตีโฟมที่เหมาะสม

จากการเตรียมเนื้อมะขามเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการอบแห้งตามวิธีของชุมสาย (2529) ได้เนื้อมะขามที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid) ร้อยละ 24.6 นำค่าที่ได้มาคำนวณความเข้มข้นของสารเมทโทเซลที่ต้องใช้เพื่อทำให้เกิดโฟมมะขามที่ร้อยละ 0.6 ร้อยละ 0.9 และร้อยละ 1.2 ของปริมาณของแข็งทั้งหมดของเนื้อมะขาม ตามที่ได้อธิบายไว้ในข้อ 4.4.2 นำเนื้อมะขาม 400 กรัม ผสมกับสารเมทโทเซลตามปริมาณที่กำหนดและตีปั่นในเครื่องปั่น (ภาพที่ 2)

ภาพที่ 2 การตีปั่นโฟมมะขาม

ทำการศึกษาค่าความหนาแน่นของโฟมมะขามที่ถูกตีปั่นทุก 2 นาที เป็นเวลา 20 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 2 ในช่วงแรกของการตีโฟมความหนาแน่นของโฟมมะขามจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอากาศแทรกตัวเป็นฟองในเนื้อมะขาม จากนั้นความหนาแน่นของโฟมเริ่มคงที่ เมื่อตี่ปั่นโฟมในระยะเวลาที่นานขึ้นค่าความหนาแน่นของโฟมมะขามจะเพิ่มสูงขึ้น การตีโฟมที่ใช้เวลานานเกินไปทำให้เกิดการรั่วซึมของก๊าซภายในฟองอากาศทำให้ฟองอากาศแตกและยุบตัว เนื่องจากฟองอากาศไม่แข็งแรงเพียงพอที่จะทนต่อแรงเฉือนที่เกิดจากการตีปั่น(กัลยาณี, 2540)

ตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของโฟมมะขามที่ใช้สารเมทโทเซลที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

เวลาที่ใช้ในการตีปั่น (นาที)	ค่าความหนาแน่นของโฟมมะขาม (g/cm^3)		
	สารเมทโทเซล 0.6%	สารเมทโทเซล 0.9 %	สารเมทโทเซล 1.2 %
0	1.05a	1.05a	1.04a
2	0.85b	0.72b	0.68b
4	0.70c	0.50c	0.43c
6	0.59d	0.36d	0.30d
8	0.52ef	0.30f	0.26e
10	0.48gh	0.30f	0.26e
12	0.46h	0.30f	0.26e
14	0.47h	0.31ef	0.26e
16	0.50fg	0.33e	0.26e
18	0.52ef	0.36d	0.28de
20	0.54e	0.38d	0.28de

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

นอกจากนี้ระดับความเข้มข้นของสารเมทโทเซลที่สูงขึ้นมีผลทำให้ค่าความหนาแน่นของโฟมมะขามลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาและความเร็วในการตีปั่นเท่ากัน และมีผลต่อความต้านทานการแตกตัวของฟองอันจะนำไปสู่การยุบตัวของโฟมทำให้โฟมมะขามมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยโฟมมะขามที่ใช้สารเมทโทเซลร้อยละ 1.2 จะมีค่าความหนาแน่นของโฟมต่ำที่สุดเท่ากับ 0.26 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่เวลาในการตีโฟม 8-16 นาที และต้านทานแรงเฉือนที่เกิดจากการตีปั่นได้มากกว่า 12 นาที (จากนาทีที่ 6-16) โดยที่ค่าความหนาแน่นของโฟมไม่เปลี่ยนแปลง การใช้สารเมทโทเซลร้อยละ 0.9 จะทำให้โฟมมะขามมีความหนาแน่นต่ำสุดที่ 0.30 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้เวลาในการตีโฟม 8-12 นาที ส่วนการใช้เมทโทเซลร้อยละ 0.6 จะทำให้โฟมมะขามมีความหนาแน่นต่ำสุดที่ 0.46 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้เวลาในการตีโฟม 12 นาที แต่ค่าความหนาแน่นของโฟมมะขามที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่าความหนาแน่นของโฟมมะขามที่ใช้เวลาในการตีปั่นที่ 10 นาที จึงสรุปการคัดเลือกเวลาที่ใช้ในการตีปั่นโฟมมะขามที่ 10 นาที ซึ่งเป็นเวลาการตีปั่นที่ทำให้โฟมมะขามที่ใช้ความเข้มข้นของเมทโทเซลทุกระดับมีค่า

