

การกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมในเครื่องอบชนิดละอองเพื่อการแปรรูปใบย่านาง
สำหรับวิสาหกิจชุมชนขนาดเล็ก

The Spray Dryer Optimization Factor for Yanang Process
in small enterprises

¹นราธิป ภาวารี, ²สรวิทย์ ปุคะภาค, ³อริยพงษ์ พลั้วพันธ์ และ ^{4*}ชวิศร ปุคะภาค

¹Narathip Pawaree, ²Sorawin Phukapak, ³Ariyapong Puapant and ^{4*}Chawisorn Phukapak

^{1,3}สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

²สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

⁴สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

^{1,3}Department of Industrial Management, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University

²Department of Energy Engineering, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University

⁴Department of Energy and Environment Engineering, Faculty of Engineering, Rajabhat Maha Sarakham University

*ผู้นิพนธ์หลัก: p.chawisorn@gmail.com

*Corresponding author: p.chawisorn@gmail.com

Received

Reviewed

Revised

Accepted

13/02/2023

28/03/2023

21/04/2023

29/04/2023

Abstract

This research aim to optimizing factor proceed in spray dryer for Yanang processing into powder products. That the results of water solubility, color measurement, free water activity (a_w), biological properties and general characteristics, odor, Maltodextrin-De 10 added until the soluble solid content was 25 percent significantly at 0.05 level. The optimum solution of the spray dryers was 48 grams per hour at 135°C and a flow rate of 1000 ml per hour.

Keyword: Spray Dryer, Optimize Factor, Yanang

บทคัดย่อ

จากการดำเนินงานวิจัยในการกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมในเครื่องอบชนิดละอองสำหรับแปรรูปใบย่านางเพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดผง โดยดำเนินการศึกษาการศึกษาคุณสมบัติการละลายน้ำ การวัดค่าสี ค่ากิจกรรมของน้ำอิสระ (a_w) คุณสมบัติทางชีวภาพ และลักษณะทั่วไป กลิ่นรส โดยใช้มอลโตเด็คซ์ตริน De-10 (Maltodextrin-De 10) ที่ละลายได้เท่ากับร้อยละ 25 มีความเหมาะสมที่สุดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และสามารถหาผลเฉลี่ยที่เหมาะสมของเครื่องอบชนิดละอองมีปริมาณน้ำหนักระดับสูงสุดเท่ากับ 48 กรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส และ อัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

คำสำคัญ: เครื่องอบชนิดละออง, ปัจจัยที่เหมาะสม, ใบย่านาง

บทนำ

ในปัจจุบันคนไทยหันมาดูแลสุขภาพกันมาก การรับประทานอาหารที่ดีจึงเป็นจุดเริ่มต้นของสุขภาพที่ดี การแปรรูปพืชผักผลไม้เป็นผลิตภัณฑ์แบบผงสำหรับชงดื่ม หรือนำไปเป็นส่วนผสมสำหรับประกอบในอาหาร นับเป็นการแปรรูปผลผลิตที่น่าสนใจแบบหนึ่ง ซึ่งนอกจากจะช่วยให้เราได้รับสารอาหารจากผักผลไม้แล้วในอีกแง่มุมหนึ่งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร นอกจากนี้การพัฒนาการแปรรูปในรูปแบบการเป็นผงแป้ง เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ตอบสนองความต้องการด้านต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น ยืดอายุการเก็บรักษามากขึ้น การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ ผลผลิตที่ได้จากการแปรรูปสามารถนำไปบริโภคโดยตรง สามารถนำมาชงกับน้ำร้อนทาน หรือเป็นส่วนผสมของอาหาร (Mujumdar AS, 2015) เป็นต้น ซึ่งโดยปกติการแปรรูปเป็นผงแป้งหากเกิดขึ้นในกลุ่มวิสาหกิจชุมชน หรือผลิตภัณฑ์ชุมชนทั่ว ๆ ไป จะใช้วิธีการบดแห้งเป็นผง แต่ผลผลิตที่ได้มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และเมื่อนำไปละลายน้ำจะเกิดตะกอนขึ้น การทำแห้งแบบผงแป้ง เช่น ผงผัก ผงผลไม้ โปรตีนผง มักจะเกิดขึ้นในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ หรือผู้ผลิตรายใหญ่ เพราะต้นทุนในการผลิตสูง

