TFE-02

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารตัวพาที่มีผลต่อกระบวนการทำแห้งน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

*นาฏชนก ปรางปรุ[1], เทวรัตน์ ตรีอำนรรค[1] และ กระวี ตรีอำนรรค[2]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง นครราชสีมา 30000

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง นครราชสีมา 30000

ผู้เขียนติดต่อ: นาฏชนก ปรางปรุ E-mail: miss-nartchanok@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของสารตัวพาต่อความสามารถในการอบแห้งและคุณภาพของมะขามเปียกผงที่ผลิตได้ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง โดยศึกษาชนิดของสารตัวพา 3 ชนิด คือ มอลโตเดกซ์ทริน แป้งชัคชินิล และกัมอารบิก ซึ่งอัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาที่ใช้เป็น 1:0.3, 1:0.4, 1:0.5, 1:0.6, 1:0.7 และ 1:0.8 (โดยน้ำหนัก) เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งสำหรับงานวิจัยนี้เป็นชนิดลูกกลิ้งคู่ที่กำหนดให้มีอุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งเท่ากับ 140 องศาเซลเซียส, ความเร็วรอบของลูกกลิ้งเท่ากับ 0.50 รอบต่อนาที และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งเท่ากับ 0.15 มิลลิเมตร โดยประสิทธิภาพของสารตัวพาจะประเมินจากความสามารถในการทำแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ปริมาณความชื้น ปริมาณร้อยละของผลผลิต ปริมาณกรดทั้งหมด ความหนาแน่น และความสามารถในการละลาย ซึ่งผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนของสารตัวพามีผลต่อความสามารถในการทำแห้ง โดยมะขามเปียกผงจะสามารถร่อนออกจากผิวของลูกกลิ้งได้เมื่อใช้สารตัวพามอลโตเดกซ์ทริน แป้งชัคชินิล และกัมอารบิก ที่อัตราส่วนต่ำสุดเท่ากับ 1:0.6, 1:0.4 และ 1:0.3 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาคุณภาพของมะขามเปียกผงจะเห็นได้ว่ามะขามเปียกผงที่ใช้แป้งชัคชินิลมีคุณภาพดีกว่ามอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิก

คำสำคัญ: มะขาม; สารตัวพา; เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

1. บทนำ

มะขามเปรี้ยวเป็นไม้ผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งมีมูลค่าการส่งออกสูงมากกว่า 76 ล้านบาทต่อปี [1] โดยน้ำมะขามเปียกเป็นส่วนผสมสำคัญที่ให้รสเปรี้ยวในอาหารไทยหลายชนิดได้แก่ ต้มยำ ผัดไท ไข่ลูกเขย เป็นต้น แต่การใช้น้ำมะขามเปียกสดยังคงมีข้อเสียอยู่หลายประการ เนื่องจากมีอายุการเก็บรักษาสั้น มีต้นทุนในการขนส่งสูง นอกจากนี้ยังยากต่อการเตรียมเพื่อนำมาใช้สำหรับการประกอบอาหาร ซึ่งหากมีการนำน้ำมะขามเปียกสดมาแปรรูปเป็นน้ำมะขามเปียกผงก็อาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ โดยการทำแห้งเพื่อแปรรูปจาก น้ำมะขามเปียกสดเป็นน้ำมะขามเปียกผงนั้นมีอยู่หลายวิธีเช่นการทำแห้งแบบพ่นฝอย การทำแห้งแบบโฟมแมท และการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ขณะที่การทำแห้งแบบลูกกลิ้งเป็นเทคนิคที่มีต้นทุนต่ำ และมีกำลังการผลิตสูง อีกทั้งยังมีระยะเวลาในการทำแห้งสั้น [2]

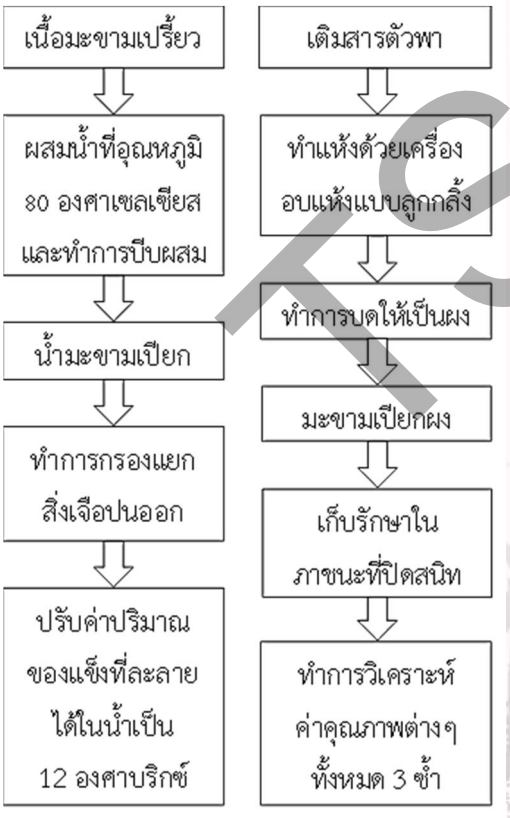
น้ำมะขามเปียกถูกจัดอยู่ในกลุ่มของวัตถุดิบที่มีความเหนียวและสามารถทำให้เป็นผงแห้งได้ยาก เนื่องจากมีองค์ประกอบของกรดและน้ำตาลสูงซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้น้ำมะขามเปียกเกิดการเหนียวและเกาะติดในระหว่างกระบวนการแปรรูปเป็นน้ำมะขามเปียกผง ดังนั้นเพื่อลดหรือป้องกันการเกิดความเหนียวของน้ำมะขามเปียกในระหว่างกระบวนการทำแห้งจึงต้องทำการเติมสารช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งหรือสารตัวพา เช่น มอลโตเดกซ์ทริน แป้งชัคชินิลกัมอารบิก เป็นต้น เพื่อช่วยให้กระบวนการทำแห้งสามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ ทั้งยังทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความคงตัวและกลิ่นรสที่ดีขึ้น [3] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของสารตัวพา สามชนิดที่มีต่อกระบวนการทำแห้งน้ำมะขามเปียกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งเพื่อเป็นแนวทางในการทำแห้งน้ำมะขามเปียกผงที่เหมาะสมต่อไป

TSAE

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมน้ำมะขามเปียก

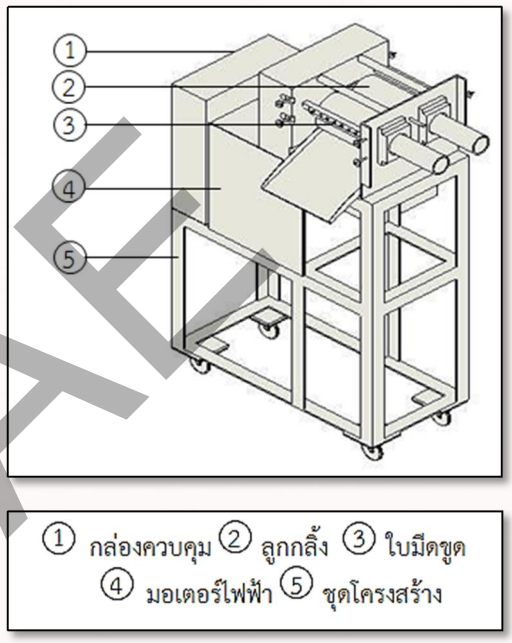
นำเนื้อมะขามเปรี้ยวผสมกับน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วนของเนื้อมะขามเปียกต่อน้ำเป็น 1:5 โดยน้ำหนัก และทำการกรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อคัดแยกสิ่งเจือปนออก พร้อมทั้งทำการปรับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำให้เป็น 12 องศาบริกซ์ แล้วจึงทำการเติมสารตัวพาแต่ละชนิดได้แก่ มอลโตเดกซ์ทริน (Maltodextrin; MD) แป้งซัคซินิล (Octenyl succinate modified starch, OSA) และกัมอารบิก (Gum arabic; GA) ลงในน้ำมะขามเปียกที่อัตราส่วนของน้ำมะขามเปียกต่อสารตัวพาเท่ากับร้อยละ 1:0.3, 1:0.4, 1:0.5, 1:0.6, 1:0.7, 1:0.8 โดยน้ำหนัก พร้อมทั้งนำมาทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งจนได้ผลิตภัณฑ์ที่แห้ง จากนั้นจึงทำการบดให้เป็นผงตามขนาดที่ต้องการจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นมะขามเปียกผง พร้อมทั้งนำมาทำการวิเคราะห์ค่าคุณภาพต่างๆ ทั้งหมด 3 ซ้ำ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง

2.2 เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (รูปที่ 2) ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 5 ส่วน คือ กล่องควบคุม เป็นกล่องควบคุมอุณหภูมิและความเร็วรอบของลูกกลิ้ง ซึ่งจะกำหนดให้เท่ากับ 140 องศาเซลเซียส และ 0.50 รอบต่อนาที ตามลำดับ ลูกกลิ้ง เป็นทรงกระบอกกลวงที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวเท่ากับ 0.15 เมตร และ 0.20 เมตร ตามลำดับ ใบมีดขูด เป็นมีดที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมใช้สำหรับขูดอาหารที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแล้ว มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าใช้สำหรับขับเคลื่อนการทำงานของเครื่องชุดโครงสร้างเป็นฐานที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมใช้สำหรับรองรับน้ำหนักทั้งหมดของเครื่อง



2.3 การตรวจสอบคุณภาพ

นำผลิตภัณฑ์มะขามเปียกผงมาทำการวิเคราะห์ค่าคุณภาพต่างๆ ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น ปริมาณร้อยละของผลผลิต ปริมาณกรดทั้งหมด ความหนาแน่น และความสามารถในการละลาย โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1) ปริมาณความชื้น (Moisture content) ทำการวิเคราะห์ด้วยการนำผลิตภัณฑ์จำนวน 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอบแห้งที่ทราบน้ำหนัก จากนั้น นำผลิตภัณฑ์มาอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่ แล้วจึงนำถ้วยอบแห้งออกมาใส่โถดูดความชื้นปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนักพร้อมทั้งนำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณความชื้นดังสมการ (1)

$$Moisture\ content = \left(\frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1}\right) x100 \quad ...(1)$$

เมื่อ W_1 เป็นน้ำหนักเริ่มต้นของถ้วยอบแห้งมีหน่วยเป็นกรัม W_2 เป็นน้ำหนักของถ้วยและน้ำมะขามเปียกก่อน

TSAE

อบแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม W_3 เป็นน้ำหนักของถ้วยอบแห้งและน้ำมะขามเปียกหลังอบแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

2) ปริมาณร้อยละของผลผลิต (Product recovery) ทำการวิเคราะห์ด้วยการนำผลิตภัณฑ์จำนวน 3 กรัม ใส่ลงในถ้วยอบแห้งที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นนำผลิตภัณฑ์มาอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่ แล้วจึงนำถ้วยอบแห้งออกมาใส่โถดูดความชื้นปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนักพร้อมทั้งนำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณร้อยละของผลผลิตดังสมการ (2)

$$Productre\ covery = \frac{M_a}{M_b} x100 \quad ...(2)$$

เมื่อ M_a เป็นน้ำหนักแห้งของมะขามเปียกผงทั้งหมดหลังออกจากเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งมีหน่วยเป็นกรัม M_b เป็นน้ำหนักแห้งของน้ำมะขามเปียกทั้งหมดก่อนป้อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง มีหน่วยเป็นกรัม

3) ปริมาณกรดทั้งหมด (Total acidity) ทำการวิเคราะห์ด้วยการนำผลิตภัณฑ์จำนวน 10 มิลลิลิตรผสมกับน้ำกลั่นจำนวน 20 มิลลิลิตร แล้วใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร พร้อมทั้งทำการหยดสารอินดิเคเตอร์ลงไป 3 หยด จากนั้นทำการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซค์ 0.1 นอร์มัล จนถึงจุดยุติ สารละลายจะเกิดเป็นสีชมพูอ่อน ทำการบันทึกผลของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซค์ที่ใช้ไป พร้อมทั้งนำค่าที่ได้มาคำนวณปริมาณกรดเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรดทาร์ทาริกดังสมการที่ (3)

$$Totalac\ idity = \frac{VxNxM_w x100}{Ux100} \quad ...(3)$$

เมื่อ V เป็นปริมาณของด่างที่ใช้ในการไทเทรตจนถึงจุดยุติ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร N เป็นนอร์มัลของด่างที่ใช้ในการไทเทรต M_w เป็นน้ำหนักโมเลกุลของกรดทาร์ทาริกซึ่งมีค่าเท่ากับ 150 U เป็นปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการไทเทรต มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

4) ความหนาแน่น (Bulk density) ทำการวิเคราะห์ด้วยการนำผลิตภัณฑ์เทลงในภาชนะที่ทราบปริมาตร โดยให้ผลิตภัณฑ์และภาชนะอยู่ห่างกันเป็นระยะทาง 0.1 เมตร แล้วจึงเทผลิตภัณฑ์ให้มีการตกอย่างอิสระตามแรงโน้มถ่วงจนล้นภาชนะ จากนั้นทำการปาดที่ด้านบนของภาชนะให้เรียบและนำมาชั่งน้ำหนักพร้อมทั้งนำค่าที่ได้มาคำนวณความหนาแน่นดังสมการ (4)

$$Bulkdens\ ity \frac{m}{v} \quad ...(4)$$

เมื่อ m เป็นมวลของมะขามเปียกผง มีหน่วยเป็นกิโลกรัม และ v เป็นปริมาตรของภาชนะบรรจุมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

5) ความสามารถในการละลาย (Solubility) ทำการวิเคราะห์ด้วยการนำผลิตภัณฑ์จำนวน 1 กรัม ใส่ลงในหลอดเหวี่ยง และทำการเติมน้ำจำนวน 10 มิลลิลิตร พร้อมทั้งทำการผสมให้ละลายที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นสารละลายไปเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที หลังจากนั้นนำสารละลายในส่วนที่ใสเทลงในถ้วยอบแห้งที่ทราบน้ำหนัก แล้วนำผลิตภัณฑ์มาอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่ แล้วจึงนำถ้วยอบแห้งออกมาใส่โถดูดความชื้นปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนักพร้อมทั้งนำค่าที่ได้มาคำนวณความสามารถในการละลายดังสมการ (5)

$$\text{Solubility} = \frac{M_s}{M_p} \text{x100} \quad ...(5)$$

เมื่อ Ms เป็นน้ำหนักแห้งของสารละลายใสมีหน่วยเป็นกรัม Mp เป็นน้ำหนักแห้งของมะขามเปียกผง มีหน่วยเป็นกรัม

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

หลังจากน้ำมะขามเปียกผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งและนำมะขามเปียกผงไปตรวจวัดคุณภาพแล้ว จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows 18.0 และทำการวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยการเปรียบเทียบเชิงพหุคูณแบบ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ (α) 0.05 ซึ่งจะแสดงข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. ผลการทดลอง

3.1 สมบัติของน้ำมะขามเปียกเริ่มต้น

เมื่อนำน้ำมะขามเปียกมาทำการปรับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำเป็น 12 องศาบริกซ์ปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นร้อยละ 11.71 ปริมาณความชื้นเป็นร้อยละ 88.29 และปริมาณกรดทั้งหมดเป็นร้อยละ 24.50

3.2 ความสามารถในการอบแห้ง

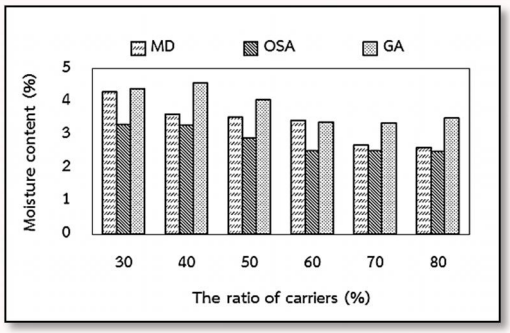
เมื่อใช้สารตัวพามอลโตเดกซ์ทรินที่อัตราส่วน 1:0.3, 1:0.4, 1:0.5 น้ำมะขามเปียกเหนียวและไม่สามารถร่อนออกมาจากลูกกลิ้งโดยใช้ใบมีดขูดได้ เช่นเดียวกับการใช้สารตัวพาแป้งซัคซินิลที่อัตราส่วน 1:0.3 ขณะที่เมื่อใช้สารตัวพามอลโตเดกซ์ทรินที่อัตราส่วน 1:0.6, 1:0.7, 1:0.8 น้ำมะขามเปียกแห้งและสามารถร่อนออกมาจากลูกกลิ้งโดยใช้ใบมีดขูดได้ เช่นเดียวกับการใช้สารตัวพาแป้งซัคซินิลและกัมอารบิกที่อัตราส่วน 1:0.4, 1:0.5, 1:0.6, 1:0.7, 1:0.8 และ 1:0.3, 1:0.4, 1:0.5, 1:0.6, 1:0.7, 1:0.8 ตามลำดับ ดังนั้นอัตราส่วน

TSAE

ต่ำสุดของการเติมสารตัวพามอลโตเดกซ์ทริน แป้งซัคซินิล กัมอารบิก ลงในน้ำมะขามเปียกจึงเป็นร้อยละ 60, 40, 30 ตามลำดับ

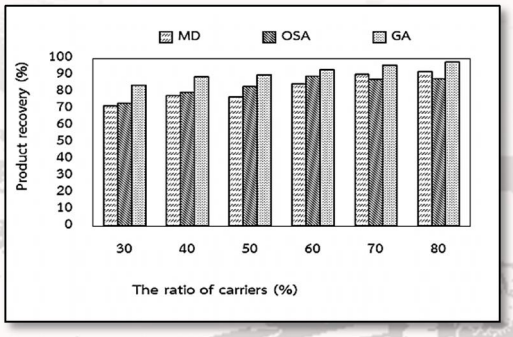
3.3 คุณภาพของผลิตภัณฑ์

จากผลการทดลองชี้ให้เห็นได้ว่าปริมาณความชื้นมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของสารตัวพาเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 3 เนื่องจากสารตัวพาช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งในสารละลายส่งผลให้กระบวนการอบแห้งเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ [4] นอกจากนี้ยังพบว่า สารตัวพาแป้งซัคซินิลมีปริมาณความชื้นที่ดีกว่าสารตัวพามอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิกในทุกอัตราส่วน



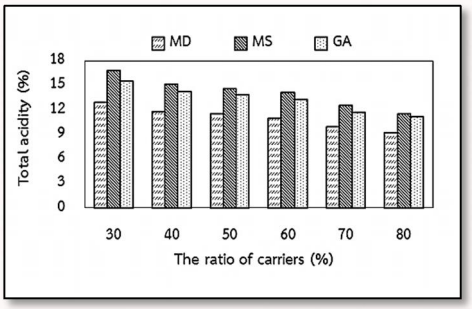
รูปที่ 3 ปริมาณความชื้นของมะขามเปียกผง

จากผลการทดลองชี้ให้เห็นได้ว่าปริมาณร้อยละของผลผลิตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของสารตัวพาเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4 เนื่องจากสารตัวพาช่วยเจือจางปริมาณกรดและน้ำตาลที่อยู่ในน้ำมะขามเปียกให้มีความเข้มข้นลดลง ส่งผลให้กระบวนการทำแห้งสามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ [5] นอกจากนี้ยังพบว่า สารตัวพากัมอารบิกมีปริมาณร้อยละของผลผลิตที่ดีกว่าสารตัวพามอลโตเดกซ์ทรินและแป้งซัคซินิลในทุกอัตราส่วน



รูปที่ 4 ปริมาณร้อยละผลผลิตของมะขามเปียกผง

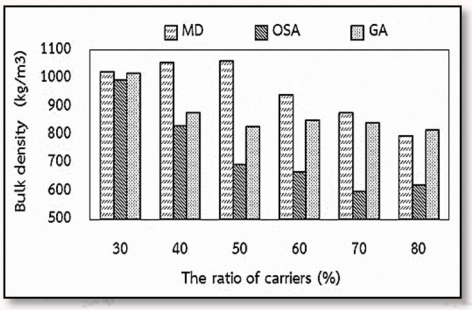
จากผลการทดลองชี้ให้เห็นได้ว่าปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของสารตัวพาเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 5 เนื่องจากน้ำมะขามเปียกถูกเจือจางด้วยสารตัวพาในปริมาณที่เพิ่มขึ้นก่อนนำมาผ่านกระบวนการอบแห้ง [6] นอกจากนี้ยังพบว่าสารตัวพาแป้งซัคซินิลมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ดีกว่าสารตัวพามอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิกในทุกอัตราส่วน



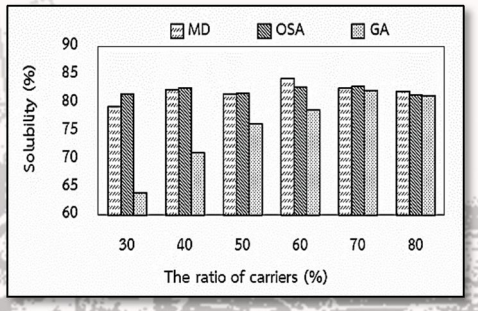
รูปที่ 5 ปริมาณกรดทั้งหมดของมะขามเปียกผง

จากผลการทดลองชี้ให้เห็นได้ว่าความหนาแน่นมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของสารตัวพาเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 6 เนื่องจากสารตัวพาช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งในสารละลายส่งผลให้อนุภาคมีความพรุนเพิ่มขึ้นและสามารถระเหยน้ำออกไปได้ดี [7] นอกจากนี้ยังพบว่า สารตัวพาแป้งซัคซินิลจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นต่ำหรือน้ำหนักที่น้อยกว่าสารตัวพามอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิกในทุกอัตราส่วน

จากผลการทดลองชี้ให้เห็นได้ว่าความสามารถในการละลายมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของสารตัวพาเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 7 เนื่องจากสารตัวพาช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งในสารละลายส่งผลให้อนุภาคมีความพรุนเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาทำการละลายโมเลกุลของน้ำจึงสามารถแทรกตัวเข้าไปจับกับผงได้ดี [8]



รูปที่ 6 ความหนาแน่นของมะขามเปียกผง



รูปที่ 7 ความสามารถในการละลายของมะขามเปียกผง

TSAE

3.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าคุณภาพต่างๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติดังตารางที่ 1 โดยมะขามเปียกผงจะมีความชื้นต่ำสุดเมื่อใช้แป้งซัคซินิลร้อยละ 80 มีปริมาณร้อยละของผลผลิตสูงสุดเมื่อใช้กัมอารบิกร้อยละ 80 มีปริมาณกรดทั้งหมดสูงสุดเมื่อใช้แป้งซัคซินิลร้อยละ 30 มีปริมาณความหนาแน่นต่ำสุดเมื่อใช้แป้งซัคซินิลร้อยละ 70 และมีความสามารถในการละลายสูงสุดเมื่อใช้ มอลโตเดกซ์ทรินร้อยละ 60

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่าคุณภาพต่างๆ

No.	Carrier (%)	MC (%)	PR (%)	TA (%)	BD (kg/m^3)	SO (%)
1	MD = 30	4.31±0.22^{a}	71.98±0.24^{a}	12.90±0.15^{a}	1024.49±9.79^{a}	79.25±1.36^{ab}
2	MD = 40	3.62±0.02^{b}	78.12±0.09^{b}	11.80±0.08^{b}	1057.23±11.44^{b}	82.31±0.38^{bc}
3	MD = 50	3.54±0.33^{bd}	77.20±0.23^{c}	11.45±0.08^{c}	1062.94±12.75^{b}	81.41±5.06^{bc}
4	MD = 60	3.43±0.14^{bd}	85.00±0.22^{d}	10.90±0.08^{d}	943.68±8.89^{c}	84.15±0.93^{c}
5	MD = 70	2.70±0.08^{ce}	90.59±0.02^{e}	9.90±0.15^{e}	879.11±5.28^{d}	82.56±2.08^{bc}
6	MD = 80	2.63±0.15^{c}	92.28±0.37^{f}	9.20±0.08^{f}	796.23±2.55^{e}	81.95±2.37^{bc}
7	OSA = 30	3.33±0.22^{d}	73.29±0.40^{g}	16.80±0.15^{g}	995.29±7.80^{f}	81.41±0.45^{bc}
8	OSA = 40	3.29±0.11^{d}	80.03±0.15^{h}	15.10±0.08^{h}	832.66±22.48^{glm}	82.50±2.06^{bc}
9	OSA = 50	2.91±0.07^{e}	83.29±0.12^{i}	14.60±0.08^{i}	694.27±9.91^{h}	81.64±2.43^{bc}
10	OSA = 60	2.53±0.06^{c}	89.74±0.43^{j}	14.05±0.08^{j}	669.85±3.82^{i}	82.64±1.12^{bc}
11	OSA = 70	2.53±0.02^{c}	87.55±0.16^{k}	12.55±0.08^{k}	600.65±6.54^{j}	82.92±2.64^{bc}
12	OSA = 80	2.50±0.05^{c}	88.20±0.16^{l}	11.50±0.08^{cl}	623.97±2.56^{k}	81.37±0.45^{bc}
13	GA = 30	4.40±0.03^{af}	84.11±0.17^{m}	15.45±0.00^{m}	1018.40±14.00^{a}	63.88±1.63^{d}
14	GA = 40	4.56±0.12^{f}	89.09±0.18^{n}	14.20±0.08^{j}	877.87±27.36^{d}	70.98±0.55^{e}
15	GA = 50	4.07±0.08^{g}	90.41±0.36^{e}	13.85±0.08^{n}	829.73±19.05^{gm}	76.17±3.92^{a}
16	GA = 60	3.39±0.03^{bd}	93.41±0.03^{o}	13.30±0.08^{o}	853.73±11.03^{l}	78.65±1.82^{ab}
17	GA = 70	3.36±0.09^{d}	96.04±0.16^{p}	11.65±0.08^{bl}	843.07±17.89^{lm}	82.08±5.44^{bc}
18	GA = 80	3.50±0.13^{bd}	97.93±0.14^{q}	11.15±0.08^{p}	818.67±8.87^{g}	81.16±0.24^{bc}

MC = ปริมาณความชื้น, PR = ปริมาณร้อยละของผลผลิต, TA = ปริมาณกรดทั้งหมด, BD = ความหนาแน่น, SO = ความสามารถในการละลาย
$^{a-q}$ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันหมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4. สรุปผลการทดลอง

ความสามารถในการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะแตกต่างกันไปตามอัตราส่วนของสารตัวพา โดยน้ำมะขามเปียกจะสามารถร่อนออกจากลูกกลิ้งโดยใช้ใบมีดขูดได้เองและมีปริมาณร้อยละของผลผลิตมากกว่าร้อยละ 80 เมื่อใช้สารตัวพามอลโตเดกซ์ทริน แป้งซัคซินิล และกัมอารบิก เป็นร้อยละ 60, 40 และ 30 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (ปริมาณความชื้น ปริมาณกรดทั้งหมด ความหนาแน่น ความสามารถในการละลาย) จะเห็นว่า สารตัวพาแป้งซัคซินิลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่ามอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิก

5. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2554. มะขามเปียก. ข้อมูลการนำเข้า-ส่งออก (สถิติการส่งออก). ที่มา : http://www.-oae.go.th/oae_report/export_import/export.php. 6 พฤศจิกายน 2556.

[2] ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี. 2536. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 133 น.

[3] Bhandari, B.R., Senoussi, A., Dumoulin, D.E. and Lebert, A. 1993. Spray drying of concentrated fruit juices. Drying Technology, 11, pp. 1081- 1092.

[4] Yousefi, S., Djomeh, Z.E., Mousavi, S.M. 2011. Effect of carrier type and spray drying on the physic-cochemical properties of powdered and recon-stituted pomegranate juice (Punica Granatum L.). Journal of food science technology 48, 677-684.

TSAE

[5] วิริยะ พรมกอง, อภิญญา เอกพงษ์ และเอกสิทธิ์ อ่อนสะอาด. 2551. รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษากระบวนการผลิตมะขามอบแห้งแบบโฟม, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

[6] เปาว์ คงสุนทรกิจกุล. 2548. ผลของสารช่วยทำแห้งและสภาวะการทำแห้ง ต่อสมบัติผลิตภัณฑ์ผงในการผลิตมะขามผงโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 93 น.

[7] Walton, D.E., 2000, “The Morphology of Spray-dried Particles-A Qualitative View”, Drying Techno-logy, Vol. 18, pp. 1943-1986.

[8] Jittanit, W., Chantara-In, M., Deying, T., Ratanavong, W. 2011. Production of tamarind powder by drum dryer using maltodextrin and arabic gum as adjuncts. Journal of Songklanakarin Science and Technology 33, 33-41.

TSAE