ความหนาแน่นต่ำที่สุด และเป็นการควบคุมระยะเวลาในการตีปั่นให้เท่ากันในทุกสิ่งทดลองสำหรับการทดลองอบแห้งขั้นต่อไป

5.2 การอบแห้งของโฟมมะขามและการยุบตัวของโฟมมะขามภายหลังการอบแห้ง

ในการศึกษาการอบแห้งโฟมมะขามที่ใช้สารเมทโทเซลที่ร้อยละ 0.6 ร้อยละ 0.9 และร้อยละ 1.2 ตีปั่นผสมกันด้วยเครื่องผสมอาหารใช้หัวตีรูปตะกร้อที่ความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 10 นาที นำโฟมมะขามที่ได้มาหาความชื้นเริ่มต้น จากนั้นเกลี่ยโฟมมะขามลงบนถาดสแตนเลสที่ปูรองถาดด้วยถุงพลาสติกโพลีเอทธิลีนเพื่อป้องกันไม่ให้โฟมมะขามแห้งติดถาด ควบคุมความหนาของโฟมให้มีความหนา 3.175 มิลลิเมตร(1/8 นิ้ว) ดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 โฟมมะขามก่อนการอบแห้ง

นำโฟมมะขามไปอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ 65 องศาเซลเซียส 70 องศาเซลเซียส และ75 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างทุก 30 นาที จนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง จึงนำออกจากตู้อบ บันทึกระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของสารเมทโทเซลที่ใช้และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง อิทธิพลต่อระยะเวลาในการอบแห้งโฟมมะขาม เมื่อใช้สารเมทโทเซลมากขึ้นทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่สถิติ ($p \leq 0.5$) ดังตารางที่ 3 เนื่องจากโฟมมะขามที่ใช้สารเมทโทเซลมากมีผลทำให้ค่าความหนาแน่นของโฟมลดลง โฟมมีฟองอากาศที่ละเอียดและสม่ำเสมอ มีพื้นที่ผิวที่มาก น้ำซึ่งอยู่ภายในโฟมมะขามในรูปฟิล์มบางๆสามารถระเหยออกมาได้ง่ายและต่อเนื่อง ระยะเวลาในการอบแห้งจึงลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของAkintoye and Oguntunde (1991) ที่ทำแห้งนมถั่วเหลืองด้วยวิธีการทำแห้งแบบโฟม ซึ่งพบว่า หากใช้ปริมาณสารให้ความคงตัวคือ glyceryl distearate (GDS) สูงขึ้น จะใช้เวลาในการ

อบแห้งสั้นกว่าเช่นเดียวกัน ส่วนอุณหภูมิการอบแห้งที่ 75 องศาเซลเซียส ช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งโฟมมะขาม แตกต่างจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 และ 70 องศาสเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.5$) ดังตารางที่ 4 เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของสิ่งทดลองทั้ง 9 สิ่งทดลอง (ตารางที่ 5) พบว่า สิ่งทดลองที่ 9 ที่ใช้สารเมทโทเซลร้อยละ 1.2 อบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดที่ 150 นาที แตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.5$)

ตารางที่ 3 ระยะเวลาในการอบแห้งเฉลี่ยของโฟมมะขามที่ใช้ความเข้มข้นของสารเมทโทเซลแตกต่างกัน

สารเมทโทเซล (%)	ระยะเวลาในการอบแห้ง (min)
0.6	305a
0.9	210b
1.2	175c

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4 ระยะเวลาในการอบแห้งเฉลี่ยของโฟมมะขามที่ใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน

อุณหภูมิการอบแห้ง (^{0}C)	ระยะเวลาในการอบแห้ง (min)
65	260a
70	235a
75	195b

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 5 ระยะเวลาในการอบแห้งโฟมมะขามที่ใช้อุณหภูมิการอบแห้งและความเข้มข้นของสารเมทโทเซลแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิการอบแห้ง (^{0}C)	สารเมทโทเซล (%)	ระยะเวลาในการอบแห้ง (min)
1	65	0.6	360a
2	65	0.9	225bc
3	65	1.2	195bcd
4	70	0.6	315a
5	70	0.9	210bc
6	70	1.2	180cd
7	75	0.6	240b
8	75	0.9	195bcd
9	75	1.2	150d

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ภายหลังจากอบแห้งโฟมมะขามแล้ว นำแผ่นโฟมมะขามมาวัดการยุบตัวของโฟมภายหลังจากการอบแห้งแล้วด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณสารเมทโทเซลที่ใช้มีอิทธิพลต่อระยะการยุบตัวของโฟมมะขาม เมื่อใช้สารเมทโทเซลเพิ่มขึ้นทำให้การยุบตัวของโฟมลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่สถิติ ($p \leq 0.5$) ดังตารางที่ 6 การใช้สารเมทโทเซลที่ร้อยละ 0.6 ทำให้โฟมมะขามมีการยุบตัวมากกว่าการใช้เมทโทเซลร้อยละ 0.9 และ ร้อยละ 1.2 เนื่องจากสารเมทโทเซลสร้างเจลที่มีความหนืดสูงมาก มีความยืดหยุ่นและแข็งแรงมาก สามารถหุ้มฟองอากาศไว้ทำให้โฟมมีความแข็งแรง สามารถพยุงโครงสร้างลดการยุบตัวเมื่ออบแห้ง สอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของโฟมมะขามเมื่อผ่านการตีปั่นที่ระยะเวลาต่างๆซึ่งโฟมมะขามที่ใช้ปริมาณสารเมทโทเซลมากจะสามารถต้านทานต่อแรงเฉือนจากการตีปั่นได้ดี ทั้งนี้การยุบตัวของโฟมจะมีผลต่อความสามารถในการระเหยน้ำในระยะสุดท้ายของการอบแห้ง หากโฟมมีการยุบตัวมากทำให้น้ำระเหยออกได้ยากขึ้นมีผลทำให้ใช้เวลาในการทำแห้งมากขึ้น ส่วนอุณหภูมิการอบแห้งที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการยุบตัวของโฟมมะขาม ($p > 0.5$) ดังตารางที่ 7 เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของโฟมมะขามทั้ง 9 สิ่งทดลอง (ตารางที่ 8) พบว่า สิ่งทดลองที่ 9 ที่ใช้สารเมทโทเซลร้อยละ 1.2 อบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส มีการยุบตัวของโฟมมะขามน้อยที่สุดเท่ากับ 1.59 มิลลิเมตร

ตารางที่ 6 ค่าการยุบตัวเฉลี่ยของโฟมมะขามที่ใช้ความเข้มข้นของสารเมทโทเซลแตกต่างกัน

สารเมทโทเซล (%)	การยุบตัว (mm)
0.6	1.98a
0.9	1.68b
1.2	1.60b

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 7 ค่าการยุบตัวเฉลี่ยของโฟมมะขามที่ใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน

อุณหภูมิการอบแห้ง (^{0}C)	การยุบตัว (mm)
65	1.73a
70	1.79a
75	1.74a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ไม่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 8 ค่าการยุบตัวของโฟมมะขามที่ใช้อุณหภูมิการอบแห้งและความเข้มข้นของสารเมทโทเซลแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิการอบแห้ง (^{0}C)	สารเมทโทเซล (%)	การยุบตัว (mm)
1	65	0.6	1.97ab
2	65	0.9	1.67bc
3	65	1.2	1.60c
4	70	0.6	2.04a
5	70	0.9	1.70bc
6	70	1.2	1.62c
7	75	0.6	1.95ab
8	75	0.9	1.67bc
9	75	1.2	1.59c

