

กระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้รวมผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายและไมโครเวฟสุญญากาศ

พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์¹ มณฑิรา นพรัตน์² ดวงพร ตั้งบำรุงพงษ์³
สุเทพ อภินันท์จารุพงศ์³

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้รวมผง โดยแบ่งการดำเนินงานเป็น 2 ขั้นตอน คือการหาสภาวะในการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศ และการเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำผักผลไม้รวมผง ซึ่งในการทดลองใช้น้ำผักผลไม้รวมที่มีอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างน้ำส้ม น้ำแครอท และน้ำมะนาวเท่ากับ 49 : 34 : 17 และที่ระดับปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 16 องศาบริกซ์เป็นวัตถุดิบเริ่มต้น จากผลการทดลองพบว่าเมื่อนำน้ำผักผลไม้รวมมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย โดยศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ระดับ 100, 110 และ 120 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินที่ระดับร้อยละ 13, 16 และ 19 โดยน้ำหนัก พบว่าการใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 110 องศาเซลเซียสและปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก จะให้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสดีที่สุด ในขณะที่การอบแห้งน้ำผักผลไม้รวมด้วยเครื่องไมโครเวฟระบบสุญญากาศ ที่ความดัน 160 ทอร์ กำลังไฟ 210 วัตต์ โดยใช้ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินที่ระดับร้อยละ 13, 16 และ 19 พบว่า การใช้ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินร้อยละ 16 โดยน้ำหนักจะให้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสดีที่สุดเช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 2 วิธี พบว่า กรรมวิธีในการอบแห้งมีผลต่อความหนาแน่นปรากฏ ปริมาณความชื้น ปริมาณวิตามินซีและสีของน้ำผักผลไม้รวมผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สำหรับขั้นตอนการเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำผักผลไม้รวมผง พบว่าการใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นกระจายโฟมโดยใช้สารละลายโปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และเทคนิคการรวมกลุ่มอนุภาคผงโดยใช้เอซิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 จะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีการละลายและค่าการกระจายตัวสูงขึ้น ในขณะที่มีความหนาแน่นปรากฏลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

คำสำคัญ เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย / เครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศ / เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นกระจายโฟม / เทคนิคการรวมกลุ่มอนุภาคผง / น้ำผักผลไม้รวมผง

¹ อาจารย์ ภาควิชาจุลชีววิทยา

² อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

³ นักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาจุลชีววิทยา

Production of Instant Fruit and Vegetable Juice by Spray Dryer and Microwave–Vacuum Dryer

Punchira Vongsawadi¹ Montira Nopharatana²

Duangporn Tangbumrungpong³ Suthep Apinunjarupong³

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Abstract

The objective of this research is to study the production of instant fruit and vegetable juice using spray dryer and microwave–vacuum dryer. The research was divided into 2 steps; optimizing the drying conditions and improving the solubility of instant fruit and vegetable juice. The mixed juice of orange juice : carrot juice : lime juice of 49 : 34 : 17 by volume with the total soluble solid of 16°Brix was used as a raw material. The fruit and vegetable juice was dried by spray dryer with the inlet temperature of hot air of 100, 110 and 120°C and maltodextrin concentration of 13, 16 and 19%. The experimental results showed that drying with the inlet temperature of hot air of 110°C with maltodextrin concentration of 16% gave the product with good sensory, physical, and chemical properties. Fruit and vegetable juice was also dried by microwave–vacuum dryer with the pressure of 160 torr and electrical power of 210 watt. The results showed that juice with maltodextrin concentration of 16% gave the product with good sensory, physical, and chemical properties. Moreover, it was found that drying conditions significantly affected the bulk density, moisture content, vitamin C content and color of instant fruit and vegetable juice at 95% confidence level. Spray drying foam technique using 1% soy protein isolated can improve solubility and dispersibility of the spray dried product, while agglomeration technique with 95% ethyl alcohol improve solubility and dispersibility of both spray dried and microwave–vacuum dried products.

Keywords : Spray Dryer / Microwave–Vacuum Dryer / Spray Drying Foam / Agglomeration / Instant Fruit and Vegetable Juice

¹ Lecturer, Department of Microbiology.

² Lecturer, Department of Food Engineering.

³ Undergraduate Student, Department of Microbiology.

1. บทนำ

ในปัจจุบันประชาชนได้ให้ความสำคัญในเรื่องของสุขภาพกันมากขึ้น อาหารเพื่อสุขภาพ จึงเป็นที่นิยมของผู้บริโภค โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์จากผักผลไม้และธัญพืชต่างๆ เนื่องจากอาหารเหล่านี้อุดมไปด้วยวิตามิน เกลือแร่ และเส้นใย งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่น้ำผักผลไม้ ซึ่งนอกจากจะเป็นเครื่องดื่มที่มีคุณค่าทางอาหารแล้ว วัตถุดิบที่ใช้ก็ไม่จำเป็นต้องใช้ผักผลไม้ที่มีคุณภาพดีเยี่ยมและอาจใช้ผักผลไม้ที่เหลือจากการแปรรูปได้เช่น แคน เศษเนื้อที่เหลือจากการทำผลไม้กระป๋อง หรืออาจใช้ผักผลไม้ที่มีตำหนิมาใช้ในการผลิต ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการบำบัดของเสียอีกทางหนึ่ง อย่างไรก็ตามการผลิตในรูปแบบน้ำผลไม้พร้อมดื่มจะมีค่าใช้จ่ายในด้านการขนส่งและการเก็บรักษา การแปรรูปน้ำผักผลไม้ในรูปแบบผงจะช่วยแก้ปัญหาข้างต้นและช่วยอำนวยความสะดวกแก่ผู้บริโภค Bhandari [1] ได้ศึกษาการอบแห้งน้ำแบล็คคอเรนท น้ำแอพริคอตและน้ำราสเบอร์รี่เข้มข้นโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายและใช้มอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารช่วยการอบแห้งพบว่าสัดส่วนของน้ำผลไม้ต่อปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินที่เหมาะสมคือ 65:35 60:40 และ 55:45 สำหรับน้ำแบล็คคอเรนท น้ำแอพริคอตและน้ำราสเบอร์รี่ตามลำดับ ในขณะที่วันเพ็ญและอุตรานูช [2] พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำผลไม้ผสมชนิดผงคือสภาวะที่มีการใช้มอลโตเด็คซ์ตรินร้อยละ 15 โดยปริมาตรและนำไปอบแห้งโดยควบคุมอุณหภูมิลมร้อนเข้าและออกของเครื่องอบแห้งเป็น 80 °C และ 65-75 °C ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการผลิตผลิตภัณฑ์ผงที่ผลิตโดยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายมักมีสมบัติการจม (Sinkability) การกระจายตัว (Dispersibility) การเปียก (Wettability) และการละลายที่ไม่ดี [3] เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จะทดลองใช้เครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ ซึ่งเป็นการอบแห้งด้วยรังสีไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศ ทำให้สามารถอบแห้งได้ที่อุณหภูมิต่ำและใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้นลง จากการอบแห้งเลือดและพลาสมาไก่โดยใช้เครื่องอบแห้งชนิดนี้ พบว่าการอบแห้งที่ความดัน 160 ทอร์ และกำลังคลื่นไมโครเวฟ 110 วัตต์จะให้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีการละลายสูงที่สุด [4] ดังนั้นการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศน่าจะมีศักยภาพในการนำไปใช้ผลิตน้ำผักผลไม้ผงที่มีคุณภาพดีได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อจะศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำผักผลไม้ผงที่ผลิตโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นกระจายและวิธีการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ นอกจากนี้ยังศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการอบแห้งทั้งสองวิธีเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้น

2. วัตถุดิบและวิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบ

แครอทใช้พันธุ์สีส้มแดงมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1-1.5 นิ้ว ยาวประมาณ 6-8 นิ้ว ส้มเขียวหวานใช้พันธุ์บางมดขนาดเบอร์ 0 และมะนาวแป้นใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 นิ้ว ผักผลไม้ทั้งหมดจากบริษัทสยามแมคโคร จำกัด สาขาบางบอน สำหรับสารช่วยในการอบแห้งในงานวิจัยนี้ใช้มอลโตเด็คซ์ตริน [Maldex 100 (ค่าสมมูลย์เด็คซ์โตส 10-13) จากบริษัท Abbra จำกัด] ส่วนสารที่ทำให้เกิดโฟมใช้ Solubilized soya protein [SOYAMIN 90 จาก บริษัท SKW Biosystems (ประเทศไทย) จำกัด]

2.2 ศึกษาสภาวะการอบแห้งน้ำผักผลไม้รวม

นำน้ำผักผลไม้รวมมาศึกษาสภาวะการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้ง 2 แบบ คือ เครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศ (Microwave-vacuum dryer) และเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย (Spray dryer)

2.2.1 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ

ศึกษาผลของมอลโตเด็กซ์ทรินต่อการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศที่กำลังไฟฟ้า 210 วัตต์ ความดัน 160 ทอร์ โดยใช้มอลโตเด็กซ์ทรินความเข้มข้นที่ระดับร้อยละ 13, 16 และ 19 โดยน้ำหนัก ในการทดลองนี้ใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (CRD) โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ การทดลองเริ่มจากเตรียมตัวอย่างน้ำผักผลไม้รวมโดยใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรของน้ำส้ม : น้ำแครอท : น้ำมะนาวในอัตราส่วน 49 : 34 : 17 ปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดให้เท่ากับ 16 °Brix ด้วยน้ำตาลทราย นำน้ำผักผลไม้ที่ได้มาให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เตินมอลโตเด็กซ์ทรินและคนจนมอลโตเด็กซ์ทรินละลายหมด นำเข้าเครื่องอบแห้งเป็นเวลา 30 นาที นำผลิตภัณฑ์แห้งมาปั่นด้วยเครื่องปั่นผสมอาหาร จากนั้นนำผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ (ปริมาณความชื้น โดยใช้ตัวอย่าง 5 กรัม อบที่อุณหภูมิ 80 °C จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ [5]; ค่าสีในสเกล L^* a^* และ b^* (Juki รุ่น JP7100, Japan) โดยค่า L^* คือค่าความสว่าง, a^* คือค่าสีแดง (-สีเขียว, +สีแดง), b^* คือค่าสีเหลือง (-สีน้ำเงิน, +สีเหลือง); ค่าการละลาย โดยใช้ตัวอย่าง 20 กรัม ละลายน้ำ 200 มล. กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 41 นำไปอบแห้งและคำนวณในรูปร้อยละโดยน้ำหนักของส่วนที่ไม่ละลาย [6]; ค่าการกระจายตัว โดยเตรียมตัวอย่าง 2 กรัมในน้ำ 100 มล. นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที ค่าการกระจายตัวหาได้จากการนำส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 205 นาโนเมตร [7]; ค่าความหนาแน่นปรากฏ [1]; ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Novasina รุ่น TH2/RTD33, Switzerland) และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง) คุณสมบัติทางเคมี (ปริมาณวิตามินซีและค่าความเป็นกรดทั้งหมดเทียบกรดซิตริก [8], และคุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 16 คน ทดสอบการยอมรับในผลิตภัณฑ์โดยใช้ 5-point Hedonic scale และทดสอบความเข้มของแต่ละปัจจัยโดยใช้การทดสอบแบบ Quantitative Descriptive Analysis with scaling. [9]

2.2.2 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย

ศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อคุณภาพน้ำผักผลไม้รวมผงจากการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย ซึ่งใช้หัวฉีดแบบความดัน โดยกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องให้มีอัตราการป้อนอยู่ในช่วง 0.98-1.40 ลิตร/ชั่วโมง อุณหภูมิลมร้อนขาออกอยู่ในช่วง 65-70 องศาเซลเซียส และความดันหัวฉีดที่ 2.75 บาร์ การทดลองนี้ใช้การวางแผนแบบ Factorial ขนาด 3x3 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ โดยแปรค่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเป็น 100, 110, 120 องศาเซลเซียส และร้อยละ 13, 16, 19 ตามลำดับ นำผลิตภัณฑ์น้ำผักผลไม้รวมผงมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ประสาทสัมผัสและพิจารณาคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งเช่นเดียวกับข้อ 2.2.1

2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากข้อ 2.2.1 กับ 2.2.2

ศึกษาความแตกต่างของคุณสมบัติทางด้านเคมี และกายภาพของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายและไมโครเวฟสุญญากาศ

2.4 ศึกษาการเพิ่มความสามารถในการละลาย

ศึกษาการเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายโดยใช้เทคนิคการพ่นกระจายโฟม (Spray drying foam) และการรวมกลุ่มอนุภาคผง (Agglomeration) สำหรับน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟระบบสุญญากาศ ใช้เทคนิคการรวมกลุ่มอนุภาคผงเพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายเพียงอย่างเดียว

2.4.1 การพ่นกระจายโฟม (Spray drying foam)

ในการทดลองนี้ใช้ Solubilized soya protein isolated เป็นสารที่ช่วยทำให้เกิดโฟม (Foaming agent) โดยใช้ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก นำสารละลาย solubilized soya protein isolated มาโฮโมจีไนซ์ที่ความเร็วรอบ 15,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้โปรตีนถั่วเหลืองละลายเป็นเนื้อเดียว นำสารละลายโปรตีนถั่วเหลืองมาเจือจางด้วยน้ำผักผลไม้รวมจนมีความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก [10] ในการเจือจางด้วยน้ำผักผลไม้รวมนี้จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการโฮโมจีไนซ์ในเซชัน ที่ความเร็วรอบ 15,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาทีเพื่อให้สารละลายโปรตีนถั่วเหลืองมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำผักผลไม้รวมพร้อมเกิดโฟมขึ้น นำสารละลายน้ำผักผลไม้ที่ได้ไปผ่านการอบแห้งแบบพ่นกระจาย นำผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการละลายเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจาย โดยคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการละลายที่พิจารณาได้แก่ ค่าการละลาย ค่าการกระจายตัว และความหนาแน่นปรากฏ

2.4.2 การรวมกลุ่มอนุภาคผง (Agglomeration)

นำน้ำผักผลไม้รวมผงมาให้ความชื้นโดยการฉีดพ่นเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 จากนั้นค้อนอนุภาคผงให้ทั่วด้วยแท่งแก้วแล้วเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำผงที่ผ่านการรวมกลุ่มอนุภาคมาวิเคราะห์คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการละลายเช่นเดียวกับข้อ 2.4.1

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

3.1 ศึกษาสถานะการอบแห้งน้ำผักผลไม้รวม

3.1.1 การอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ

จากการทดลองเมื่อแปรปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินที่ระดับร้อยละ 13, 16 และ 19 โดยน้ำหนัก พบว่าการอบแห้งโดยใช้ปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินร้อยละ 13 โดยน้ำหนักไม่สามารถอบแห้งน้ำผักผลไม้รวมได้ (ตารางที่ 3.1) เนื่องจากมีปริมาณมอลโตเดกซ์ตรินน้อยเกินไป จึงไม่เพียงพอที่จะไปห่อหุ้มส่วนประกอบของน้ำผักผลไม้อื่นได้แก่ น้ำตาลและของแข็งที่ละลายได้อื่นๆ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์

ที่ได้มีลักษณะเป็นยางเหนียวและเกิดการไหม้ของน้ำตาลบางส่วน ทำให้ไม่สามารถอบแห้งต่อไปได้ สำหรับการใช้ปริมาณมอลโตเด็ทซ์ทรินร้อยละ 16 และ 19 โดยน้ำหนัก พบว่าผลิตภัณฑ์ผงที่ระดับมอลโตเด็ทซ์ทรินร้อยละ 16 และ 19 มีสีส้มแดงแห้งและขึ้นฟู

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ

ปริมาณมอลโตเด็ทซ์ทริน (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน					
	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	a_w	pH	ความหนาแน่นปรากฏ (กรัม/มล.)	ค่าการละลาย (ร้อยละของตะกอนที่เหลือ)	ค่าการแพร่กระจายของผง (A_{205nm})
13	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
16	$2.86^a \pm 0.02$	$0.25^a \pm 0.01$	$3.39^a \pm 0.04$	$0.45^b \pm 0.05$	$2.23^a \pm 0.15$	$0.444^a \pm 0.012$
19	$2.84^a \pm 0.05$	$0.24^a \pm 0.01$	$3.43^a \pm 0.05$	$0.61^a \pm 0.04$	$2.10^a \pm 0.04$	$0.452^a \pm 0.015$

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวเดียวกัน (a,b,...) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

หมายเหตุ N/D หมายความว่า ที่สภาวะนั้นไม่สามารถอบแห้งได้

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ผงมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพพบว่าค่าความชื้น a_w pH ค่าการละลาย และค่าการแพร่กระจายของผงน้ำผักผลไม้รวมที่ระดับมอลโตเด็ทซ์ทรินร้อยละ 16 และ 19 โดยน้ำหนัก มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าความหนาแน่นปรากฏของผงน้ำผักผลไม้รวมทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากมอลโตเด็ทซ์ทรินที่ใช้ นอกจากจะทำหน้าที่เป็นสารช่วยอบแห้งแล้ว ยังเพิ่มปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์อีกด้วย [11] ดังนั้นน้ำผักผลไม้รวมที่ร้อยละของมอลโตเด็ทซ์ทรินเท่ากับ 19 โดยน้ำหนัก จึงมีความหนาแน่นปรากฏสูงกว่าที่ระดับร้อยละของมอลโตเด็ทซ์ทรินเท่ากับ 16 โดยน้ำหนัก

เมื่อเปรียบเทียบสีของน้ำผักผลไม้รวมและน้ำผักผลไม้รวมคือนรูป พบว่า ค่า L^* a^* และ b^* ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3.2) โดยเมื่อพิจารณาค่า L^* ของน้ำผักผลไม้สดเทียบกับน้ำผักผลไม้รวมคือนรูปพบว่า น้ำผักผลไม้สดมีค่า L^* สูงกว่าน้ำผักผลไม้รวมคือนรูป แสดงว่ากระบวนการอบแห้งทำให้ความสว่างของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป กล่าวคือ ในระหว่างการอบแห้งผลิตภัณฑ์ผงจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่มีเอนไซม์เข้าเกี่ยวข้อง (Non-enzymatic Browning) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลในน้ำตาลรีดิวซ์กับอะมิโนอิสระที่มีอยู่ในน้ำผักผลไม้ [12] เป็นผลให้เมื่อนำผงน้ำผักผลไม้รวมมาคือนรูปจะมีค่าความสว่างน้อยลง ส่วนค่า a^* และค่า b^* ของน้ำผักผลไม้รวมคือนรูปมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับค่า a^* และ b^* ของน้ำผักผลไม้สด (ตารางที่ 3.2) แสดงว่าน้ำผักผลไม้รวมคือนรูปมีความเป็นสีแดงและความเป็นสีเหลืองลดลงตามลำดับที่เป็นเช่นนี้เพราะแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีอยู่ในน้ำผักผลไม้ถูกออกซิไดซ์โดยความร้อนในระหว่างการอบแห้ง [13]

ตารางที่ 3.2 ค่าสีของน้ำผักผลไม้รวมอบแห้ง โดยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ

ร้อยละมอลโตเด็กซ์ทริน (โดยน้ำหนัก)	สถานภาพ	L*	a*	b*
13	น้ำผักผลไม้รวมสด น้ำผักผลไม้รวมคั้นรูป	4.08 ^b ± 0.08 N/D	5.56 ^c ± 0.01 N/D	6.77 ^b ± 0.13 N/D
16	น้ำผักผลไม้รวมสด น้ำผักผลไม้รวมคั้นรูป	4.11 ^b ± 0.02 3.87 ^c ± 0.04	5.68 ^b ± 0.07 5.06 ^d ± 0.09	6.82 ^b ± 0.04 6.43 ^c ± 0.07
19	น้ำผักผลไม้รวมสด น้ำผักผลไม้รวมคั้นรูป	4.60 ^a ± 0.03 3.02 ^d ± 0.02	6.53 ^a ± 0.05 4.83 ^e ± 0.03	7.68 ^a ± 0.05 4.99 ^d ± 0.05

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน (a,b,...) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

หมายเหตุ N/D หมายความว่า ที่สภาวะนั้นไม่สามารถอบแห้งได้

เมื่อนำน้ำผักผลไม้รวมและผงน้ำผักผลไม้รวมคั้นรูปมาวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีและกรดพบว่าก่อนทำการอบแห้งน้ำผักผลไม้รวมด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ ตัวอย่างทั้ง 3 มีปริมาณร้อยละของกรดทั้งหมดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปริมาณวิตามินซีมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3.3) โดยพบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นปริมาณวิตามินซีจะลดลง เพราะในขั้นตอนการละลายผงมอลโตเด็กซ์ทรินมีการให้ความร้อนแก่น้ำผักผลไม้รวมเพื่อทำให้น้ำผักผลไม้รวมละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำผักผลไม้รวม ซึ่งระยะเวลาในการให้ความร้อนจะแปรผันตามกับปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน ในขณะที่วิตามินซีเป็นวิตามินที่ไวต่อความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชัน [12], [14] ดังนั้นน้ำผักผลไม้รวมที่ใช้มอลโตเด็กซ์ทรินในปริมาณมากจะสูญเสียวิตามินสูงด้วยเช่นกัน เมื่อนำน้ำผักผลไม้รวมผงมาวิเคราะห์หาปริมาณความเป็นกรดทั้งหมดและปริมาณวิตามินซีพบว่ามีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับน้ำผักผลไม้สด โดยการสูญเสียกรดที่ระเหยได้เป็นผลมาจากความร้อนที่ใช้ เนื่องจากกรดที่ระเหยได้จะมีจุดเดือดต่ำ ในขณะที่การสูญเสียวิตามินซีมีสาเหตุมาจากความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการอบแห้ง [12], [14]

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำผักผลไม้รวมอบแห้ง โดยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ

ร้อยละของมอลโตเด็กซ์ทริน (โดยน้ำหนัก)	ร้อยละของกรดทั้งหมด (เทียบกรดซิตริก)		ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม/100มิลลิลิตร)	
	ก่อนอบแห้ง	หลังอบแห้ง	ก่อนอบแห้ง	หลังอบแห้ง
13	1.87 ^a ± 0.03	N/D	23.24 ^a ± 1.30	N/D
16	1.85 ^{a,1} ± 0.04	1.44 ^{b,2} ± 0.05	20.70 ^{b,n} ± 1.19	17.55 ^{a,m} ± 1.12
19	1.84 ^{a,1} ± 0.03	1.52 ^{a,2} ± 0.04	18.92 ^{c,n} ± 1.34	15.40 ^{b,m} ± 1.02

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันแถวเดียวกัน (a,b,...) และแนวนอนเดียวกัน (1, 2,... และ ก, ข,...)

แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

หมายเหตุ N/D หมายความว่า ที่สภาวะนั้นไม่สามารถอบแห้งได้

เมื่อนำน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้มาคั้นรูปโดยปรับให้มีความเข้มข้นเท่ากับผลิตภัณฑ์ก่อนการทำแห้งเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าน้ำผักผลไม้รวมคั้นรูปที่มีมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 16 ได้รับคะแนนการยอมรับรวมมากกว่าน้ำผักผลไม้รวมคั้นรูปที่ใช้มอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 19 (ตารางที่ 3.4) โดยที่ผลิตภัณฑ์แรกมีสีส้มแดง มีกลิ่นหอมของผักผลไม้สด รสชาติเปรี้ยวหวานเป็นที่พึงพอใจของผู้ทดสอบ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์หลังมีคะแนนทางด้านกลิ่นต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเนื่องจากมีกลิ่นของมอลโตเด็กซ์ทรินที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ จากเหตุผลข้างต้นและการใช้มอลโตเด็กซ์ทรินในปริมาณที่น้อยกว่า ดังนั้นในขั้นตอนการเพิ่มความสามารถในการละลายจะใช้ผงน้ำผักผลไม้รวมที่มีปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 16 ในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 3.4 คะแนนทางด้านประสาทสัมผัสของน้ำผักผลไม้รวมผงคั้นรูป ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟ
สูญญากาศ

ร้อยละของมอลโตเด็กซ์ทริน (โดยน้ำหนัก)	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
	สี	กลิ่น	รสชาติ	การยอมรับรวม
16	3.53 ^a \pm 0.74	3.47 ^a \pm 0.83	3.80 ^a \pm 0.86	3.60 ^a \pm 0.74
19	3.20 ^b \pm 0.68	2.67 ^b \pm 0.90	3.47 ^b \pm 0.74	3.07 ^b \pm 0.70

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวเดียวกัน (a,b,...) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

(สี 5= แดงส้ม, 1= ส้มจาง; กลิ่น 5= กลิ่นผักผลไม้สดอย่างเด่นชัด, 1 = กลิ่นขมของผิวส้ม/มะนาวหรือกลิ่นเหม็นเขียวของแครอท ;

รสชาติ 5= รสชาติกลมกล่อมไม่มีรสขมของมะนาวและรสฝืดของแครอท, 1=มีรสขมของมะนาวหรือรสฝืดของแครอท

หรือรสชาติแปลกปลอมอื่นๆ ; การยอมรับรวม 5= ชอบมากที่สุด, 1= ไม่ชอบมากที่สุด)

3.1.2 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย

เมื่อนำน้ำผักผลไม้รวมมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายพบว่าปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินและอุณหภูมิเข้ามีผลต่อปริมาณความชื้น ค่าการละลาย ค่าการแพร่กระจาย ค่าความหนาแน่นปรากฏและปริมาณวิตามินซี แต่ไม่มีผลต่อค่า a_w ค่า pH และค่าความเป็นกรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 3.5) ซึ่งเมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินต่อค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้น ค่าความหนาแน่นปรากฏ และปริมาณวิตามินซี พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนเข้าและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นลดลง (ตารางที่ 3.6 และ 3.7) โดยสภาวะที่ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้นมากที่สุดคือสภาวะที่อุณหภูมิลมร้อนเข้า 100 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก และสภาวะที่ปริมาณความชื้นน้อยที่สุดคืออุณหภูมิลมร้อนเข้า 120 องศาเซลเซียสและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 19 โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 3.5) การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเข้ามีผลทำให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ไอน้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกไปได้รวดเร็วและมากกว่าที่อุณหภูมิลมร้อนเข้าต่ำกว่า นอกจากนี้สภาวะดังกล่าวยังส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ผงมีรูปพรุนอยู่ภายในมากขึ้นทำให้มีค่าความหนาแน่นปรากฏลดลง [15] ส่วนการใช้ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่สูงขึ้นจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำลง

แต่มีความหนาแน่นปรากฏสูงขึ้น (ตารางที่ 3.7) ทั้งนี้เนื่องจากมอลโตเด็คซ์ตรินเป็นสารที่ช่วยในการอบแห้งและช่วยลดคุณสมบัติการดูดความชื้นเข้าหาตัวได้ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีความชื้นต่ำ [16] อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ผงน้ำผักผลไม้รวมที่ได้ทั้ง 9 สภาวะมีปริมาณความชื้นที่อยู่ในเกณฑ์การจำแนกน้ำผักผลไม้ในทางอุตสาหกรรม ซึ่งกำหนดให้ผลิตภัณฑ์น้ำผักผลไม้ผงมีความชื้นสุดท้ายในช่วงร้อยละ 1-4 [17] ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินจะเป็นการเพิ่มความหนืดให้กับน้ำผักผลไม้รวม ทำให้ละอองที่พ่นกระจายออกมามีขนาดใหญ่ขึ้น และมีผลต่อการระเหยของน้ำ โดยอัตราการระเหยของน้ำจะลดลงและทำให้มีความหนาแน่นปรากฏสูงขึ้น [15]

เมื่อพิจารณาคูณสมบัติด้านการละลายของน้ำผักผลไม้รวมผงพบว่าสภาวะที่ใช้มอลโตเด็คซ์ตรินร้อยละ 19 และอุณหภูมิมีร้อนชาเข้า 120 °C จะมีการละลายดีที่สุด และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าการละลายจะแปรผันตามอุณหภูมิมีร้อนชาเข้าและปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน กล่าวคือเมื่อปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิมีร้อนชาเข้าจะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีค่าการละลายเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอาหารผงที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายจะมีลักษณะเป็นทรงกลมและมี wet surface อยู่โดยรอบ ซึ่งถ้าหากมี wet surface อยู่ในปริมาณมากจะทำให้ น้ำในบริเวณดังกล่าวเกิดการตึงติดกันเอง เป็นผลให้อนุภาคผงเข้ามารวมกันเป็นก้อน ซึ่งเมื่อนำไปละลายน้ำจะทำให้มีความสามารถในการละลายลดลง [18] ดังนั้นการใช้อุณหภูมิมีร้อนชาเข้าสูงขึ้นจะทำให้น้ำผักผลไม้รวมผงมีความชื้นต่ำลงและมี wet surface อยู่รอบอนุภาคน้อย เมื่อนำไปละลายน้ำจึงละลายได้ดีกว่าน้ำผักผลไม้รวมผงที่มีความชื้นสูง เมื่อพิจารณาค่าการละลายของน้ำผักผลไม้รวมผงที่มีปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินแตกต่างกันในอุณหภูมิมีร้อนชาเข้าระดับเดียวกันพบว่าเมื่อระดับปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินมากขึ้น ค่าการละลายก็จะมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากมอลโตเด็คซ์ตรินมีส่วนช่วยในการละลาย [19] นอกจากนี้ค่าการละลายของน้ำผักผลไม้รวมผงคือนรูปร่างยังสัมพันธ์กับค่าการกระจายตัวของอนุภาคผงอีกด้วย กล่าวคือน้ำผักผลไม้รวมผงที่มีค่าการละลายดีนั้นจะมีค่าการกระจายตัวที่ดีด้วย ผลการทดลองข้างต้นสอดคล้องกับงานวิจัยของกัลยาณี [20] ซึ่งพบว่ากล้วยหอมผงที่มีค่าการละลายดีกว่า จะมีการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำดีและรวดเร็วกว่าในเวลาเท่ากัน

การสูญเสียปริมาณวิตามินซีในผลิตภัณฑ์ผักผลไม้ผงคือนรูปร่างสามารถอธิบายได้ในแนวทางเดียวกันกับการสูญเสียสารนี้ในผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการอบแห้งโดยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิมีร้อนชาเข้าสูงขึ้น ค่าปริมาณวิตามินซีจะลดลง (ตารางที่ 3.6) ทั้งนี้เนื่องจากวิตามินซีเป็นสารที่ไวต่อความร้อน [12] และจากตารางที่ 3.7 เมื่อปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินมากขึ้น ค่าปริมาณวิตามินซีจะลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากในขั้นตอนการเตรียมน้ำผักผลไม้รวมไปอบแห้งนั้นจะต้องมีการเติมมอลโตเด็คซ์ตรินลงไป ซึ่งในการละลายมอลโตเด็คซ์ตรินนั้นจะต้องใช้ความร้อนเข้าช่วยในการละลาย โดยน้ำผักผลไม้รวมที่มีปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินมากกว่าก็จะต้องใช้เวลาในการละลายนานกว่าทำให้สูญเสียวิตามินซีมากกว่า

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจาย โดยมีปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ระดับร้อยละ 13, 16 และ 19 โดยน้ำหนัก และที่อุณหภูมิรมร้อนชาเข้า 100, 110 และ 120 องศาเซลเซียส

มอลโตเด็กซ์ทริน (โดยน้ำหนัก)	อุณหภูมิรมร้อน ชาเข้า(°C)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่าการละลาย (ร้อยละของตะกอน ที่เหลือ)	การแพร่กระจาย ของผง (A_{205nm})	ความหนาแน่น ปรากฏ (กรัม /มล.)	a_w	ปริมาณ วิตามินซี (มก./100 มล.)	pH	ความเป็นกรด (ร้อยละ)
13	100	3.30 ^a ± 0.08	2.81 ^a ± 0.07	0.40 ^g ± 0.003	0.54 ^{bc} ± 0.02	0.26 ^{ns} ± 0.01	7.88 ^a ± 0.11	3.11 ^{ns} ± 0.01	1.54 ^{ns} ± 0.08
	110	3.18 ^a ± 0.04	2.61 ^b ± 0.04	0.41 ^g ± 0.006	0.49 ^{cd} ± 0.01	0.26 ^{ns} ± 0.03	7.56 ^b ± 0.07	3.13 ^{ns} ± 0.03	1.55 ^{ns} ± 0.04
	120	2.30 ^b ± 0.06	2.40 ^c ± 0.04	0.44 ^f ± 0.006	0.44 ^c ± 0.01	0.24 ^{ns} ± 0.03	6.55 ^c ± 0.17	3.15 ^{ns} ± 0.007	1.51 ^{ns} ± 0.06
16	100	2.21 ^{bc} ± 0.03	2.06 ^d ± 0.08	0.45 ^e ± 0.003	0.56 ^{ab} ± 0.01	0.25 ^{ns} ± 0.03	6.33 ^{cd} ± 0.23	3.12 ^{ns} ± 0.02	1.53 ^{ns} ± 0.05
	110	2.07 ^{cd} ± 0.10	1.85 ^e ± 0.06	0.46 ^{de} ± 0.002	0.51 ^{bc} ± 0.01	0.24 ^{ns} ± 0.03	6.12 ^{de} ± 0.16	3.13 ^{ns} ± 0.03	1.50 ^{ns} ± 0.02
	120	2.03 ^{cd} ± 0.11	1.71 ^e ± 0.05	0.46 ^{cd} ± 0.003	0.47 ^{de} ± 0.02	0.26 ^{ns} ± 0.02	5.84 ^c ± 0.09	3.10 ^{ns} ± 0.03	1.52 ^{ns} ± 0.04
19	100	2.00 ^d ± 0.11	1.50 ^f ± 0.11	0.47 ^{bc} ± 0.002	0.61 ^a ± 0.03	0.24 ^{ns} ± 0.03	6.04 ^{de} ± 0.02	3.13 ^{ns} ± 0.01	1.50 ^{ns} ± 0.04
	110	1.98 ^d ± 0.10	1.20 ^g ± 0.07	0.47 ^b ± 0.005	0.61 ^a ± 0.03	0.27 ^{ns} ± 0.01	5.81 ^e ± 0.10	3.15 ^{ns} ± 0.01	1.49 ^{ns} ± 0.05
	120	1.70 ^e ± 0.54	0.93 ^h ± 0.12	0.49 ^a ± 0.002	0.46 ^{de} ± 0.02	0.24 ^{ns} ± 0.01	4.95 ^f ± 0.17	3.12 ^{ns} ± 0.02	1.53 ^{ns} ± 0.03

ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว (a,b,...) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns (not significant) แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 3.6 อิทธิพลของอุณหภูมิขาเข้าต่อปริมาณความชื้น ความหนาแน่นของผงและปริมาณวิตามินซีจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย

อุณหภูมิ ลมร้อนขาเข้า (°C)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่าความ หนาแน่นปรากฏ (กรัม/มล.)	ค่าการละลาย (ร้อยละของ ตะกอนที่เหลือ)	การแพร่กระจาย ของผง (A _{205nm})	ปริมาณวิตามินซี (มก./100 มล.)
100	2.51 ^a ± 0.63	0.57 ^a ± 0.04	2.12 ^a ± 0.59	0.44 ^c ± 0.03	6.75 ^a ± 0.89
110	2.41 ^a ± 0.60	0.54 ^b ± 0.05	1.89 ^b ± 0.63	0.45 ^b ± 0.03	6.50 ^b ± 0.84
120	2.02 ^b ± 0.27	0.46 ^c ± 0.02	1.68 ^c ± 0.66	0.46 ^c ± 0.03	5.78 ^c ± 0.72

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว (a,b,...) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05)

ตารางที่ 3.7 อิทธิพลของปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินต่อปริมาณความชื้น ความหนาแน่นของผงและปริมาณวิตามินซีจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย

ปริมาณ มอลโตเด็คซ์ตริน (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				
	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ค่าความ หนาแน่นปรากฏ (กรัม/มล.)	ค่าการละลาย (ร้อยละของ ตะกอนที่เหลือ)	การแพร่กระจาย ของผง (A _{205nm})	ปริมาณ วิตามินซี (มก./100 มล.)
13	2.93 ^a ± 0.49	0.49 ^b ± 0.04	2.60 ^b ± 0.19	0.41 ^c ± 0.02	7.33 ^a ± 0.63
16	2.11 ^b ± 0.11	0.51 ^b ± 0.04	1.88 ^b ± 0.17	0.45 ^b ± 0.01	6.09 ^b ± 0.26
19	1.90 ^c ± 0.16	0.56 ^a ± 0.07	1.21 ^c ± 0.26	0.48 ^a ± 0.02	5.60 ^c ± 0.52

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว (a,b,...) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05)

น้ำผักผลไม้คั้นสดที่ใช้มอลโตเด็คซ์ตรินร้อยละ 13, 16 และ 19 โดยน้ำหนัก มีความแตกต่างกันในเรื่องสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของผงมอลโตเด็คซ์ตรินที่เติมลงไปในแต่ละตัวอย่างที่ไม่เท่ากันทำให้เกิดความแตกต่างทางด้านสีของน้ำผลไม้คั้นสด (ตารางที่ 3.8) และเมื่อเปรียบเทียบสีของน้ำผักผลไม้รวมกับน้ำผักผลไม้รวมผงคั้นรูปที่ได้จากสภาวะการอบแห้งพบว่าน้ำผักผลไม้รวมผงคั้นรูปทุกสภาวะมีค่า L* a* และ b* ต่ำกว่าน้ำผักผลไม้คั้นสด (ตารางที่ 3.9) แสดงว่าน้ำผักผลไม้ผงคั้นรูปมีสีคล้ำขึ้นและมีระดับของสีแดงส้มลดลง สีคล้ำที่เกิดขึ้นเป็นผลจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ในขณะที่การซีดจางลงของสีแดงส้มเป็นผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์โรทีนอยด์ที่มีอยู่ในส้มและแครอท ซึ่งโดยปกติแล้วคาร์โรทีนอยด์จะให้สีเหลืองจนถึงสีแดง แต่เมื่อถูกออกซิไดซ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นไม่มีสี [13]

ตารางที่ 3.8 ค่าการวัดสีของน้ำผักผลไม้รวมก่อนการอบแห้งแบบพ่นกระจายที่ระดับปริมาณมอลโตเด็คซ์ตรินร้อยละ 13, 16 และ 19 โดยน้ำหนัก

ปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	L*	a*	b*
13	15.61 ^c ± 0.45	6.91 ^c ± 0.33	19.18 ^c ± 0.22
16	17.86 ^b ± 0.33	7.71 ^b ± 0.17	19.90 ^b ± 0.21
19	19.22 ^a ± 0.66	8.44 ^a ± 0.13	21.82 ^a ± 0.20

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p ≤ 0.05)

ตารางที่ 3.9 ค่าการวัดสีของน้ำผักผลไม้รวมผงคั้นรูป จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายที่ระดับปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 13, 16 และ 19 โดยน้ำหนักและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 100, 110 และ 120 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C)	มอลโตเด็กซ์ทริน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	น้ำผักผลไม้รวมหลังการคั้นรูป		
		L*	a*	b*
100	13	7.18 ^g ± 0.03	4.33 ^f ± 0.05	11.20 ^h ± 0.03
	16	9.32 ^c ± 0.02	5.71 ^c ± 0.05	13.60 ^e ± 0.04
	19	9.93 ^{de} ± 0.03	6.45 ^{ab} ± 0.04	14.20 ^d ± 0.03
110	13	8.69 ^f ± 0.04	4.52 ^{ef} ± 0.02	12.52 ^e ± 0.04
	16	11.15 ^c ± 1.47	4.65 ^c ± 0.50	14.15 ^d ± 0.24
	19	11.62 ^c ± 0.03	6.27 ^b ± 0.05	16.00 ^c ± 0.06
120	13	10.19 ^d ± 0.18	4.98 ^d ± 0.05	13.35 ^f ± 0.04
	16	14.75 ^a ± 0.05	5.19 ^d ± 0.04	17.57 ^c ± 0.07
	19	13.11 ^b ± 0.02	6.66 ^a ± 0.02	17.43 ^b ± 0.07

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวเดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

การทดลองนี้ได้ทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยการคั้นรูปผงน้ำผักผลไม้รวมให้มีปริมาณน้ำเท่ากับชงก่อนนำไปอบแห้ง ผลการทดลองพบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับน้ำผักผลไม้รวมที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 110 °ซ และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 16 ซึ่งคะแนนที่ได้อยู่ในช่วงระดับเฉยๆ ถึง ชอบปานกลาง (ตารางที่ 3.10) ในขณะที่ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 19 จะทำให้เกิดกลิ่นที่ผิดแปลกไปจนทำให้ผู้ทดสอบสามารถรับรู้ได้ ส่วนการใช้ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 13 จะทำให้น้ำผักผลไม้รวมคั้นรูปที่ได้มีความหวานน้อยเกินไป ทั้งนี้เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารที่มีความหวานเล็กน้อย [15] ดังนั้นปริมาณที่ใช้จึงมีผลต่อความหวานของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3.10 คะแนนการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของน้ำผักผลไม้รวมผงคั้นรูป

มอลโตเด็กซ์ทริน (%w/w)	อุณหภูมิขาเข้า (°ซ)	ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
		สี	กลิ่น	รสชาติ	การยอมรับรวม
13	100	3.27 ^b ± 0.80	1.73 ^c ± 0.80	2.23 ^b ± 1.10	1.93 ^d ± 0.46
	110	2.20 ^c ± 0.86	2.73 ^b ± 0.46	2.33 ^b ± 1.35	3.27 ^b ± 0.65
	120	2.33 ^c ± 0.82	3.27 ^a ± 0.70	1.73 ^b ± 0.46	2.60 ^c ± 0.51
16	100	1.87 ^c ± 0.92	1.40 ^c ± 0.63	2.00 ^b ± 1.36	2.47 ^{cd} ± 1.19
	110	3.27 ^b ± 1.03	2.93 ^{ab} ± 0.59	3.93 ^a ± 0.80	3.87 ^a ± 0.74
	120	2.47 ^c ± 0.64	1.73 ^c ± 0.46	2.00 ^b ± 0.85	2.73 ^{bc} ± 0.46
19	100	2.00 ^c ± 0.76	1.53 ^c ± 0.52	1.93 ^b ± 0.80	2.67 ^c ± 0.72
	110	3.67 ^{ab} ± 0.90	2.67 ^b ± 0.49	2.00 ^b ± 0.65	2.33 ^{cd} ± 1.11
	120	4.20 ^a ± 0.68	2.60 ^b ± 0.51	2.43 ^b ± 0.92	2.40 ^{cd} ± 0.47

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

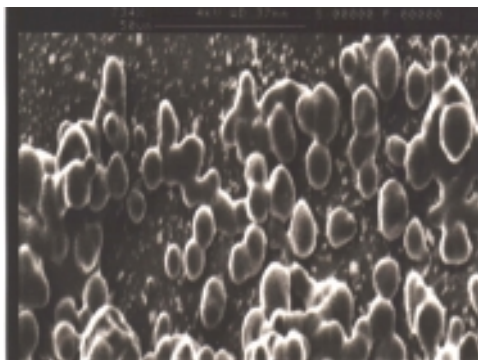
(สี 5= แดงส้ม, 1= ส้มจาง; กลิ่น 5= กลิ่นผักผลไม้สดอย่างเด่นชัด, 1 = กลิ่นขมของผิวส้ม/มะนาวหรือกลิ่นเหม็นเขียวของแครอท ; รสชาติ 5= รสชาติ กลมกล่อมไม่มีรสขมของมะนาวและรสฝืดของแครอท, 1=มีรสขมของมะนาวหรือรสฝืดของแครอทหรือรสชาติแปลกปลอมอื่นๆ ; การยอมรับรวม 5= ชอบมากที่สุด, 1= ไม่ชอบมากที่สุด)

3.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำผักผลไม้ผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายและไมโครเวฟระบบสุญญากาศ

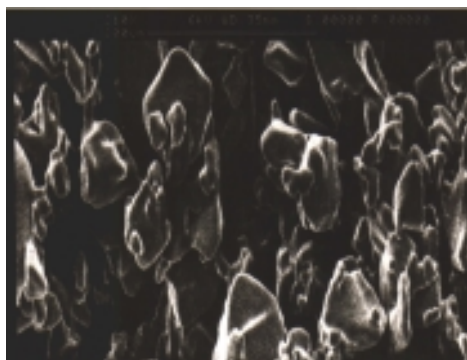
นำน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการแปรรูปจากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟระบบสุญญากาศ ความดัน 160 ทอร์ กำลังไฟ 210 วัตต์ ที่ระดับมอลโตเด็คซ์ทรินร้อยละ 16 และผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 110 °ซ ปริมาณมอลโตเด็คซ์ทรินร้อยละ 16 มาศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านค่าการละลาย ค่าการกระจายตัว ค่าความหนาแน่นปรากฏ ปริมาณความชื้น ปริมาณวิตามินซี และค่าสี พบว่าค่าการละลายของน้ำผักผลไม้รวมที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำผักผลไม้รวมที่ได้จากการอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟสุญญากาศอย่างไรก็ตามพบว่าน้ำผักผลไม้รวมที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายมีค่าการละลายสูงกว่าน้ำผักผลไม้รวมที่ได้จากการอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟสุญญากาศเล็กน้อย กล่าวคือมีค่าร้อยละของตะกอนที่เหลืออยู่น้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากน้ำผักผลไม้รวมที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าน้ำผักผลไม้รวมที่ได้จากการอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟสุญญากาศจึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสน้ำมากกว่าในปริมาณที่เท่ากัน อีกทั้งน้ำผักผลไม้รวมที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าน้ำผักผลไม้รวมที่ได้จากการอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟสุญญากาศ จึงทำให้มี wet surface ล้อมรอบน้อยกว่า [14] ส่งผลให้น้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากกระบวนการนี้มีความสามารถในการละลายดีกว่าดังที่กล่าวไว้แล้วในเรื่องของค่าการละลายของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจาย

เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 205 นาโนเมตร พบว่าน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับน้ำผักผลไม้รวมที่ได้จากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟสุญญากาศ โดยน้ำผักผลไม้รวมที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายมีค่าการกระจายตัวสูงกว่าน้ำผักผลไม้รวมที่ได้จากการอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟสุญญากาศ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายมีค่าการละลายสูงกว่าทำให้กระจายตัวออกไปในน้ำได้ดีและรวดเร็วกว่าในเวลาที่เหมาะสมจึงมีค่าการดูดกลืนแสงที่สูงกว่า

ค่าความหนาแน่นปรากฏของน้ำผักผลไม้รวมที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายมีค่ามากกว่าน้ำผักผลไม้รวมที่ได้จากการอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟสุญญากาศ และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากขนาดอนุภาคของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายมีขนาดเล็กกว่าและเป็นรูปทรงกลมที่สม่ำเสมอ (รูปที่ 1) ในขณะที่น้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟสุญญากาศมีขนาดใหญ่กว่า และมีรูปร่างที่ไม่สม่ำเสมอ เป็นเหลี่ยมและเป็นมุม (รูปที่ 2) ดังนั้นเมื่อนำน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากทั้งสองกระบวนการมาหาค่าความหนาแน่นปรากฏ น้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายจึงมีความหนาแน่นปรากฏมากกว่า



รูปที่ 1 อนุภาคน้ำผักผลไม้รวมผงผ่านการอบแห้งแบบพ่นกระจาย
ถ่ายโดยกล้อง SEM กำลังขยาย 734 เท่า



รูปที่ 2 อนุภาคน้ำผักผลไม้รวมผงผ่านการอบแห้งแบบ
ไมโครเวฟสุญญากาศ ถ่ายโดยกล้อง SEM กำลังขยาย 210 เท่า

จากการใช้ความร้อนในการอบแห้งที่สูงกว่าของการอบแห้งแบบพ่นกระจาย ส่งผลให้ปริมาณวิตามินซี และสีของอนุภาคผงของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายมีค่าต่ำกว่าและมีสีคล้ำกว่าน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟระบบสุญญากาศ จากการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีพบว่าน้ำผักผลไม้รวมผงคือนรูปที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจาย มีปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่ 6.02 มก./100 มล. ซึ่งน้อยกว่าปริมาณวิตามินซีในน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งโดยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศซึ่งเหลืออยู่ 17.55 มก./100 มล. ทั้งนี้เนื่องจากวิตามินซีเป็นสารที่ไวต่อความร้อนและปฏิกิริยาออกซิเดชัน [12], [14] ผลิตภัณฑ์ผงที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านสีมากกว่าผลิตภัณฑ์ผงที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศ ทั้งนี้เนื่องมาจากเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงกว่าและยังมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากกว่าเครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ จึงส่งผลต่อตรงควัตถุในผักและผลไม้โดยตรง ดังนั้นการอบแห้งโดยใช้อุณหภูมิที่ต่ำและระยะเวลาสั้นจะสามารถช่วยรักษาสีของผลิตภัณฑ์สุดท้ายให้มีสีที่ใกล้เคียงกับวัตถุดิบเริ่มต้น

3.3 ศึกษากระบวนการเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำผักผลไม้ผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายและไมโครเวฟสุญญากาศ

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะมีค่าการละลายค่อนข้างดี แต่เนื่องจากอนุภาคที่ได้มีขนาดเล็กหรือละเอียดมาก เมื่อนำมาละลายน้ำจะเกิดการฟุ้งกระจายบนผิวน้ำ การทำให้อนุภาคเปียกและกระจายตัวจึงต้องใช้เวลาานานหรือต้องใช้แรงกวนมาก ดังนั้นการทดลองขั้นต่อไปจะศึกษากระบวนการเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำผักผลไม้รวมผง โดยวิธีการรวมกลุ่มอนุภาคผง (Agglomeration) และกระบวนการอบแห้งแบบพ่นกระจายโฟม (Spray drying foam) ของน้ำผักผลไม้รวมผงเปรียบเทียบกับน้ำผักผลไม้รวมผงควบคุมจากเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายและใช้วิธีการรวมกลุ่มอนุภาคผงเพียงอย่างเดียวสำหรับน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟระบบสุญญากาศ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.11 และ 3.12

ตารางที่ 3.11 เปรียบเทียบคุณสมบัติการละลาย การแพร่กระจาย และความหนาแน่นปรากฏของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบพ่นกระจายที่ผ่านกรรมวิธีเพิ่มการละลายแบบต่างๆ

กระบวนการที่ใช้เพิ่มการละลาย	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ค่าการละลาย (ร้อยละของตะกอนที่เหลือน้ำ)	การแพร่กระจายของผง (A_{205nm})	ความหนาแน่นปรากฏ (กรัม/มล.)
ควบคุม	1.85 ^a \pm 0.06	0.46 ^c \pm 0.002	0.51 ^a \pm 0.03
พ่นกระจายโฟม	0.25 ^b \pm 0.01	0.85 ^a \pm 0.065	0.44 ^{ab} \pm 0.01
รวมกลุ่มอนุภาค	0.23 ^b \pm 0.01	0.63 ^b \pm 0.011	0.38 ^b \pm 0.05

ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว (a,b,...) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

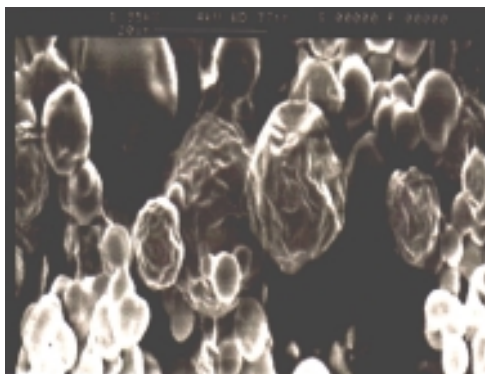
ตารางที่ 3.12 เปรียบเทียบคุณสมบัติการละลาย การแพร่กระจาย และความหนาแน่นปรากฏของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ ที่ผ่านกรรมวิธีเพิ่มการละลายแบบรวมกลุ่มอนุภาค

กระบวนการที่ใช้เพิ่มการละลาย	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	ค่าการละลาย (ร้อยละของตะกอนที่เหลือน้ำ)	การแพร่กระจายของผง (A_{205nm})	ความหนาแน่นปรากฏ (กรัม/มล.)
ควบคุม	2.32 ^a \pm 0.04	0.45 ^b \pm 0.002	0.45 ^a \pm 0.03
รวมกลุ่มอนุภาค	0.43 ^b \pm 0.05	0.62 ^a \pm 0.006	0.28 ^b \pm 0.04

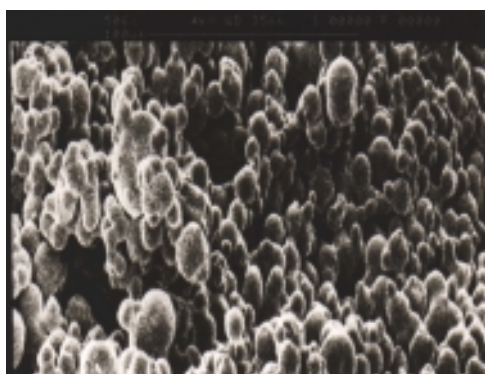
ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแต่ละแถว (a,b,...) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 3.11 พบว่าค่าการละลาย ค่าการแพร่กระจาย และค่าความหนาแน่นปรากฏของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านกระบวนการพ่นกระจายโฟมและรวมกลุ่มอนุภาคผงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากน้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบพ่นกระจายควบคุม

กล่าวคือ น้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความสามารถในการละลายทั้ง 2 วิธี มีค่าการละลายเพิ่มขึ้นมากกว่าตัวอย่างน้ำผักผลไม้รวมผงควบคุมคิดเป็นร้อยละ 86.49 และ 87.57 สำหรับการอบแห้งแบบพ่นกระจายโฝมและการรวมกลุ่มอนุภาคผง ตามลำดับ สาเหตุที่น้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านการพ่นกระจายโฝมมีค่าการละลายสูงกว่าเนื่องจากน้ำผักผลไม้รวมที่ได้มีลักษณะโปร่งและมีจำนวนช่องว่างขนาดเล็กภายในอนุภาคผงเพิ่มขึ้น อีกทั้งมีรอยย่นเกิดขึ้นบนพื้นผิว ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งรอยย่นนี้เกิดจากการหดตัวในระหว่างขั้นตอนการอบแห้ง [21] และเมื่ออนุภาคผงเย็นตัวลงทำให้มีพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับน้ำซึ่งเป็นตัวทำละลายได้มากกว่า น้ำจึงสามารถแทรกเข้าไปละลายอนุภาคได้อย่างทั่วถึง นอกจากนี้ขนาดที่ใหญ่ขึ้นของอนุภาคทำให้อนุภาคมีน้ำหนักมากกว่าแรงตึงผิวของน้ำ จึงลดการลอยตัวอยู่ที่ผิวของของเหลวลง [22] สำหรับน้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านกระบวนการรวมกลุ่มอนุภาคผงมีค่าการละลายสูงกว่าน้ำผักผลไม้ผงควบคุมเช่นกัน กล่าวคืออนุภาคผงที่ได้มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับน้ำมากขึ้น ทำให้น้ำแทรกเข้าไปในอนุภาคได้อย่างทั่วถึงและขนาดอนุภาคของอนุภาคผงที่ได้มีขนาดใหญ่กว่าน้ำผักผลไม้ผงควบคุม (รูปที่ 4) จึงลดการลอยตัวอยู่ที่ผิว [23]



รูปที่ 3 อนุภาคน้ำผักผลไม้รวมผงผ่านการอบแห้งแบบพ่นกระจายโฝม ถ่ายโดยกล้อง SEM กำลังขยาย 1,350 เท่า



รูปที่ 4 อนุภาคน้ำผักผลไม้รวมผงผ่านการอบแห้งแบบพ่นกระจาย แล้วนำมาผ่านกระบวนการรวมกลุ่มอนุภาคผง ถ่ายโดยกล้อง SEM กำลังขยาย 506 เท่า

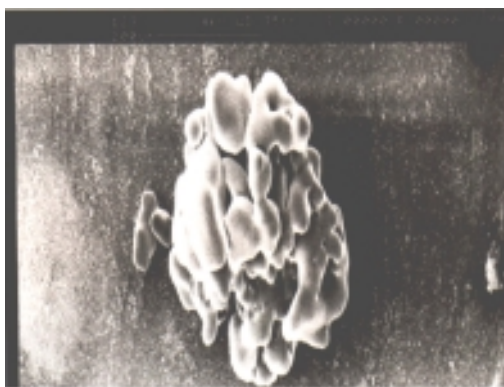
เมื่อพิจารณาด้านคุณสมบัติการแพร่กระจาย พบว่าน้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความสามารถในการละลายทั้ง 2 วิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากน้ำผักผลไม้รวมผงควบคุม (ตารางที่ 3.11) โดยพบว่ามีการแพร่กระจายตัวสูงกว่าน้ำผักผลไม้รวมผงควบคุมคิดเป็นร้อยละ 87.5 และ 38.38 สำหรับการอบแห้งแบบพ่นกระจายโฝมและการรวมกลุ่มอนุภาคผง ตามลำดับ เนื่องจากน้ำผักผลไม้รวมผงควบคุมมีขนาดเล็กมากจะเกิดการลอยตัวอยู่ที่ผิวหน้าของของเหลวและจากการที่มีอนุภาคที่เล็กจะทำให้ไม่มีช่องว่างระหว่างอนุภาคเป็นผลให้น้ำไม่สามารถแทรกซึมผ่านระหว่างอนุภาคหรือแทรกซึมผ่านได้น้อย ทำให้อนุภาคไม่เปียกอย่างสม่ำเสมอ และเกิดการรวมเป็นก้อน โดยที่ผิวนอกเปียกแต่ภายในตรงกลางไม่เปียกจึงทำให้สมบัติการกระจายตัวเสียไป [24] ในขณะที่น้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความสามารถในการละลายมีขนาดใหญ่กว่าและมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำมากกว่า ค่าการละลายจึงสูงกว่าและส่งผลทำให้อนุภาคกระจายตัวออกไปได้ดีและรวดเร็วจึงมีการดูดกลืนแสงที่สูงกว่า

สำหรับค่าความหนาแน่นปรากฏของน้ำผักผลไม้รวมผงพบว่า น้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความสามารถในการละลายทั้ง 2 วิธี มีความหนาแน่นปรากฏน้อยกว่าน้ำผักผลไม้รวมผงควบคุมคิดเป็นร้อยละ 13.73 และ 25.49 สำหรับการอบแห้งแบบพ่นกระจายโฝม และการรวมกลุ่มอนุภาคผง ตามลำดับ แต่น้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านกระบวนการพ่นกระจายโฝมมีค่าความหนาแน่นปรากฏแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติจากน้ำผักผลไม้รวมผงควบคุม (ตารางที่ 3.11) อย่างไรก็ตาม ความหนาแน่นปรากฏของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นกระจายโฝมนี้มีความหนาแน่นปรากฏน้อยกว่าทั้งนี้เนื่องจากการตีผสมโฝมจะเพิ่มความสามารถในการระเหยน้ำ (Evaporative capacity) ให้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับผงควบคุม ดังนั้นผงจึงมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีรูเล็ก ๆ อยู่ภายใน ความหนาแน่นปรากฏจึงลดลง [15] ในขณะที่กระบวนการรวมกลุ่มอนุภาคผงซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นปรากฏต่ำกว่าและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากน้ำผักผลไม้รวมผงควบคุมนั้น เป็นผลมาจากการที่อนุภาคมารวมอยู่กันเป็นกลุ่มเป็นผลทำให้มีปริมาตรสูงขึ้น จึงมีค่าความหนาแน่นปรากฏลดลง

จากการศึกษาการเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟระบบสุญญากาศ (ตารางที่ 3.12) พบว่าค่าการละลาย ค่าการแพร่กระจาย และค่าความหนาแน่นปรากฏของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านกระบวนการรวมกลุ่มอนุภาคมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากน้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟสุญญากาศควบคุม กล่าวคือค่าการละลายของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านกระบวนการรวมกลุ่มอนุภาคผงมีค่ามากกว่าน้ำผักผลไม้รวมผงควบคุมคิดเป็นร้อยละ 81.47 ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคผงมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับน้ำมากขึ้น ทำให้น้ำแทรกเข้าไปได้อย่างทั่วถึงมากกว่าน้ำผักผลไม้รวมผงควบคุม

ในด้านคุณสมบัติการแพร่กระจายของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านกระบวนการรวมกลุ่มอนุภาคผงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากน้ำผักผลไม้รวมผงควบคุม โดยมีค่ามากกว่าน้ำผักผลไม้รวมผงควบคุมคิดเป็นร้อยละ 37.95 เนื่องจากน้ำผักผลไม้รวมผงมีค่าการละลายสูงขึ้น ทำให้อนุภาคผงมีการแพร่กระจายตัวไปในน้ำได้เร็วขึ้น ดังเช่นที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในเรื่องกระบวนการเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำผักผลไม้รวมผงจากกระบวนการอบแห้งแบบพ่นกระจาย

สำหรับความหนาแน่นปรากฏของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านกระบวนการรวมกลุ่มอนุภาคผงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่าน้อยกว่าน้ำผักผลไม้รวมผงที่อบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟสุญญากาศคิดเป็นร้อยละ 37.78 ขนาดอนุภาคของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ผ่านกระบวนการรวมกลุ่มอนุภาคผงมีขนาดใหญ่กว่าน้ำผักผลไม้รวมผงควบคุมเนื่องจากการรวมกลุ่มกันของอนุภาคทำให้ปริมาตรสูงขึ้น (รูปที่ 5) ดังนั้นความหนาแน่นปรากฏจึงมีค่าน้อยกว่า



รูปที่ 5 อนุภาคน้ำผักผลไม้รวมผงผ่านการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ แล้วนำมาผ่านกระบวนการรวมกลุ่มอนุภาคผง ถ่ายโดยกล้อง SEM กำลังขยาย 123 เท่า

กล่าวโดยสรุปแล้วการใช้เทคนิคการเพิ่มความสามารถในการละลายสามารถช่วยเพิ่มค่าการละลายให้กับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งทั้ง 2 วิธี และถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์ผงจากการอบแห้งแบบพ่นกระจายที่ผ่านการใช้เทคนิคการเพิ่มความสามารถในการละลายมีค่าการละลายสูงกว่าผลิตภัณฑ์ผงจากการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศที่ผ่านการใช้เทคนิคการเพิ่มความสามารถในการละลาย แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการหลังก็มีค่าการละลายที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์ผงที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นกระจายควบคุม (ตารางที่ 3.11 และ 3.12) ดังนั้นการอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศน่าจะสามารถใช้เป็นทางเลือกหนึ่งในการผลิตน้ำผักผลไม้ได้

4. สรุปผลการทดลอง

4.1 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งน้ำผักผลไม้รวมโดยวิธีการอบแห้งแบบไมโครเวฟระบบสุญญากาศคือที่ความดัน 160 ทอร์ กำลังไฟ 210 วัตต์ ปริมาณมอลโตเด็คซ์ทรินร้อยละ 16 และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายคือสภาวะที่ใช้อุณหภูมิลมร้อนเข้าเท่ากับ 110 องศาเซลเซียส ปริมาณมอลโตเด็คซ์ทรินร้อยละ 16

4.2 น้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 2 วิธี มีค่าการละลาย การกระจายตัว แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อย่างไรก็ตาม น้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายมีความสามารถในการละลายและการกระจายตัวที่ดีกว่าน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟระบบสุญญากาศ และเมื่อพิจารณาในเรื่องปริมาณความชื้น ความหนาแน่น ปริมาณวิตามินซี และค่าสีพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นกระจายมีความหนาแน่นสูงกว่า แต่มีปริมาณความชื้นและปริมาณวิตามินซีต่ำกว่า และมีสีที่ซีดจางกว่าน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟระบบสุญญากาศ

4.3 การเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำผักผลไม้รวมผงโดยวิธีการพ่นกระจายโฝม และรวมกลุ่มอนุภาคผงทำให้น้ำผักผลไม้รวมผงมีค่าการละลาย ค่าการแพร่กระจายตัว และค่าความหนาแน่นปรากฏแตกต่างจากน้ำผักผลไม้รวมผงควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยน้ำผักผลไม้รวมผงมีค่าการละลายและการแพร่กระจายตัวที่ดีขึ้น ในขณะที่มีค่าความหนาแน่นปรากฏลดลง

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์วีระชัย แก่นทรัพย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟสุญญากาศ และการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

6. เอกสารอ้างอิง

1. Bhandari, B. R., 1993, "Spray Drying of Concentrated Fruit Juices," *Drying Technology*. Vol. 11, No. 5, pp. 1081-1092.
2. วันเพ็ญ ศิลาวาณิชยกุล และอุตราหนู เปรมสมาน, 2532, "น้ำผลไม้ผสมชนิดผง," *ปริญญาณิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.*
3. Hall, C. W. and Hedrick, T. T., 1966, *Drying Milk and Milk Producing*, AVI Publishing Co. Westport, Connecticut, pp. 123-166.
4. วิภาพร ดวงจรัส สุภัญญา นนทคำจันทร์ และอรอุมา เห่งมครบุรี, 2543, "ผลการใช้พลาสมาผงและเลือดผงต่อคุณสมบัติของไส้กรอกอิมัลชัน," *ปริญญาณิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.*
5. AOAC. *Official Method of Analysis*, 1990, Association of Official Analytical Chemists, 17th edition, Washington DC.
6. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม*, 2530, เก๊กฮวยผงสำเร็จรูป มอก. 664-2530, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม.

7. Kahtani, H. A. and Hassan, B. H., 1990, "Spray Drying of Roselle (*Hisbiscus subdafiffa* L.) Extract", *J. Food Sci.*, Vol. 55, pp. 1073-1076.
8. Askar, A. and Treptow, H., 1993, *Quality Assurance in Tropical Fruit Processing*, Springer Laboratry, Berlin.
9. Powers, J. J., 1984, *Current Practices and Application of Descriptive Methods*, In *Sensory Analysis of Foods*, Piggott, J. R. (ed), Elsevier Applied Science Publishers, New York, 179-242.
10. Morgan, A. I., Graham, R. P., Ginnette, L. F., and Williams, G. S., 1961, "Recent Development in Foam-Mat Drying," *Food Technol.*, Vol. 20, pp. 202-251.
11. Merrit , C. G., 1981, "Encapsulation of Materials", *U.S. Patent 4276312*.
12. Fennema, O. R., 1976, *Principles of Food Science Part 1 : Food Chemistry*, Marcel Dekker Inc., New York, pp. 347-461, 539-575.
13. Richardson, T. and Finley, J. W., 1985, *Chemical Changes in Food during Process-*
ing, AVI Publishing Company Inc., New York, pp. 305-437.
14. Fellows, P., 1990, *Food Processing Technology: Principles and Practice*, Ellis Horwood Ltd., London, pp. 281-311, 343-350.
15. Master, K., 1991, *Spray Drying Handbook*, 5th Ed. The Bath Press. Avon, London, pp. 60-100, 599-607, 620-629.
16. เบ็ญจรักษ์ วายุกภาพ, 2542, "การผลิตน้ำอ้อยผงโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย" *วารสารอาหาร*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 1, หน้า 283-291.
17. ดรุณี ชนะนนท์กุล, 2538, *เทคโนโลยีการผลิตอาหาร*, มหาวิทยาลัยรามคำแหง, หน้า 157-160.
18. Peleg, M. and Bagley, B., 1983, *Physical Properties of Foods*, AVI Publishing Company Inc., New York, pp. 293-320.
19. Schenck, F. W. and Hebeda, R. E., 1992, *Starch Hydrolysis Products*, VCH Pub-
lisher, New York, pp. 233-275.
20. กัลยาณี โสมนัส, 2538, "การผลิตกล้วยหอมผงโดยการอบแห้งแบบพ่นกระจายและ
การอบแห้งแบบพ่นกระจายโฟม", *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์*.

21. Rosenberg, M., Kopeman, I. J., and Talmon, Y., 1985, "A Scanning Electron Microscopy Study of Mmicroencapsulation," *J. Food Sci.*, Vol. 50, p. 139.
22. Reich, I. and Johnston, W., 1957, "Spray Drying Foam," *U.S. Patent 2788276*.
23. Neff, E. and Morris, H. A. L., 1968, "Agglomeration of Milk Powder and Its Influence on Reconstitution Properties," *J. Dairy Sci.*, Vol. 51, No. 3, p. 330.
24. Bockain, A. H., Stewart, G. F., and Tappel, A. L., 1957, "Factor Effecting the Dispersibility of Instantly Dissolving Dry Milks," *J. Food Res.*, Vol. 22, p. 69.