การอบแห้งแบบแบบละอองเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งซึ่งเป็นการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ โดยทางตรงและทางอ้อม จะทำให้น้ำถูกดึงออกจากตัวถูกละลายอย่างรวดเร็ว จนทำให้ผลิตภัณฑ์เริ่มเปลี่ยนเป็นสารละลายเข้มข้น และเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ผง การอบแห้งผลผลิตเกษตรแบบผงเป็นการอบแห้งอีกวิธีที่นิยมกันในปัจจุบัน ซึ่งการทำแห้งแบบผงมีหลายวิธี เช่น การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (Roller drying) เครื่องอบแห้งแบบแบบละออง (Spray drying) และการทำแห้งแบบโฟมเมท (Foam mat drying) เป็นต้น การอบแห้งแต่ละวิธีมีจุดเด่นและจุดด้อยแตกต่างกัน เช่น วิธีการทำแห้งโฟมเมทนั้นมีต้นทุนในการผลิตต่ำ แต่กำลังการผลิตต่ำและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ ส่วนวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งให้คุณภาพที่ดีมากแต่มีต้นทุนการผลิตสูง (Kunapornsurajit, D., et al, 2013) และอีกวิธีหนึ่งคือการอบแห้งแบบแบบละอองซึ่งเป็นการอบแห้งที่เวลาที่หยดอนุภาคผงอยู่ในห้องอบแห้งสั้น ข้อดีคือมีต้นทุนการผลิตต่ำ มีอัตรากำลังการผลิตสูงสามารถผลิตแบบต่อเนื่องได้ใช้งานง่ายสามารถควบคุมและปรับสภาวะการผลิตตามผลิตภัณฑ์ที่ผู้ผลิตต้องการเช่นขนาดอนุภาคปริมาณความชื้นคุณภาพของอนุภาคผงที่ได้สม่ำเสมอตลอดกระบวนการผลิต แต่วิธีนี้ไม่เหมาะสมกับสารให้กลิ่นรสที่ไม่ทนต่อความร้อนที่สูงมากได้มีการประยุกต์เทคนิคการอบแห้ง

แบบบดละเอียดกับผลผลิตทางการเกษตร เช่น การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการเปลี่ยนสารแขวนลอยระดับนาโนให้เป็นอนุภาคขนาดเล็ก (Maria et al., 2020) เพื่อให้ส่วนผสมที่เป็นของแข็งหรือของเหลวมีประสิทธิภาพในการป้องกันสารสำคัญจากสิ่งแวดล้อม เช่น ความร้อน แสงอากาศ และอื่นๆ (Ahmed M. et al., 2010) สารละลายที่มีตัวดูดซับที่แยกตัวทำละลายที่เป็นเบสเป็นต่าง (Koech et al. 2021) ประโยชน์ของเทคนิคนี้สามารถช่วยรักษากลิ่นรสลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและสามารถเพิ่มอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้

คณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนาเครื่องอบชนิดละอองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบชนิดละอองและกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปใบย่านางในวิสาหกิจขนาดเล็ก เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปเพื่อสุขภาพ ที่ต้นทุนในการสร้างเครื่องไม่สูง ชุมชนสามารถใช้งานได้ง่าย ซึ่งการวิจัยนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ทางวิชาการ เศรษฐกิจ ชุมชนและสังคม ส่งเสริมสนับสนุนการแก้ไขปัญหาและการพัฒนาท้องถิ่นร่วมกับหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนอื่นๆ เพื่อส่งเสริมการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชน

วิธีการวิจัย

1. การออกแบบและวิเคราะห์การทำงานของเครื่องอบชนิดละอองฝอย

ศึกษาข้อมูลทั่วไปเบื้องต้นที่เกี่ยวข้อง เช่น เทคนิคการอบแห้ง วิธีการทำแห้ง ชนิดของการทำละลายและสารละลาย ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่เหมาะสม และหลักการทฤษฎีทางเครื่องจักรกล เป็นต้น เพื่อที่จะดำเนินการออกแบบเครื่องอบชนิดละอองฝอยสำหรับแปรรูปอาหารที่ยังยืนมีประสิทธิภาพ (Fiaschi et al., 2017, Akella A.K. et al., 2009, Caglayan, H. et al., 2017) ซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Dinçer i. et al., 2016) โดยหลักการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบชนิดละอองฝอย ดังแสดงใน Figure 1

ชุดโครงสร้างประกอบด้วย ห้องทำแห้ง (Drying chamber) เป็นบริเวณที่เกิดการทำแห้งอาหาร โดยอากาศร้อนแห้ง ซึ่งเป็นอากาศ ที่ถูกดูดผ่านระบบกรองและทำให้ร้อน จะปะทะกับอาหารเหลวบริเวณนี้ เกิดการระเหยของน้ำจากหยดอาหารเหลว การไหลสวนทางกัน (Counter-current flow) อาหารเหลวที่ถูกพ่นและอากาศร้อนไหลในทิศทางตรงกันข้ามเริ่มจากอุณหภูมิของอาหารที่มีอุณหภูมิต่ำเมื่อได้รับความร้อนจะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อนลักษณะนี้จะมีการถ่ายโอนความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพเหมาะสำหรับอาหารที่ทนต่อความร้อนสูงและต้องการความร้อนมาก ตัวทำละออง (Atomizer) มีหน้าที่ทำให้อาหารเหลวแตกตัวเป็นละอองฝอยเพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับความร้อนให้มากขึ้น