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

5.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์มะขามผงอบแห้งแบบโฟม

5.3.1 ความชื้นของมะขามอบแห้งแบบโฟมที่สภาวะการอบแห้งต่าง ๆ

ความชื้นของโฟมมะขามก่อนการอบแห้งอยู่ในช่วงร้อยละ 76.66-78.38 โฟมมะขามที่ผ่านการอบแห้งมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 10.03-11.54 ความเข้มข้นของสารเมทโทเซลที่ใช้และอุณหภูมิในการอบแห้งไม่มีอิทธิพลต่อค่าความชื้น ซึ่งความชื้นของโฟมมะขามที่ผ่านการอบแห้งของทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ($P > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 9 10 และ 11 จากผลการทดลองเห็นได้ว่าค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสูง หลังจากการอบแห้งแล้วนำมาบดพบว่ามะขามดูดความชื้นกลับเร็วมากและจับกันเป็นก้อน ทั้งนี้เนื่องจากมะขามจัดเป็นพวกที่ไวต่อความชื้น(hygroscopic) และการอบแห้งแบบโฟมทำให้ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนทำให้ผลิตภัณฑ์คืนรูปกลับได้เร็วมาก เนื่องจากปริมาณของแข็งในน้ำผลไม้ส่วนใหญ่คือน้ำตาล ซึ่งหากทำแห้งแล้วน้ำตาลเหล่านี้จะมีความเข้มข้นสูงมากและดูดความชื้นกลับอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 9 ค่าความชื้นของโฟมมะขามที่ใช้ความเข้มข้นของสารเมทโทเซลแตกต่างกัน

สารเมทโทเซล (%)	ค่าความชื้น (%wb)
0.6	10.50a
0.9	10.87a
1.2	11.22a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ไม่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 10 ค่าความชื้นของโฟมมะขามที่ใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน

อุณหภูมิการอบแห้ง (^{0}C)	ค่าความชื้น (%wb)
65	11.30a
70	10.60a
75	10.70a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ไม่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 11 ค่าความชื้นของโฟมมะขามที่ใช้อุณหภูมิการอบแห้งและความเข้มข้นของสารเมทโทเซลแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิการอบแห้ง (^{0}C)	สารเมทโทเซล (%)	ค่าความชื้น (%wb)
1	65	0.6	10.94a
2	65	0.9	11.43a
3	65	1.2	11.54a
4	70	0.6	10.03a
5	70	0.9	10.42a
6	70	1.2	11.34a
7	75	0.6	10.52a
8	75	0.9	10.77a
9	75	1.2	10.81a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ไม่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

5.7.2 สีของมะขามผงอบแห้งแบบโฟม

จากการทดลองการวัดสีของตัวอย่างมะขามผงที่ผ่านอบแห้งแบบโฟม แล้วนำมาบด พบว่า ความเข้มข้นของสารเมทโทเซลมีอิทธิพลต่อค่า b*(ค่าสีเหลือง) การใช้สารเมทโทเซลที่ร้อยละ 1.2 ทำให้มะขามผงมีค่า b*มากที่สุด (ตารางที่ 12) แตกต่างกับการใช้สารเมทโมเซลที่ร้อยละ 0.6 และ ร้อยละ 0.9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$) ส่วนอุณหภูมิการอบแห้งมีอิทธิพลต่อค่า a*(ค่าสีแดง) มะขามผงที่ผ่านการอบแห้งที่ 65 องศาเซียลเซส มีค่า a* มากที่สุด(ตารางที่ 13) แตกต่างกับการอบแห้งที่ 70 องศาเซียลเซส และ 75 องศาเซียลเซสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโฟมมะขามที่ใช้สารเมทโทเซลร้อยละ 1.2 และการอบที่อุณหภูมิสูง ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยจึงสามารถรักษาสีของมะขามไว้ได้ อย่างไรและเมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนด้านสีของมะขามผงทั้ง 9 สิ่งทดลองพบว่า ค่าสีของมะขามผง (ค่า L* a* b*)ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ(ตารางที่ 14)

ตารางที่ 12 ค่าสีของมะขามผงที่ใช้ความเข้มข้นของสารเมทโทเซลแตกต่างกัน

สารเมทโทเซล (%)	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*
0.6	53.04a	12.55a	27.65b
0.9	52.79a	12.26a	28.51b
1.2	54.97a	12.34a	30.38a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 13 ค่าสีของมะขามผงที่ใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน

อุณหภูมิการอบแห้ง (^{0}C)	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*
65	52.16a	12.84a	29.23a
70	53.60a	12.03b	28.63a
75	55.03a	12.07b	28.67a

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 14 ค่าสีของมะขามผงที่ใช้อุณหภูมิการอบแห้งและความเข้มข้นของสารเมทโทเซลแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิการอบแห้ง (^{0}C)	สารเมทโทเซล (%)	ค่า L*	ค่า a*	ค่า b*
1	65	0.6	51.29	12.95	28.16
2	65	0.9	53.66	12.59	28.61
3	65	1.2	51.55	12.99	30.93
4	70	0.6	53.43	12.37	27.19
5	70	0.9	50.80	12.24	28.66
6	70	1.2	56.60	12.10	30.05
7	75	0.6	54.41	12.33	27.61
8	75	0.9	53.92	11.94	28.27
9	75	1.2	56.77	11.93	30.15

5.7.3 ความสามารถในการละลายและการกระจายตัวของมะขามผงอบแห้งแบบโฟม

เมื่อนำมะขามผงมาวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย(solubility) และการกระจายตัว (dispersibility) พบว่า ความเข้มข้นของสารเมทโทเซลและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไม่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการละลายและการกระจายตัวของมะขามผง($p>0.05$) เมื่อนำมะขามผงทั้ง 9 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนก็พบว่าความสามารถในการละลายและการกระจายตัวของมะขามผงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 15-17 อย่างไรก็ตามในขณะที่ทำการวิเคราะห์ความสามารถในการละลายและการกระจายตัวพบว่ามะขามผงมีการดูดน้ำกลับอย่างรวดเร็วและเกิดการเกาะตัวกันเป็นก้อน ซึ่งมีผลทำให้การวัดมีความแม่นยำลดลงได้

ตารางที่ 15 ค่าความสามารถในการละลายและการกระจายตัวของมะขามผงที่ใช้ความเข้มข้นของสารเมทโทเซลแตกต่างกัน

สารเมทโทเซล (%)	ความสามารถในการละลาย (min)	ความสามารถในการกระจายตัว (OD)
0.6	2.90	0.071
0.9	2.74	0.072
1.2	2.89	0.074

ตารางที่ 16 ค่าความสามารถในการละลายและการกระจายตัวของมะขามผงที่ใช้อุณหภูมิแตกต่างกัน

อุณหภูมิการอบแห้ง (^{0}C)	ความสามารถในการละลาย (min)	ความสามารถในการกระจายตัว (OD)
65	3.00	0.067
70	3.01	0.071
75	2.50	0.078

ตารางที่ 17 ค่าความสามารถในการละลายและการกระจายตัวของมะขามผงที่ใช้อุณหภูมิการอบแห้งและความเข้มข้นของสารเมทโทเซลแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิการอบแห้ง (^{0}C)	สารเมทโทเซล (%)	ความสามารถในการละลาย (min)	ความสามารถในการกระจายตัว (OD)
1	65	0.6	2.97	0.064
2	65	0.9	2.70	0.070
3	65	1.2	3.34	0.068
4	70	0.6	2.81	0.069
5	70	0.9	3.22	0.071
6	70	1.2	3.01	0.076
7	75	0.6	2.91	0.080
8	75	0.9	2.30	0.076
9	75	1.2	2.30	0.078

5.7.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดลองทางประสาทสัมผัสนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะของมะขามผงเมื่อนำไปคืนรูป เป็นการทดสอบประเมินเบื้องต้น โดยประเมินจากการมองเห็นและการดมกลิ่น ยังมิได้ทดสอบชิม โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน ลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นของน้ำมะขามที่ใช้มะขามผงมาละลายกับน้ำในที่อัตราส่วน มะขามผงต่อน้ำ 1: 2 ทำการทดสอบโดยวิธี Rating test ดังตารางที่ 18 พบว่า น้ำมะขามตัวอย่างที่ 6 ซึ่งใช้มะขามผงที่ผลิตโดยใช้สารเมทโทเซลความเข้มข้นร้อยละ 1.2 และอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีค่าคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏสูงสุดอยู่ในระดับชอบมาก(8.31) และมีค่าคะแนนการยอมรับด้านสีในระดับชอบปานกลาง(7.50) ส่วนค่าคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นของน้ำมะขามของทุกตัวอย่างมีค่าคะแนนอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง(6.03-7.81) โดยตัวอย่างน้ำมะขามตัวอย่างที่ 9 ที่ใช้มะขามผงที่ผลิตโดยใช้สารเมทโทเซลความเข้มข้นร้อยละ 1.2 และอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ก็มีค่าคะแนนการยอบรับด้านต่างๆไม่แตกต่างทางสถิติกับตัวอย่างที่ 6 อย่างไรก็ตามการทดสอบในครั้งนี้มีข้อจำกัดในเรื่องของปริมาณตัวอย่างที่มีอยู่ค่อนข้างน้อย ทำให้ใช้จำนวนผู้ทดสอบเพียง 12 คนซึ่งค่อนข้างน้อยมากสำหรับการทดสอบการยอมรับ

ตารางที่ 18 ค่าคะแนนการยอมรับของน้ำมะขามที่ใช้อุณหภูมิการอบแห้งและความเข้มข้นของสารเมทโทเซลแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	อุณหภูมิการอบแห้ง (^{0}C)	สารเมทโทเซล (%)	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น
1	65	0.6	4.84d	5.75c	6.50bc
2	65	0.9	7.77ab	7.50a	7.12abc
3	65	1.2	7.54b	7.25ab	6.43bc
4	70	0.6	7.69ab	6.75ab	7.04abc
5	70	0.9	6.01c	7.00ab	7.81a
6	70	1.2	8.31a	7.50a	6.50bc
7	75	0.6	4.47d	5.75c	6.03c
8	75	0.9	7.46b	6.50bc	7.34ab
9	75	1.2	7.92ab	7.00ab	6.73abc

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

กระบวนการผลิตมะขามผงโดยการอบแห้งแบบโฟมสามารถทำได้ โดยใช้สารเมทโทเซล เป็นสารที่ช่วยให้เกิดโฟมและทำให้โฟมมีความคงตัว ไม่ยุบตัวได้ง่ายขณะที่ทำการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยใช้ระยะเวลาในการตีโฟมมะขามที่เหมาะสมที่ 10 นาที ความเข้มข้นของสารเมทโทเซลมีอิทธิพลอย่างมากต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพของมะขามผงอบแห้งแบบโฟม เมื่อใช้สารเมทโทเซลมากขึ้น ช่วยทำให้โฟมมะขามมีความหนาแน่นลดลง โฟมมีความแข็งแรงและลดการยุบตัวของโฟมมะขามขณะอบแห้ง ทำให้น้ำระเหยออกได้รวดเร็ว มีผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงอย่างมาก ส่วนอุณหภูมิที่สูงขึ้นในการอบแห้งมีผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงเช่นกัน สภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งโฟมมะขาม คือ การใช้สารเมทโทเซลที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.2 และใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 70-75 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้ง 150-180 นาที โดยมะขามผงทุกตัวอย่างมีค่าสี (L*, a*, b*) ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการกระจายตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อนำมะขามผงไปผสมกับน้ำที่อัตราส่วน1 : 2 แล้วนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ตัวอย่างน้ำมะขามที่ใช้มะขามผงที่ใช้สภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม มีค่าคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก และมีระดับความชอบด้านกลิ่นอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย อย่างไรก็ตามโฟมมะขามที่อบแห้งแล้วจะดูดความชื้นกลับได้เร็วมากขณะที่ทำการบดหลังจากการบดให้เป็นผง จึงควรมีการศึกษาการใช้สารที่ลดการเกาะตัวกันของมะขามผงต่อไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของมะขามผงให้ดีขึ้นต่อไป

7. บรรณานุกรม

กัลยาณี โสมนัส. 2540. การผลิตกล้วยหอมผงโดยการทำแห้งแบบโฟมและแบบพ่นฝอย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

กรมการค้าภายใน. 2553. ราคามะขามเปียกแกะเมล็ด. http://trade.dit.go.th/pricestat/report2.asp?mode=A&product=693 ค้นเมื่อ เม.ย. 2553