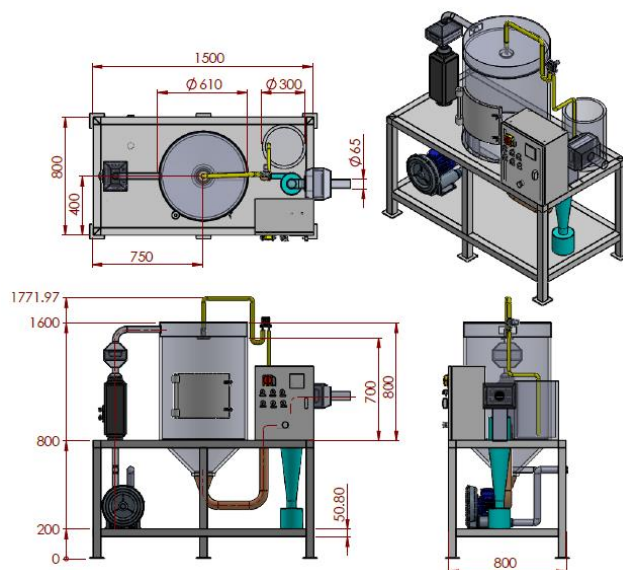


Figure 1 ออกแบบเครื่องอบชนิดละอองฝอย

โดยกำหนดชุดควบคุมอุณหภูมิให้มีขนาดกำลังงานสูงสุดที่ 15 กิโลวัตต์ โดยใช้ชุดลดความร้อนที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ขนาด 1 กิโลวัตต์ จำนวน 15 ตัว ทำการต่อวงจรไฟฟ้าแบบขนาน โดยชุดลดความร้อนทั้งหมดจะบรรจุอยู่ในตู้ให้ความร้อนขนาด 30 × 46 × 60 เซนติเมตร ดังแสดงใน Figure 2

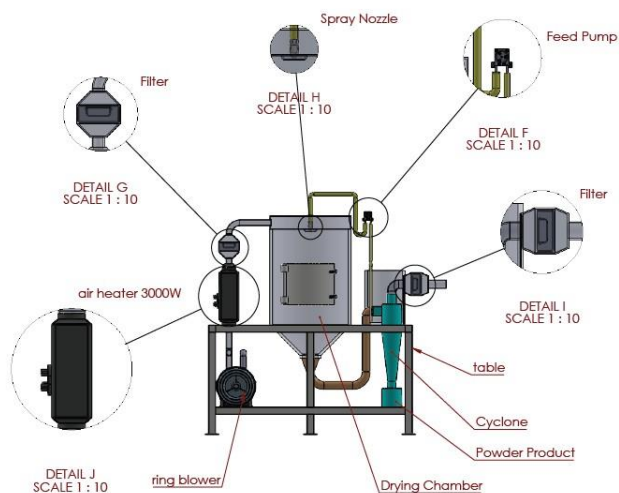


Figure 2 ห้องอบแห้งความร้อน (Drying chamber) ของเครื่องอบชนิดละอองฝอย

ในการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของ 3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบ
ละออง โดยเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดย 3 ปัจจัยที่จะทำการทดสอบ
มีดังนี้

- 1) อัตราการไหลของป้อนอยู่ที่ 500 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และ 1,000 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง
- 2) อุณหภูมิขาเข้าเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส กับ 135 องศาเซลเซียส
- 3) ความเร็วลมเท่ากับ 1.2 เมตรต่อวินาที และ 3 เมตรต่อวินาที

ชุดทดลองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย อบแห้ง (Drying chamber) พัดลมและชุดทำ
ความร้อน (Fan & Heating unit) ชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) ชุดปรับความดัน
หัวฉีด (Nozzle pressure regulator)

2. การกำหนดวัตถุดิบและทดสอบวัตถุดิบ

ในการดำเนินการทดลองครั้งนี้จะเลือกใช้ ใบย่านาง เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เป็นอาหารทาง
ยา และสามารถแปรรูปเป็นทางเลือกเพื่อเพิ่มความหลากหลายในอาหาร อีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบที่หาง่าย
ในท้องถิ่น โดยตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย คือ ใบย่านางสีเขียวเข้ม มีลักษณะใบใหญ่ ใบยาวเฉลี่ย
7 เซนติเมตร กว้าง 3 เซนติเมตร ดังแสดงใน Figure 3 โดยการทดสอบวัตถุดิบจะทำการทดสอบ ดังนี้



Figure 3 ใบย่านางที่ใช้ในการทดสอบเครื่องอบละอองฝอย

2.1 การละลายชั่งน้ำใบย่านางโดยการนำใบย่านางผงที่มีปริมาณมอลโตเด็คซ์ตริน ทั้ง 4
สูตร ได้แก่ ใช้มอลโตเด็คซ์ตริน De-10 (Maltodextrin-De 10) ดังแสดง Figure 4 เติมน้ำจนมีปริมาณ
ของแข็งที่ละลายได้เท่ากับร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 เนื่องจากเป็นสูตรที่นิยมใช้และหาได้ง่าย



Figure 4 การชั่งน้ำใบย่านางเพื่อละลายมอลโตเด็กซ์ทริน De-10

2.2 การวิเคราะห์หาค่าสี ศึกษาคุณภาพสี ด้วยเครื่องวัดสี นำตัวอย่างใส่ลงในคิวเวท (cuvette) นำไปวิเคราะห์ค่าสีในระบบ $L^* a^* b^*$ เพื่อใช้เป็นดัชนีในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำใบย่านาง

2.3 ค่ากิจกรรมของน้ำอิสระ (a_w) และคุณสมบัติทางชีวภาพของใบย่านางผง มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของใบย่านางผงสำเร็จรูป มาตรฐานเลขที่ มผช. 858/2548 และน้ำใบย่านางมาตรฐานเลขที่ มผช. 1443/2552 กำหนดค่า a_w ต้องไม่เกิน 0.60 ตามวิธีการของ AOAC (2000)

2.4 การทดสอบลักษณะทั่วไป สี กลิ่นรส และการละลาย ของใบย่านางผง ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยการตรวจพินิจ ซึ่งใช้ผู้ชำนาญตรวจสอบจำนวน 5 คน และให้คะแนนการตัดสินใจ

3. การหาผลเฉลี่ยที่เหมาะสม

การวิเคราะห์กระบวนการทางสถิติด้วยการออกแบบการทดลอง (Pawaree N. et al, 2009) โดยกำหนดให้ ผลตอบสนองหรือตัวแปรตามมี คือ น้ำหนักที่ได้ (กรัมต่อชั่วโมง) โดยมีปัจจัยในการทดลองนี้มี 3 ปัจจัยและระดับ (Level) ของแต่ละปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) มี 2 ระดับ ได้แก่ 120 องศาเซลเซียส กับ 135 องศาเซลเซียส ความเร็วลม มี 2 ระดับ ได้แก่ 1.2 และ 3 เมตรต่อวินาที และอัตราการไหล มี 2 ระดับ 500 และ 1,000 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง พบว่าควรใช้รูปแบบแผนการทดลองแฟคทอเรียลทั่วไปเมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง ผลตอบสนอง, ปัจจัยและระดับ จากนั้นจะหาผลเฉลี่ยที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) สำหรับปัจจัยทั้งหมดของการทดลอง (Ahmed S. et al, 2015) โดยมีสมการเป้าหมาย คือ ปริมาณน้ำหนักที่ได้สูงสุด (กรัมต่อชั่วโมง)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ สีภาพ และคุณลักษณะของใบย่านางผง

1.1 ผลการศึกษาการละลายน้ำของใบย่านางผง โดยการนำใบย่านางผงที่มีปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน ทั้ง 4 สูตร ได้แก่ ไซมอลโตเด็กซ์ตริน De-10 (Nurhadi B. et al, 2016) เติมน้ำมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับร้อยละ 10 15 20 และ 25 เนื่องจากเป็นสูตรที่นิยมใช้และหาได้ง่าย โดยจะนำไปละลายน้ำแล้วตั้งทิ้งไว้ 5 วัน วัดค่าความสูงของตะกอน พบว่าตะกอนจะสูงขึ้นตามปริมาณร้อยละสารมอลโตเด็กซ์ตรินที่ละลาย (P-value = 0.000) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดังแสดงใน Figure 5 แสดงให้เห็นว่าปริมาณร้อยละสารมอลโตเด็กซ์ตรินที่ละลายอย่างน้อยหนึ่งระดับส่งผลต่อปริมาณการตกตะกอนซึ่งสูตรที่มีตะกอนสูงที่สุด คือ ย่านางผงที่ละลายได้เท่ากับร้อยละ 25

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
ร้อยละของแข็งที่ละลาย	3	1529.8	509.932	115.27	0.000
Error	60	265.4	4.424		
Total	63	1795.2			
Model Summary					
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
2.10332	85.21%	84.48%	83.18%		

Figure 5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสูตรมอลโตเด็กซ์ตรินกับความสูงของตะกอน

1.2 ผลการศึกษาการวัดค่าสีของใบย่านางผง เมื่อนำใบย่านางผงที่มีปริมาณการละลายของมอลโตเด็กซ์ตริน ทั้ง 4 สูตร มาตรวจวัดค่าสี L^* , a^* , และ b^* จากการวัดค่าสีของย่านางผงที่เติมปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินแตกต่างกันทั้ง 4 สูตร พบว่าค่า L^* ของย่านางผงที่ละลายปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 25 (สูตรที่ 4) มีความสว่างมากที่สุด ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเติมปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินสูงทำให้ย่านางผงที่ได้มีความสว่างเพิ่มขึ้น (Table 1) ส่วนค่า a^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่ 1 มีสีออกปาสเทลเขียวมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าการเติมปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มสูงขึ้นทำให้ค่าสีเขียวลดลง ส่วนค่า b^* มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน ($p \leq 0.05$) โดยย่านางผงจะมีค่าสีเหลืองลดลงตามการเพิ่มปริมาณมอลโตเด็กซ์ตริน

Table 1 ผลของมอลโตเด็กซ์ทรินต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของย่านางผง

Formula	Percent of solutions	Color parameters		
		L*	a*	b*
1	10	26.84±0.49 ^a	-2.75±0.03 ^a	10.28±0.13 ^a
2	15	29.88±0.21 ^b	-2.43±0.02 ^b	9.97±0.02 ^b
3	20	31.39±0.22 ^c	-2.14±0.03 ^c	8.94±0.02 ^c
4	25	33.29±0.17 ^d	-2.06±0.04 ^d	8.44±0.02 ^d

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1.3 ค่ากิจกรรมของน้ำอิสระ (a_w) และคุณสมบัติทางชีวภาพของใบย่านางผง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของใบย่านางผงสำเร็จรูป มาตรฐานเลขที่ มผช. 858/2548 และ น้ำใบย่านางมาตรฐานเลขที่ มผช. 1443/2552 กำหนดค่า a_w ต้องไม่เกิน 0.60 การวัดค่ากิจกรรมของน้ำอิสระ (a_w) ของย่านางผงที่เติมปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินแตกต่างกันทั้ง 4 สูตร ดัง Table 2 พบว่า ย่านางผงทั้ง 4 สูตร มีค่า a_w มากที่สุด คือ 0.35 โดยปริมาณของแข็งที่ละลายร้อยละ 25 และจากรูปที่ 6 พบว่าค่ากิจกรรมของน้ำอิสระ จะสูงขึ้นตามปริมาณร้อยละสารมอลโตเด็กซ์ทรินที่ละลาย (P -value = 0.000) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเข้าจะอยู่ระหว่าง 120-135 องศาเซลเซียส จะส่งผลต่อความชื้นทำให้ค่า a_w ต่ำซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่น้อยลงไปด้วย ส่วนการศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์รา ในใบย่านางผงทั้ง 4 สูตร ปรากฏว่าไม่พบจำนวนจุลินทรีย์ และยีสต์ราทั้งหมด ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

General Linear Model: ค่า a_w versus สูตร

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
สูตร	3	0.4086	0.136193	17.32	0.000
Error	60	0.4718	0.007863		
Total	63	0.8803			

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

สูตร	N	Mean	Grouping
25	16	0.354375	A
20	16	0.245000	B
15	16	0.221250	B
10	16	0.130000	C

Means that do not share a letter are significantly different.

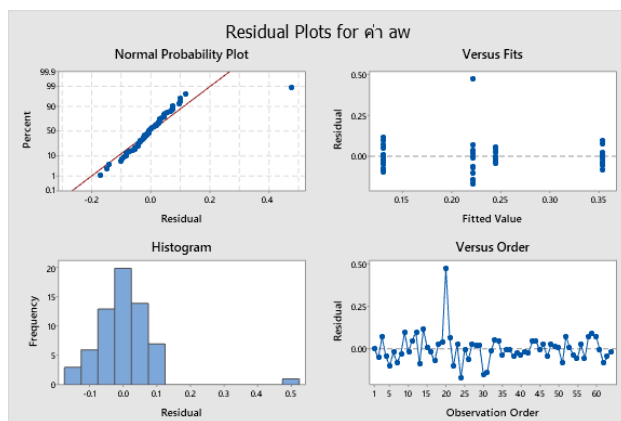


Figure 6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสูตรมอลโตเด็กซ์ทรินกับค่ากิจกรรมของน้ำอิสระ (a_w)

Table 2 ค่ากิจกรรมของน้ำอิสระ (a_w) ของใบย่านางผงที่มีปริมาณมอลโตเด็กซ์ทริน ทั้ง 4 สูตร

Formula	Percent of solutions	a_w	Microorganism (CFU/g)	Fungi and Yeast (CFU/g)
1	10	0.13 ± 0.06^c	ไม่พบ	ไม่พบ
2	15	0.22 ± 0.13^b	ไม่พบ	ไม่พบ
3	20	0.24 ± 0.03^b	ไม่พบ	ไม่พบ
4	25	0.35 ± 0.05^a	ไม่พบ	ไม่พบ

1.4 การทดสอบทางด้านลักษณะทั่วไป สี กลิ่นรส และการละลายของยานางผง

ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ใบยานางผงสำเร็จรูป มาตรฐานเลขที่ มผช. 858/2548 และน้ำใบยานางมาตรฐานเลขที่ มผช. 1443/2552 น่ายานางผงที่เติมปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินแตกต่างกันทั้ง 4 สูตร มาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางด้านลักษณะทั่วไป สี กลิ่นรส และการละลาย โดยมีระดับคะแนนการตัดสินใจกำหนดให้ 4 คะแนน เท่ากับดีมาก 3 คะแนน เท่ากับดี 2 คะแนน เท่ากับพอใช้ และ 1 คะแนน เท่ากับปรับปรุง ดัง Table 3 จากผลการทดลองพบว่ายานางผงที่เติมปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินแตกต่างกันส่งผลต่อการยอมรับทางด้านลักษณะทั่วไป สี และการละลายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ใช้มอลโตเด็กซ์ทริน De-10 เติมจนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับร้อยละ 25 มีค่าการยอมรับของผู้บริโภคในด้านต่าง ๆ สูงสุด ดังนั้นจึงทำการคัดเลือกสูตรที่ 4 เพื่อนำไปทดสอบหาปัจจัยที่เหมาะสมในการทำยานางผงของเครื่องอบแบบละอองฝอยที่ดำเนินการสร้างต่อไป

Table 3 การประเมินการยอมรับทางด้านลักษณะทั่วไป สี กลิ่นรส และการละลาย

Formula	Percent of solutions	Appearance	Color	Flavor	Solubility
1	10	^a 2.0±1.09	^a 2.6±1.01	^{a,b} 2.6±0.48	^a 2.2±1.16
2	15	^a 2.8±1.16	^a 3.0±1.09	^{a,b} 2.8±0.4	^a 2.8±1.16
3	20	^a 2.6±1.01	^a 2.4±1.2	^b 1.6±0.8	^a 2.0±0.63
4	25	^a 2.0±0.63	^a 2.6±1.01	^a 3.4±0.8	^a 2.6±1.2

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. การวิเคราะห์เพื่อกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมในการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีความเหมาะสมที่สุดในการศึกษาข้อมูลใช้มอลโตเด็กซ์ทริน De-10 เติมจนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับร้อยละ 25 พบว่าผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังแสดงใน Figure 7 ที่ได้จากโปรแกรมพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักที่ได้ (กรัมต่อชั่วโมง) (ค่า P-value น้อยกว่า 0.05) คือ อุณหภูมิ (C) และ อัตราการไหล (ml/h) โดยมีสมการถดถอยเชิงเส้น คือ น้ำหนักที่ได้ (g) = -117.0 + 1.133 อุณหภูมิ (C) + 0.1290 อัตราการไหล (ml/h) - 0.000867 อุณหภูมิ (C)*อัตราการไหล (ml/h)

Factorial Regression: น้ำหนักที่ได้ (g) versus อุณหภูมิ (C), อัตราการไหล (ml/h)

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		41.375	0.875	47.29	0.000	
อุณหภูมิ (C)	7.250	3.625	0.875	4.14	0.014	1.00
อัตราการไหล (ml/h)	9.250	4.625	0.875	5.29	0.006	1.00
อุณหภูมิ (C)*อัตราการไหล (ml/h)	-3.250	-1.625	0.875	-1.86	0.137	1.00

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.47487	92.39%	86.68%	69.55%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	297.38	99.125	16.18	0.011
Linear	2	276.25	138.125	22.55	0.007
อุณหภูมิ (C)	1	105.12	105.125	17.16	0.014
อัตราการไหล (ml/h)	1	171.12	171.125	27.94	0.006
2-Way Interactions	1	21.13	21.125	3.45	0.137
อุณหภูมิ (C)*อัตราการไหล (ml/h)	1	21.13	21.125	3.45	0.137
Error	4	24.50	6.125		
Total	7	321.88			

Regression Equation in Uncoded Units

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักที่ได้ (g)} &= -117.0 + 1.133 \text{ อุณหภูมิ (C)} + 0.1290 \text{ อัตราการไหล (ml/h)} \\ &\quad - 0.000867 \text{ อุณหภูมิ (C)*อัตราการไหล (ml/h)} \end{aligned}$$

Figure 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนอิทธิพลหลักและอันตรกิริยาร่วม

จาก Figure 8 พบว่าการทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล (Normality probability plot) เรียงลำดับค่าคลาดเคลื่อนจากน้อยไปมากและทำการคำนวณความน่าจะเป็นสะสม จากนั้นนำมา Plot พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ และการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล เป็นการกระจายตัวแบบสุ่มและไม่มีรูปแบบ แสดงความเป็นอิสระของข้อมูล

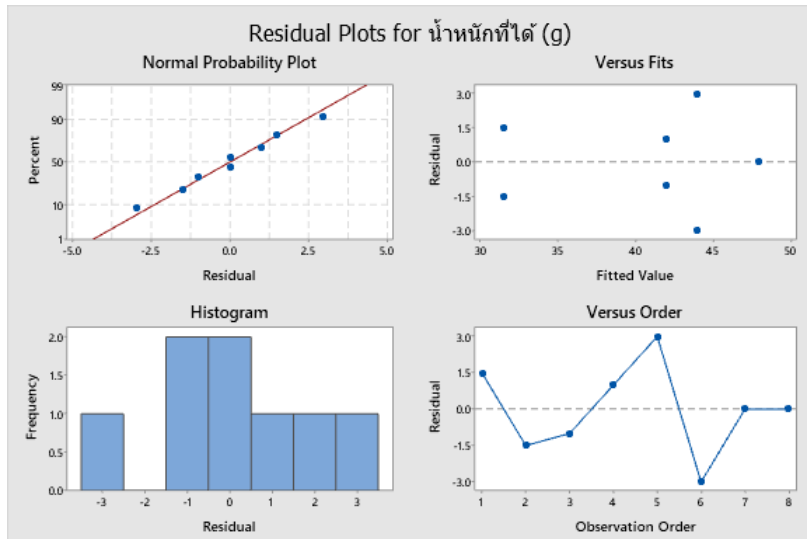


Figure 8 การทดสอบความเพียงพอของตัวแบบ (Model adequacy checking)

จาก Figure 9 พบว่าการอุณหภูมิที่ระดับสูง คือ อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้น้ำหนักที่ได้ 45 กรัมต่อชั่วโมง และอัตราการไหลที่ระดับสูง คือ 1,000 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง จะส่งผลให้น้ำหนักที่ได้ 46 กรัมต่อชั่วโมง ส่วนการทดสอบกิริยาร่วมระหว่างอุณหภูมิและอัตราการไหลที่ระดับสูง คือ อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส * อัตราการไหล 1000 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง จะส่งผลให้น้ำหนักที่ได้ 46 กรัมต่อชั่วโมง

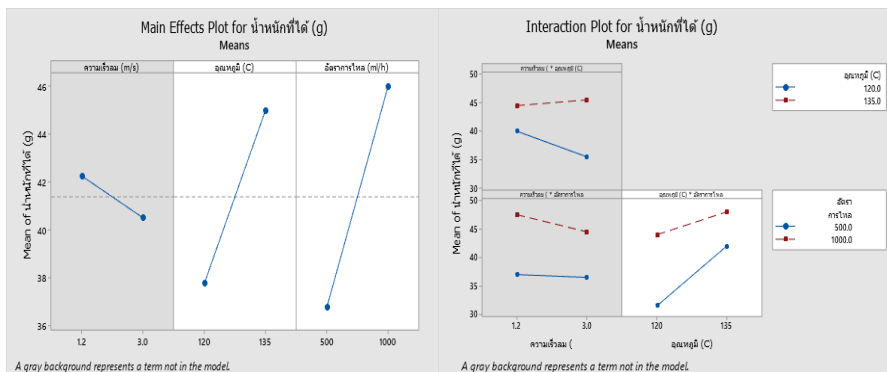


Figure 9 การทดสอบความเพียงพอของตัวแบบ (Model adequacy checking)

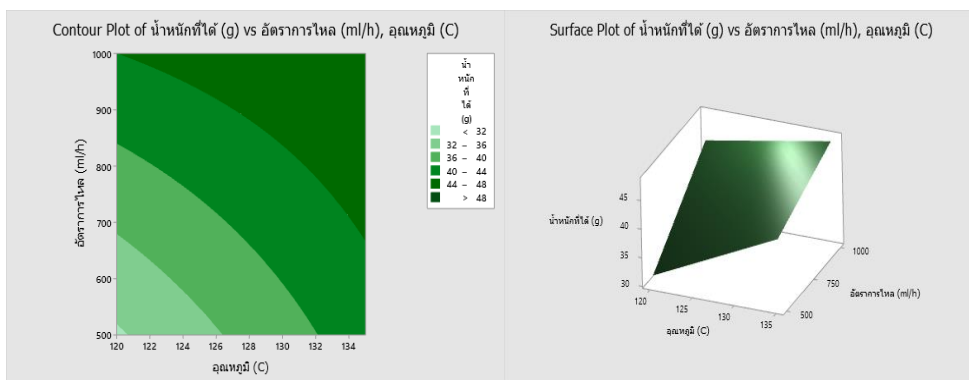


Figure 10 เส้น Contour และ Surface ของน้ำหนักร้ำกที่ไ้จากเครื่องอบละอองฝอย

Response Optimization: น้ำหนักที่ได้ (g)

Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
น้ำหนักที่ได้ (g)	Maximum	30	50		1	1

Solution

Solution	อุณหภูมิ (C)	อัตรา การไหล (mL/h)	น้ำหนัก ที่ได้ (g) Fit	Composite Desirability
1	135	1000	48	0.9

Multiple Response Prediction

Variable	Setting			
อุณหภูมิ (C)	135			
อัตราการไหล (mL/h)	1000			
Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
น้ำหนักที่ได้ (g)	48.00	1.75	(43.14, 52.86)	(39.58, 56.42)

Figure 11 การวิเคราะห์ผลเฉลยที่เหมาะสม

จาก Figure 10 ตามน้ำหนักที่ได้ (กรัมต่อชั่วโมง) อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส และอัตราการไหล 1000 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง จะได้ค่าตามที่ต้องการหรือมีความเหมาะสมที่สุด และใน Figure 11 เพื่อหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เป็นการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ ปัจจัยทั้งหมดของการทดลอง โดยสามารถหาได้จากสมการเป้าหมาย คือ ปริมาณน้ำหนักที่ได้สูงสุด เท่ากับ 48 กรัมต่อชั่วโมง โดยค่า Desirability ที่สูงสุดคือ 0.9 พบว่าผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด กำหนดให้ อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส และ อัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

สรุปผลการวิจัย

จากผลการดำเนินการจากการใช้เครื่องอบระเหยเพื่อปรับตั้งเครื่องจักรให้มีความเหมาะสมต่อการผลิตที่ต้องการ เนื่องจากเครื่องที่ออกแบบมานี้มีขนาดกำลังการผลิตเป็นลักษณะ ของ Lab Scale โดยผลการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพ ชีวภาพ และคุณลักษณะของไบยานางผง เพื่อให้ได้คุณสมบัติในการทำผงที่เหมาะสมที่สุด พบว่าการใช้มอลโตเด็คซ์ตริน De-10 (Maltodextrin-De 10) เดิมจมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับร้อยละ 25 มีค่าการยอมรับของผู้บริโภคในด้าน ต่าง ๆ สูงสุด ดังนั้นจึงทำการคัดเลือกสูตรที่ 4 (เนื่องจากมีคุณสมบัติในการทำผงที่มีคุณภาพที่สุด) จากนั้นนำไปทดสอบหาปัจจัยที่เหมาะสมในการทำยานางผงของเครื่องอบระเหยเพื่อให้ได้ ปริมาณน้ำหนักที่ได้สูงสุด และในช่วงอุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราการไหล 1,000 มิลลิลิตร ต่อชั่วโมง จะได้ค่าที่เหมาะสมตามต้องการหรือค่าผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) คือ ปริมาณ น้ำหนักที่ได้สูงสุด (กรัมต่อชั่วโมง) ได้เท่ากับ 48 กรัมต่อชั่วโมง

กิตติกรรมประกาศ

ในการวิจัยครั้งนี้ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานีที่สนับสนุนทุนวิจัย และ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเตรียมและทดสอบเครื่องจักรอุปกรณ์และ ผลิตภัณฑ์ในครั้งนี้

References

- Ahmed, M., Sorifa A.M., Lee J.C., Eun B.J. (2010). Encapsulation by spray drying of bioactive components, physicochemical and morphological properties from purple sweet potato. Food Science and Technology, 43(9), 1307-1312. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.014>
- Ahmed, S., Al-Sad i J., Saeed U., Rizvi G., Ross D., Clarke, R., Price J. (2015). Process optimization through designed experiments to achieve consistency in output color of a compounded plastic grade. Quality Engineering, 27(2), 144-160. <https://doi.org/10.1080/08982112.2014.927485>.

- Akella, A. K., Saini, R. P., & Sharma, M. P. (2009). Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems. *Renewable Energy*, 34(2), 390–396. <https://doi.org/doi:10.1016/j.renene.2008.05.002>
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis*. (17th Edition.). The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA. Methods.
- Nurhadi, B., Roos, Y. H., & Maidannyk, V. (2016). Physical properties of maltodextrin DE 10: Water sorption, water plasticization and enthalpy relaxation. *Journal of Food Engineering*, 174, 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.11.018>
- Dinçer, İ., Zamfirescu C. (2016). *Drying phenomena: theory and applications*. Intergovernmental panel on climate change, *Drying Phenomena: Theory and Applications*. (1st ed.). Cambridge University Press.
- Fiaschi, D., Manfrida, G., Russo, L., & Talluri, L. (2017). Improvement of waste heat recuperation on an industrial textile dryer: Redesign of heat exchangers network and components. *Energy Conversion and Management*, 150, 924–940. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.05.053>
- Caglayan, H., & Caliskan, H. (2017). Sustainability assessment of heat exchanger units for spray dryers. *Energy*, 124, 741–751. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.02.097>
- Koech, L., Rutto, H., Lerotholi, L., Everson, R. C., Neomagus, H., Branken, D., & Moganelwa, A. (2021). Spray drying absorption for desulphurization: a review of recent developments. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(6), 1665–1686. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02066-3>
- Kunapornsujarit, D., Intipunya P. (2013). Effect of spray drying temperature on quality of longan beverage powder. *Food and Applied Bioscience Journal*, 1(2), 81–89. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/fabjournal/article/view/77366>
- Malamatari, M., Charisi, A., Malamataris, S., Kachrimanis, K., & Nikolakakis, I. (2020). Spray Drying for the Preparation of Nanoparticle-Based Drug Formulations as Dry Powders for Inhalation. *Processes*, 8(7), 788. <https://doi.org/10.3390/pr8070788>
- Mujumdar, AS. (2015). *Handbook of industrial drying*. (4th ed.). Boca Raton; London; New York: CRC Press: Taylor & Francis.
- Pawaree, N., Khokhajaikiat, P. (2009). Productivity Improvement by Using Design of Experiment: Case Study of Cotton Bud Factory in Khonkaen Province. *KKU Engineering Journal*, 36(3), 241–249. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/easr/article/view/1766>

Patel, S. K., & Bade, M. H. (2020). Energy targeting and process integration of spray dryer with heat recovery systems. *Energy Conversion and Management*, 221, 113-148.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113148>