กรมวิชาการเกษตร. 2553. มะขาม. http://fs.doae.go.th/knowledge/4%20horticulture/makhams.doc ค้นเมื่อ เม.ย. 2553

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2553. มะขาม. http://www.sc.mahidol.ac.th/wiki_ ค้นเมื่อ เม.ย. 2553

ชุมสาย สีลวานิช . 2529. กรรมวิธีการทำมะขามผง. รายงานผลการวิจัยประจำปี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ภคินี อัครเวสสะพงษ์ . 2533. การศึกษาวิธีการและชนิดของถุงพลาสติกที่มีอิทธิพลต่อการเกิดสีของเนื้อมะขามเปรี้ยวที่อุณหภูมิต่างๆกัน. รายงานการวิจัย. ศูนย์วิจัยพืชสวนศรีสะเกษ. สถาบันวิจัยพืชสวน.

ศูนย์วิจัยพืชสวนศรีสะเกษ. 2526. มะขามเปรี้ยวศรีสะเกษ 019. http://www. ku.ac.th/agri/sirsaket/index.html. ค้นเมื่อ พ.ย. 50

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2537. การอบแห้งเมล็ดธัญพืช. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ.

สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2529. กรรมวิธีการอบแห้ง. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานข้อมูลสมุนไพร. 2553. มะขาม. http://www.medplant.mahidol.ac.th/pubhealth/tamarin.html.

Akitoye, O. A. and Oguntande, A. O. 1991. Preliminary investigation on effect of foam stabilizer on the physical characteristics and reconstitution properties of foam-mat dried soymilk. Drying Technol. 9(1) : 245-262.

AL-kahtani. H.A. and Hassan, B.H. 1990. Spray drying of roselle (Hibiscus sabdariffa L.) extract. J. Food Sci. 55: 1073-1076.

AOAC. 1984. Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists .14 th ed. Washington, D.C.

Beristain, C.I. , Garcia, H.S. and Vazquez, A. 1993. Foam-mat dehydration of Jamica (*Hisbiscus sabdariffa L.*) instant drink. Drying Technol. 11(1) : 221-22

Dow Chemical Company. 2010 . Methocel. www.dow.com/methocel/food/index.htm_ April 2010

Gunther, R. C. 1964. U.S. Patent No. 3,119,701 cited by Torrey M. Dehydration of fruits and vegetables. Noyes. Data Co., New Jersey. 360 p.

ภาคผนวก

ประวัติคณะผู้วิจัย

1) หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อและนามสกุล นางอภิญญา เอกพงษ์ (Mrs. Apinya Ekpong)
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3419900141696
3. ตำแหน่งวิชาการ อาจารย์
4. หน่วยงานที่สังกัด

   สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

   อ. วารินชำราบ จ. อุบลราชธานี

   โทรศัพท์ 045-288374 ต่อ 3569

   E-mail address: apinya@agri.ubu.ac.th
5. ประวัติการศึกษา

   2531 วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีอาหาร) มหาวิทยาลัยขอนแก่น

   2536 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

   2549 ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีอาหาร) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
   - การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่
   - การแปรรูปผักและผลไม้
7. ผลงานทางวิชาการ

   อภิญญา เอกพงษ์ ทิพย์วรรณา งามศักดิ์ และ Ray J. Winger. 2548. การศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์อาหารว่างแบบเจลรสมะม่วง. การสัมมนาวิชาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว/หลังการผลิตแห่งชาติ ครั้งที่ 3 วันที่ 10-11 ตุลาคม 2548 เพชรบุรี

   เกรียงไกร สถาพรวานิช จิตรา วราอัศวปติ **อภิญญา เอกพงษ์** วีระ อวิคุณประเสริฐ และเอกสิทธิ์ อ่อนสอาด. 2543. การศึกษาศักยภาพการแปรรูปปลาน้ำจืดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. รายงานโครงการวิจัย. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช).

   Ekpong, A., Ngarmsak, T. and Winger, R. J. 2006. Comparing sensory methods for the optimisation of mango gel snacks. Food Quality and Preference 17: 622-628.

2) ผู้ร่วมโครงการ

2.1 นายเอกสิทธิ์ อ่อนสอาด

1. ชื่อและนามสกุล นายเอกสิทธิ์ อ่อนสอาด (Mr. Ekasit Onsaard)
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน -
3. ตำแหน่งวิชาการ อาจารย์
4. หน่วยงานที่สังกัด

   สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

   อ. วารินชำราบ จ. อุบลราชธานี

   โทรศัพท์ 045-353500

   E-mail address: ekaon@agri.ubu.ac.th
5. ประวัติการศึกษา

   2536 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร) มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

   2540 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

   2552 ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (เทคโนโลยีอาหาร) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
   - กระบวนการแปรรูปอาหาร
   - คุณสมบัติทางเคมีในอาหาร
7. ผลงานทางวิชาการ

Ekasit Onsaard; Vittayanont, M.; Srigam, S.; McClements, D. J. 2005. Properties and stability of oil-in-water emulsions stabilized by coconut skim milk proteins. J. Agric. Food Chem. 53: 5747-5753.

Ekasit Onsaard, Manee Vittayanont, Sukoncheun Srigam and D. Julian McClements. 2006. Comparison of properties of oil-in-water emulsions stabilized by coconut cream proteins with those stabilized by whey protein isolate. Food Research Inter. 39: 78-86.

Onsaard, E., Sukoncheun, S., McClements D. J. and Vittavanont, M. Preparation And characterization of coconut proteins from coconut milk**.** The 65th IFT Annual Meeting and Food Expo. July 16-20, 2005, New Orleans, Louisiana, USA.

2) ผู้ร่วมโครงการ

2.2 นางมารีนา มะหนิ

1. ชื่อและนามสกุล นางมารีนา มะหนิ (Mrs. Marina Mani)
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน -
3. ตำแหน่งวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์
4. หน่วยงานที่สังกัด

   สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

   อ. เมือง จ. สงขลา

   โทรศัพท์ 074-31185-7

   E-mail address: -
5. ประวัติการศึกษา

   2532 การศึกษาบัณฑิต (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยทักษิณ

   2535 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพลังงาน)

   สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเล้าธนบุรี
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

   - เทคโนโลยีการอบแห้ง
7. ผลงานทางวิชาการ

   มารีนา มะหนิ. 2551. สมบัติเชิงความร□อนและจลนศาสตร□การอบแห□งชั้นบางของ

   พริกชี้ฟ□า. การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 18 ระหว□างวันที่ 25-26 กันยายน 2551.

   ฤทธิศักดิ์ จริตงาม ชูศักดิ์ ลิ่มสกุล สายัณห์ สดุดี สราวุธ จริตงาม และ**มารีนา มะหนิ**. 2544. การตรวจจับการเกิดอาการยางไหลในผลมังคุด โดยวิธีการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ออโตรีเกรสซีฟ. ว.วิทยาศาสตร์เกษตร 32 1-4 (พิเศษ): 127-132

2) ผู้ร่วมโครงการ

2.3 นางนิภาพรรณ สิงห์ทองลา

1. ชื่อและนามสกุล นางนิภาพรรณ สิงห์ทองลา (Mrs.Nipapun Singthongla)
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน -
3. ตำแหน่งวิชาการ นักวิชาการเกษตร
4. หน่วยงานที่สังกัด

   สำนักงานไร่ฝึกทดลองและห้องปฏิบัติการกลาง คณะเกษตรศาสตร์

   มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

   อ. วารินชำราบ จ. อุบลราชธานี

   โทรศัพท์ 045-353542

   E-mail address: nipapun@agri.ubu.ac.th
5. ประวัติการศึกษา

   2532 วิทยาศาสตรบัณฑิต (พืชศาสตร์) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

   - เทคโนโลยีการผลิตขนมอบ
7. ผลงานทางวิชาการ

   จิตรา สิงห์ทอง วชิราพรรณ บุญญาพุทธิพงศ์ ชุติมา ทองแก้ว ธิดารัตน์ จุทอง ปัญจภรณ์ ทัดพิชญางกูร และ**นิภาพรรณ สิงห์ทองลา**. 2548. การเพิ่มศักยภาพสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ในจังหวัดอุบลราชธานี. รายงานโครงการวิจัย. โครงการตามแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัดอุบลราชธานี.