

การเปรียบเทียบคุณลักษณะการแห้งของกล้วยหอมในตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบถาด

Comparison of Banana Drying Characteristics in Jet Impingement Dryer and Tray Dryer

ศรัณย์ เพชรชูช่วย ฐานันดรศักดิ์ เทพญา ชยุต นันทกุลิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

และ งาม แยมแสงสังข์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

E-mail: chayut@me.psu.ac.th

Mainuscript received November 4, 2016,

Revised November 28, 2016.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอบแห้งกล้วยหอมโดยเปรียบเทียบระหว่างตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะกับตู้อบแบบถาด ในการทดลองอบแห้งได้ใช้กล้วยหอมระดับสุก 5 ขึ้นตามขวางหนา 4 มิลลิเมตรทำการอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนที่ 75, 85, และ 95 °C ที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.18, 0.26, และ 0.35 kg/s จนความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 25%db จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สี ความแข็ง ความกรอบ และการหดตัว รวมถึงพิจารณาเปรียบเทียบพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบ จากการทดลองพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิและอัตราการไหลเชิงมวลของลมร้อนส่งผลให้อัตราการแห้งสูงเพิ่มสูงขึ้น ระยะเวลาในการอบลดลง และที่เงื่อนไขลมร้อนเดียวกันชั้นกล้วยหอมที่อบด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะให้อัตราการแห้งสูงกว่าตู้อบแบบถาด และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพหลังการอบด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะกับตู้อบแบบถาดพบว่า การอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมต่ำ ความกรอบต่ำ ความแข็งสูง ร้อยละการ

หดตัวสูงและการใช้พลังงานต่ำเมื่อเทียบกับตู้อบแบบถาด

คำสำคัญ: ตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะ, ตู้อบแบบถาด, กล้วยหอม, จลพลศาสตร์การแห้ง, คุณภาพ, การใช้พลังงาน

ABSTRACT

The objective of this research was to study drying characteristics of banana by comparing between jet impingement dryer and tray dryer. In the drying experiments, the Cavendish banana with a mature ripe stage of 5 was sliced into 4 mm thickness and drying at temperatures of 75, 85 and 95 °C and mass flow rate of 0.18, 0.26 and 0.35 kg/s until the moisture content was lower than 25%db. The dried products were analyzed physical properties for color, hardness, factorability, and shrinkage. The specific energy consumption was also considered for comparison. The physical results were used to select the optimized condition for drying banana slices. The experiments results showed that increasing of temperature and mass flow rate of hot air affected to increase drying rate and decrease the drying time. At same drying conditions, drying of banana slice in jet impingement dryer gave higher

drying rate than tray dryer. When compared the physical characteristics after drying, it is found that banana slices drying with jet impingement dryer had less total color change, less factorability, more hardness, more percentage shrinkage and less specific energy consumption than those dried with tray dryer.

Keywords: Jet impingement dryer, Tray dryer, Banana, Product properties, Energy consumption

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม อุดมสมบูรณ์ไปด้วยผลไม้ และผักนานาชนิด มีให้บริโภคกันอยู่ตลอดปี ผลผลิตเหล่านี้มีระยะเวลาออกสู่ตลาดสลับเปลี่ยนตลอดปี แต่มีปริมาณการผลิตในแต่ละปีนั้นไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับสภาพดิน ฟ้า อากาศ ผลผลิตส่วนมากจะนิยมบริโภคสด และใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปเกือบทั้งหมด แต่ในบางฤดูกาลมีผลผลิตที่มากเกินไปเกินความต้องการ อีกทั้งมีอายุการเก็บที่สั้น ดังนั้นการแปรรูปผลผลิตโดยเฉพาะการอบแห้ง เป็นหนึ่งในกระบวนการที่มีศักยภาพสูงในการแก้ปัญหาผลผลิตล้นตลาด โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งสามารถเก็บไว้จำหน่ายนอกฤดูกาลได้ ทำให้ผู้ประกอบการมีรายได้สูงขึ้นได้

ปัจจุบัน เครื่องอบแห้งแบบถาดเป็นที่นิยมใช้กันมากในการผลิตผักและผลไม้อบแห้ง เพราะสามารถอบผลิตภัณฑ์ได้ปริมาณมากในครั้งเดียว มีราคาต้นทุนและค่าบำรุงรักษาเครื่องค่อนข้างต่ำ โดยการอบแห้งในเครื่องอบแห้งแบบถาดจะใช้พัดลมสร้างลมไหลผ่านแหล่งความร้อน ซึ่งอาจจะเป็นฮีตเตอร์ไฟฟ้า ท่อไอน้ำ หรือหัวเผาก๊าซหุงต้ม เป็นต้น ลมร้อนจะถูกบังคับให้ไหลผ่านผลิตภัณฑ์ที่วางเป็นชั้นหลายชั้น แต่ละชั้นมีช่องว่างประมาณ 2-6 cm โดยมีความเร็วลมที่ไหลเวียนผ่านแต่ละถาดอยู่ในช่วง 0.5-5 m/s หรือในการอบแห้งแบบต่อเนื่องจะใช้ห้องอบลักษณะเป็นอุโมงค์ มีรถเข็นที่มีชั้นบรรจุถาดอบแห้งผลิตภัณฑ์หลายชั้น รถเข็นนี้ถูกเข็นบนรางเข้าออกห้องอบ ภายในห้องอบมีพัดลมพัดบังคับให้ลมร้อนไหลผ่านผลิตภัณฑ์ที่อบ

อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันอุตสาหกรรมแปรรูปขนาดเล็ก-กลางกำลังประสบกับปัญหาอัตราการผลิตแปรรูปที่ต่ำ เนื่องจากเครื่องอบแห้งแบบถาดที่ใช้กันทั่วไปมีอัตราการให้ความร้อนที่ต่ำ ทำให้ใช้เวลาในการอบ และมักเกิดปัญหาความไม่สม่ำเสมอของการให้ความร้อนในตู้อบ เนื่องจากห้องอบมีขนาดใหญ่ ประกอบกับปัญหาด้านทุน

พลังงานที่สูงขึ้น ทำให้มีความต้องการเครื่องอบแห้ง ที่มีระยะเวลาในการอบแห้งสั้น สามารถเพิ่มอัตราการผลิตและอบให้แห้งสม่ำเสมอ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งมีคุณภาพดี ขายได้ในราคาที่สูงขึ้น

เจ็ทไหลปะทะ (Jet impingement) เป็นเทคโนโลยีการใช้กระแสลมหรือลำการไหลของลมที่มีความเร็วสูงไหลปะทะกับผลิตภัณฑ์โดยตรง และกระแสลมร้อนที่มีระดับความปั่นป่วนที่สูงช่วยทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้กระแสอากาศที่ไหลผ่านผลิตภัณฑ์แบบเดิมที่เป็นเครื่องอบแห้งแบบถาด จนถึงปัจจุบัน เทคโนโลยีเจ็ทไหลปะทะถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมกระดาษ และอุตสาหกรรมยาสูบ สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอกระบวนการผลิตแบบใช้ระบบเจ็ทไหลปะทะในการอบแห้ง ช่วยเพิ่มอัตราการผลิตให้สูงขึ้น หรือในอุตสาหกรรมยาสูบ มีการประยุกต์ใช้ระบบเจ็ทไหลปะทะอบหรือคั่วยาสูบแบบแผ่น เป็นต้น นอกจากนี้เทคโนโลยีนี้เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง กล่าวคือผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะพื้นที่ผิวมากสำหรับการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ผิวผลิตภัณฑ์ และพาความร้อนออกจากผิวผลิตภัณฑ์ [1]

ที่ผ่านมาทีมงานวิจัยที่นำเทคโนโลยีเจ็ทไหลปะทะมาใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารในหลายอุตสาหกรรม เช่น ขนมเบเกอรี่ ขนมปังกรอบ ซีเรียล ขนมปังแครกเกอร์ แป้งพิซซามันฝรั่งอบ และอาหารสำเร็จรูป [2] - [3] เช่น Acosta และ Moreira [2] ได้เตรียมแผ่น Tortilla chips และทำการอบโดยใช้เจ็ทลมร้อนจากท่อ 2 ท่อ ไหลปะทะทั้งสองด้านของแผ่นแป้งพร้อมกัน พบว่า Tortilla chips ที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีใช้เจ็ทลมร้อนไหลปะทะ แล้วนำไปทอดในน้ำมันจะมีส่วนประกอบของน้ำมันต่ำ และมีเนื้อกรอบมีรสชาติดี Wahlby และคณะ [3] ได้ศึกษาผลกระทบของเวลาในการอบแห้งและคุณภาพของ ขนมปังยีสต์และเนือสัตว์ หลังการอบแห้งของตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบถาด พบว่าการอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าตู้อบแบบถาด และการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอมากขึ้น ถึงแม้ในอดีตมีการศึกษาเพื่อยืนยันความเป็นไปได้ในการใช้ระบบเจ็ทไหลปะทะในการให้ความร้อนแก่อาหารโดยใช้หัวฉีดแบบท่อ แบบสล็อต หรือแบบอริฟิส และทดลองใช้หัวฉีดเดี่ยวหรือกลุ่มของหัวฉีดในการอบผลิตภัณฑ์ เช่น ขนมปัง แป้งโรตีสีมันฝรั่ง ได้ผลดีก็ตาม [4] - [7] แต่ระบบเจ็ทไหลปะทะนี้มีข้อเสียคือ มีต้นทุนการใช้พลังงานที่สูง เมื่อเทียบกับระบบอบแห้งแบบเดิมที่

ใช้ลมร้อนไหลผ่านผลิตภัณฑ์ เนื่องจากต้องสร้างเจ็ทลมร้อนที่มีความเร็วสูงไหลปะทะผลิตภัณฑ์โดยตรง มีโอกาสเกิดปัญหาผลิตภัณฑ์เสียหายจากอัตราการให้ความร้อนที่สูงเกินไป

Ratiya และคณะ [9] ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการลดความชื้นและคุณภาพทางกายภาพในกล้วยแผ่น อบแห้งที่อุณหภูมิ 70, 80, 90 และ 100°C ความเร็วลม 1.3 m/s จากการทดลองพบว่า การอบแห้งอุณหภูมิสูงทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูปทรงมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งลดลง ในขณะที่ค่าความกรอบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าการเปลี่ยนแปลงสีสูงและการหดตัวลดลงเมื่อเทียบกับการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

Kianoosh และคณะ [10] ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อระยะเวลาในการอบแห้ง การหดตัว การเปลี่ยนแปลงสี และการใช้พลังงานของกล้วยแผ่นโดยใช้ตู้อบแห้งแบบลมร้อนอบแห้งที่เงื่อนไขอุณหภูมิ 50, 60 และ 70°C ความเร็วลม 1.5 m/s จากการทดลองพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง การเปลี่ยนแปลงสีเพิ่มขึ้น การใช้พลังงานลดลง และการหดตัวมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Wannapit และคณะ [11] ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งกล้วยแผ่นด้วยตู้อบแบบสุญญากาศ อบแห้งที่เงื่อนไขอุณหภูมิ 60, 70, 80 และ 90°C ความดันสัมบูรณ์ภายในห้องอบ 30 mmHg จากการทดลองพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการหดตัวต่ำ ความกรอบสูง และการเปลี่ยนแปลงสีสูง เมื่อเทียบกับการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

Leite และคณะ [12] ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อลักษณะทางเคมี และการประเมินความรู้สึกทางประสาทสัมผัสที่มีต่อกล้วยแผ่นอบแห้ง ทดลองที่เงื่อนไขอุณหภูมิ 60 และ 70°C อัตราการไหลเชิงมวล 30 m³/h จากการทดลองพบว่า การอบแห้งไม่ส่งผลกระทบต่อลักษณะทางเคมีของกล้วยแผ่นอบแห้ง แต่การอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีและได้รับการยอมรับมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการอบแห้งผลิตภัณฑ์เกษตรระหว่างตู้อบแบบถาดและตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะ โดยในการทดลองเลือกกล้วยหอมที่หั่นเป็นแว่นเป็นวัตถุดิบในการทดสอบ

อบแห้ง เพื่อเปรียบเทียบจลนพลศาสตร์การแห้งของกล้วยหอมคุณภาพของกล้วยหอมหลังการอบแห้ง เวลาที่ใช้อบแห้งและการใช้พลังงานของตู้อบทั้งสองแบบ โดยทดสอบที่เงื่อนไขอัตราการไหลเชิงมวลของลมร้อนและอุณหภูมิของลมร้อนเดียวกัน

สัญลักษณ์คำย่อ

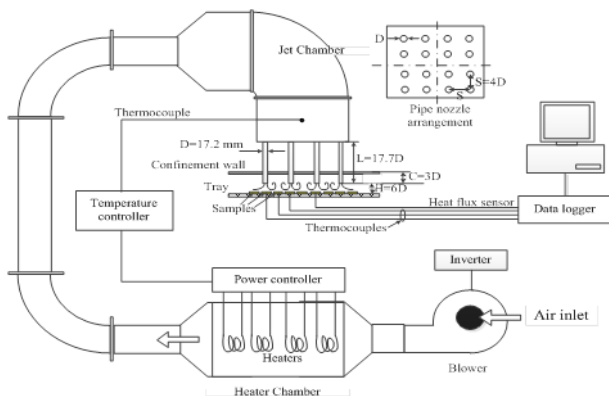
Δa	คือ	การเปลี่ยนแปลงค่าความแดง
Δb	คือ	การเปลี่ยนแปลงค่าความเหลือง
C	คือ	ระยะห่างจากปากทางออกท่อเจ็ทถึงผนังจำกัดการไหล (m)
ΔE	คือ	ค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมก่อนและหลังอบ
E_{total}	คือ	พลังงานไฟฟ้ารวม (kW-hr)
H	คือ	ระยะจากปากทางออกท่อเจ็ทถึงพื้นผิวฟุ้งชน(m)
ΔL	คือ	การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง
m_w	คือ	ปริมาณน้ำที่ระเหยออกไปในระหว่างกระบวนการอบแห้ง (kg-water)
M_{eq}	คือ	ความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์ (%db)
M_{in}	คือ	ความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ (%db)
M_t	คือ	ความชื้นเริ่มต้น ณ เวลาใดๆ ของผลิตภัณฑ์ (%db)
$MC_{(db)}$	คือ	ความชื้นเศษส่วนมาตรฐานแห้ง (%db)
MR	คือ	อัตราส่วนความชื้น
Δt	คือ	การเปลี่ยนแปลงเวลา (min)
SEC	คือ	การใช้พลังงานจำเพาะ (kWh/kg)

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ชุดทดลอง

รูปที่ 1 แสดงแผนภาพของชุดทดลองอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ เจ็ทลมร้อนจะถูกสร้างโดยพัดลมดูดอากาศในห้องทดลองผ่านห้องควบคุมอุณหภูมิที่ติดตั้งฮีทเตอร์ไฟฟ้าแบบครีบริปตัว ซึ่งต่อกับชุดควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล เพื่อควบคุมอุณหภูมิของเจ็ทลมร้อนที่ปากทางออกท่อเจ็ท หลังจากนั้นลมร้อนไหลเข้าสู่ห้องพักลมร้อนที่ต่อกับท่อเจ็ทจำนวน 16 ท่อ โดยท่อเจ็ทแต่ละท่อมีความยาว 300 mm มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $D=17.2$ mm วางเรียงในแนวเดียวกัน (inline arrangement) แบบ 4 แถว แถวละ 4 ท่อ โดยมีระยะห่างระหว่างท่อเท่ากับ $S=4D$ และติดตั้งผนังวางห่างจากปลาย

ปากทางออกท่อเจ็ทเป็นระยะ $C=3D$ เพื่อยืดให้ระยะห่างระหว่างลำเจ็ทคงที่ไม่เคลื่อน ในการทดลองใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมความเร็วของเจ็ทลมร้อน และใช้ท่อ Pitot-Static ในการตรวจวัดความเร็วที่ปากทางออกเจ็ท และวางผลิตภัณฑ์ที่อบบนภาชนะที่ทำจากตะแกรงลวด โดยระยะจากปากทางออกท่อเจ็ทถึงพื้นผิวผลิตภัณฑ์ที่เจ็ทไหลปะทะถูกกำหนดที่ระยะ $H=6D$



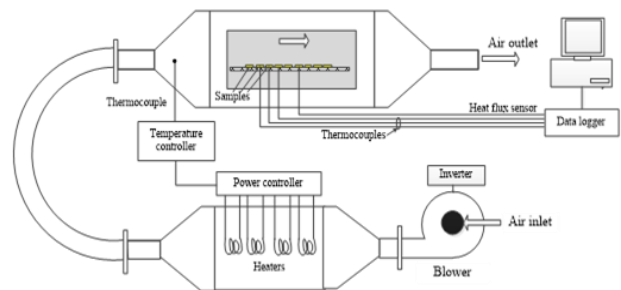
รูปที่ 1 ชุดทดลองอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ

รูปที่ 2 แสดงแผนภาพชุดทดลองอบแห้งแบบภาต ลมจากพัดลมจะไหลผ่านห้องควบคุมอุณหภูมิที่ติดตั้งฮีตเตอร์ไฟฟ้าแบบครึ่งรูปตัวยู ซึ่งต่อกับชุดควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล เพื่อควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนที่ไหลเข้าสู่ตู้อบแบบภาต โดยช่องลมร้อนในตู้อบมีขนาดความกว้าง 500 mm และความสูง 100 mm ภายในติดตั้งภาตสำหรับวางผลิตภัณฑ์ที่ทำจากตะแกรงลวดไว้ที่ตำแหน่งกลางความสูงของช่องลมร้อน เพื่อให้ลมร้อนไหลผ่านทั้งด้านบนและด้านล่างของภาต ความเร็วหรืออัตราการไหลของลมร้อนควบคุมโดยการปรับพื้นที่ช่องอากาศที่พัดลมดูดอากาศ ในการทดลองใช้ท่อ Pitot-Static ในการตรวจวัดความเร็วของลมร้อนในตู้อบ

2.2 วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ เพื่อเปรียบเทียบการทำงานของตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบภาต ได้เลือกกล้วยหอมเป็นวัตถุดิบในการทดสอบโดยเลือกกล้วยหอมระยะสุกที่ 5 (เปลือกกล้วยหอมเป็นสีเหลือง แต่ปลายกล้วยหอมยังเป็นสีเขียว) หั่นตามขวางให้มีขนาดความหนา เท่ากับ 4.0 ± 0.5 mm ในการทดสอบตู้อบได้เลือกอบที่

เงื่อนไขอุณหภูมิลมร้อน เท่ากับ 75, 85 และ 95°C และอัตราการไหลเชิงมวลของลมร้อน เท่ากับ 0.18, 0.26 และ 0.35 kg/s โดยความเร็วที่ตำแหน่งกลางปากทางออกเจ็ทลมร้อน เท่ากับ 10, 15 และ 20 m/s และความเร็วลมร้อนที่ไหลผ่านผลิตภัณฑ์ในตู้อบแบบภาต เท่ากับ 2.3, 3.4 และ 4.6 m/s ตามลำดับ



รูปที่ 2 ชุดทดลองอบแห้งแบบภาต

สำหรับการศึกษาจลนพลศาสตร์การแห้งของกล้วยหอม ในการทดสอบนำชิ้นกล้วยหอมที่เตรียมไว้จำนวน 500 g มาเรียงบนภาตไม่ให้ซ้อนกัน เมื่ออุณหภูมิลมร้อนและอัตราการไหลเชิงมวลในตู้อบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว จึงนำภาตบรรจุชิ้นกล้วยหอมเข้าสู่ตู้อบ ในระหว่างการทดสอบอบทุก 10 นาที จะยกภาตที่วางกล้วยหอมออกมาชั่งบนตีกน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอลที่มีความละเอียด (Readability) 0.1 g และความถูกต้อง (Linearity) 0.2 g และทดลองอบจนน้ำหนักที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 0.1 g จึงหยุดการทดลอง หลังจากนั้นย้ายกล้วยหอมไปอบต่อในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ $103 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ตามมาตรฐานการวิเคราะห์ AOAC 1996 เพื่อหาน้ำหนักแห้งของกล้วยหอมต่อไป

น้ำหนักของกล้วยหอมที่เวลาต่างๆสามารถนำมาคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง (% dry-basis) ในเนื้อกล้วยหอมได้ตามสมการ

$$M_{(db)} = \left(\frac{W - D}{D} \right) \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ W คือน้ำหนักของกล้วยหอมที่เวลาหนึ่ง และ D คือน้ำหนักแห้งของกล้วยหอม

เนื่องจากการทดลองอบแห้ง ความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์อาจมีค่าแตกต่างกัน เพื่อให้เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นในแต่ละเงื่อนไขการอบได้ จึงนิยามใช้อัตราส่วนความชื้น (MR) ตามสมการ

$$MR = \frac{(M_t - M_{eq})}{(M_{in} - M_{eq})} \quad (2)$$

โดยที่ M_{in} คือเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งเริ่มต้นของกล้วยหอม M_t คือเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้งของกล้วยหอมที่เวลาหนึ่ง และ M_{eq} คือเปอร์เซ็นต์ความชื้นสมดุลของกล้วยหอม (ใช้ความชื้นมาตรฐานแห้งสุดท้ายของการอบที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา)

จากผลการทดลองสามารถประเมินอัตราการแห้งหรือความสามารถในการระเหยของน้ำต่อหน่วยเวลาในระหว่างการอบแห้งกล้วยหอม ซึ่งอัตราการแห้ง (Drying rate) คำนวณได้จากสมการ

$$\frac{dM}{dt} = \frac{(M_t - M_{t+\Delta t})}{\Delta t} \quad (3)$$

โดยที่ M_t คือความชื้นมาตรฐานแห้งของกล้วยหอมที่เวลา t ใด ๆ $M_{t+\Delta t}$ คือความชื้นมาตรฐานแห้งของกล้วยหอมที่เวลา $t + \Delta t$ และ Δt คือช่วงเวลาที่ใช้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงความชื้นมาตรฐานแห้งของกล้วยหอม (นาที)

นอกจากนี้ระหว่างการทดลองอบแห้งได้บันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเนื้อของชิ้นกล้วยหอม จำนวน 4 ชิ้น โดยการเสียบเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด T ที่กลางความหนาของชิ้นกล้วยหอมแต่ละชิ้น และต่อสายเทอร์โมคัปเปิ้ลเข้าเครื่องบันทึกอุณหภูมิ เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลา

สำหรับการเปรียบเทียบคุณภาพของกล้วยหอมหลังอบได้พิจารณาจากความกรอบ ความแข็ง เปอร์เซ็นต์การหดตัวและการเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยหอมเมื่อเทียบกับกล้วยหอมก่อนอบ โดยจะใช้กล้วยหอมที่อบจนมีความชื้นมาตรฐานแห้งเหลือประมาณ 25% มาตรวจสอบวัดคุณภาพ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยที่วัดจากหลายตัวอย่าง [8] ในงานวิจัยนี้วัดจากตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่าง

สำหรับการทดสอบคุณภาพด้านสีของชิ้นกล้วยหอมได้ทำโดยวัด

ค่าสีในระบบ L, a และ b ด้วยเครื่อง HunterLab รุ่น ColorFlex ในที่นี้ L คือ ค่าความสว่าง ($L=0$ สีดำ, $L=100$ สีขาว) a คือค่าความแดงของสีที่ไล่จากสีเขียวไปสีแดง ($-a$ คือค่าความเขียว $+a$ คือค่าความแดง) b คือค่าความเหลืองของสีที่ไล่จากสีน้ำเงินไปสีเหลือง ($-b$ คือค่าความน้ำเงิน $+b$ คือค่าความเหลือง)

สำหรับการประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ก่อนอบและหลังอบในแต่ละเงื่อนไขการอบ สามารถเสนอในรูปของการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (Total color change parameter) ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการ

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (4)$$

โดยที่ $\Delta L = L - L_0$, $\Delta a = a - a_0$ และ $\Delta b = b - b_0$ ในที่นี้ L_0, a_0, b_0 คือค่าของสีก่อนการอบ และ L, a, b คือค่าของสีหลังการอบ

การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส คุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งทดสอบโดย Texture Analyser รุ่น TA - Xtplus โดยคุณภาพเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์จะพิจารณาจากค่าความแข็ง (Hardness) และ ความกรอบ (Fracturability)

การทดสอบการหดตัวของผลิตภัณฑ์จะใช้เวอร์เนีย (Vernier) วัดขนาดของผลิตภัณฑ์ทั้งในแนวความกว้างและความยาวทั้งหมด 3 ตัวอย่าง ทั้งก่อนและหลังการอบแห้ง ซึ่งร้อยละการหดตัวคำนวณจากสมการ

$$\%Shrinkage = \left(\frac{D_0 - D}{D_0} \right) \times 100 \quad (5)$$

โดยที่ D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นกล้วยหอมหลังอบ และ D_0 คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นกล้วยหอมก่อนอบ

สำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติจะวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS, version 16 ซึ่งใช้วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 2 ค่าขึ้นไป โดยการวิเคราะห์ข้อมูลแบบทางเดียว (One - way ANOVA) ซึ่งการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจะใช้วิธี Duncan's multiple-range test พิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p=0.05$)

สำหรับการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการอบแห้งระหว่างตู้อบแบบภาดและตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะจะเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมและฮีตเตอร์ให้ความร้อนในระหว่างการอบ

กล้วยหอมในช่วงความชื้น 309 %db จนถึงความชื้น 25 %db โดยใช้มาตรวัดไฟฟ้าแล้วคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) จากสมการ

$$SEC = \frac{E_{total}}{m_w} \quad (6)$$

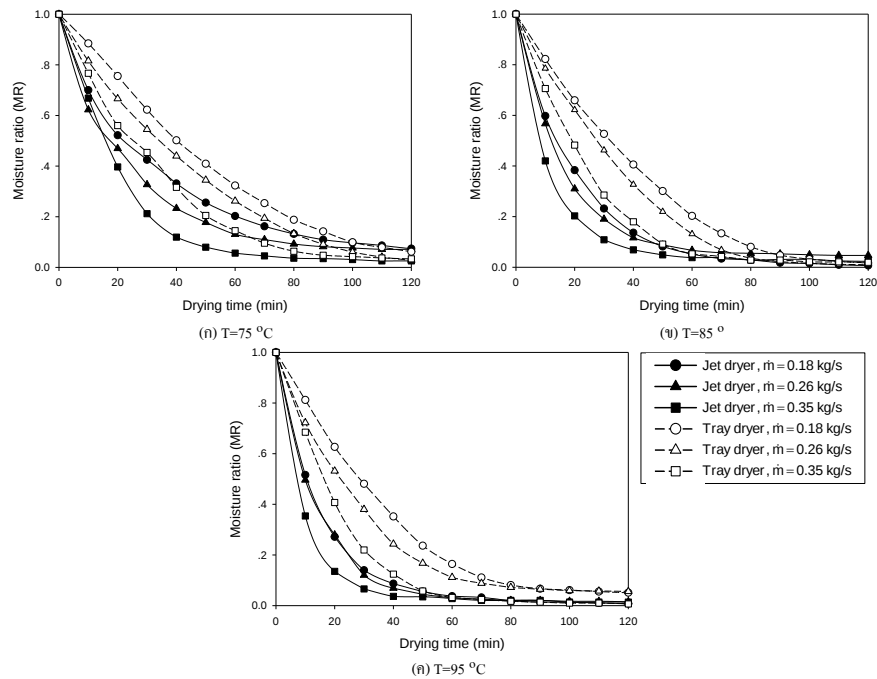
โดยที่ E_{total} คือพลังงานไฟฟ้ารวมที่จ่ายให้กับพัดลมและฮีตเตอร์ไฟฟ้าในหน่วย kW-hr m_w คือปริมาณน้ำในกล้วยหอมที่ระเหยออกไประหว่างการอบแห้งในหน่วย kg-water

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

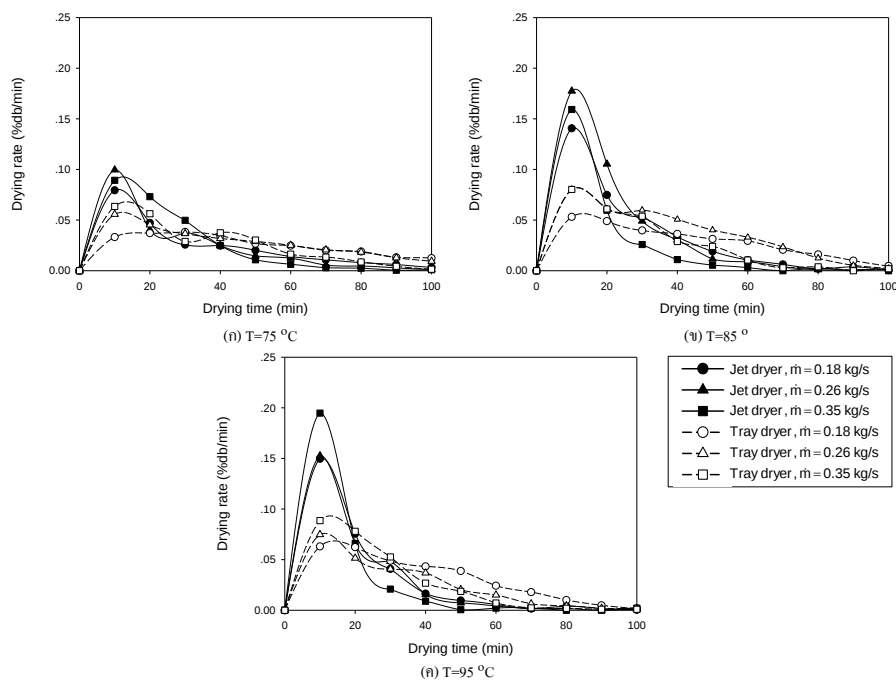
รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นตามเวลา เมื่ออบแห้งในตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะกับตู้อบแบบภาดในกรณีที่ใช้อัตราการไหลเชิงมวลของลมร้อน 0.18 , 0.26 และ 0.35 kg/s ที่เงื่อนไขอุณหภูมิลมร้อน 75, 85 และ 95°C ในการทดลองความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยของกล้วยหอมที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 309 %db จากรูปพบว่าการเพิ่มอัตราการไหลของลมร้อน (ความเร็วลมร้อน) มีผลให้อัตราส่วนความชื้นลดลงรวดเร็วขึ้นทั้งการอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบภาด แต่ในกรณีที่อุณหภูมิลมร้อนสูงเท่ากับ 95°C การเพิ่มอัตราการไหลลมร้อนมีผลต่อการลดลงของอัตราส่วนความชื้นน้อยในกรณีเพิ่มอัตราการไหลจาก 0.18 kg/s เป็น 0.26 kg/s และพบว่าที่เงื่อนไขอุณหภูมิและอัตราการไหลลมร้อนเดียวกัน อัตราส่วนความชื้นของกรณีอบในตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะลดลงเร็วกว่ากรณีอบในตู้อบแบบภาดทุกกรณี นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนมีผลทำให้อัตราส่วนความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นการอบโดยเฉพาะการอบในตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะ

โดยการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะจนความชื้นผลิตภัณฑ์เท่ากับ 25 %db (อัตราส่วนความชื้นเท่ากับ 0.04) ในกรณีที่ใช้อุณหภูมิลมร้อน 95°C และอัตราการไหลเชิงมวลลมร้อน 0.18 , 0.26 และ 0.35 kg/s ใช้เวลาในการอบแห้ง 75, 45 และ 30 นาที ตามลำดับ

รูปที่ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งตามเวลาระหว่างการอบกล้วยหอมด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบภาดเปรียบเทียบในกรณีที่ใช้อัตราการไหลเชิงมวลของลมร้อน 0.18 , 0.26 และ 0.35 kg/s ที่เงื่อนไขอุณหภูมิลมร้อน 75, 85 และ 95°C จากรูปพบว่า ในช่วงเริ่มต้นของการอบ 20 นาทีแรกมีอัตราการแห้งที่สูง หลังจากนั้นอัตราการแห้งจะลดลงตามเวลาอบที่เพิ่มขึ้น โดยที่ในช่วงแรกจะเห็นได้ชัดว่าอัตราการแห้งของกรณีตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะสูงกว่ากรณีตู้อบแบบภาดมาก โดยเฉพาะที่เงื่อนไขอุณหภูมิลมร้อน 85 และ 95°C อัตราการแห้งของกล้วยหอมในตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะสูงกว่ากรณีของตู้อบแบบภาดประมาณสองเท่า ในขณะที่เงื่อนไขอุณหภูมิลมร้อน 75°C อัตราการแห้งในตู้อบทั้งสองไม่แตกต่างกันมาก แต่หลังจากเวลา 20 นาที ในทุกเงื่อนไขการอบ อัตราการแห้งของกรณีตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะจะลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่อัตราการแห้งของกรณีตู้อบแบบภาดจะค่อยๆ ลดลง และตลอดการอบพบว่าการเพิ่มอัตราการไหลเชิงมวลหรือความเร็วลมร้อนมีผลต่อการเพิ่มอัตราการแห้ง โดยเฉพาะในช่วงการอบ 20 นาทีแรก เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิลมร้อนเดียวกัน และการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการแห้ง ซึ่งอัตราการแห้งของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะในกรณีอุณหภูมิ 75 , 85 และ 95 °C อัตราการแห้งจะอยู่ในช่วง 0.08-0.10, 0.14-0.18 และ 0.15-0.20 %db/min ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิ 95 °C มีอัตราการแห้งสูงสุด



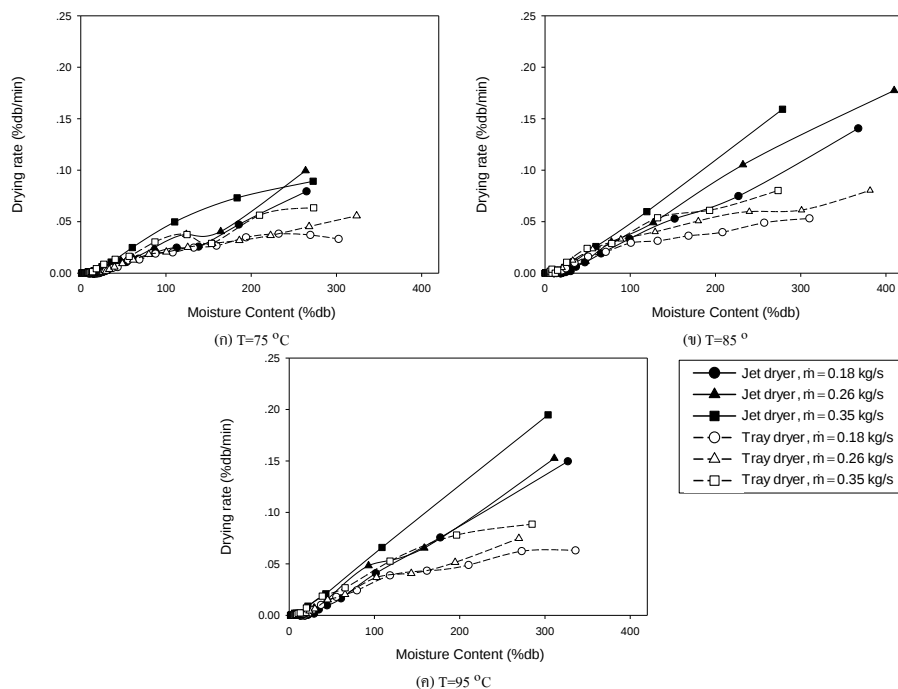
รูปที่ 3 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบบแห้งแบบถาดที่สภาวะต่าง ๆ



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบบแห้งแบบถาดที่สภาวะต่าง ๆ

รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแห้งกับความชื้นมาตรฐานแห้งของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งกล้วยหอมด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบถาด ในกรณีที่ใช้อัตราการไหลเชิงมวลของลมร้อน 0.18 ,0.26 และ 0.35 kg/s ที่เงื่อนไขอุณหภูมิลมร้อน 75, 85 และ 95°C จากรูปพบว่าที่เวลาเริ่มต้นของการอบจะมีความชื้นมาตรฐานแห้งและอัตราการแห้งสูงที่สุด เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการแห้งจะลดลงตามความชื้นในกล้วยหอมที่ลดลงแบบเชิงเส้น โดยสามารถแบ่งอัตราการแห้งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ความชื้นมาตรฐานแห้งมากกว่า 100%db พบว่าอัตราการไหลเชิงมวลมีผลต่ออัตราการแห้งของผลิตภัณฑ์กล้วยหอม โดยเฉพาะกรณีอุณหภูมิ 85 และ 95°C โดยที่อัตราการไหลเชิงมวลที่สูงให้อัตราการแห้งที่สูงกว่า และตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะให้อัตราการแห้งที่สูงกว่าตู้อบแบบถาดเสมอที่เงื่อนไขลมร้อนเดียวกัน โดยอัตรา

การแห้งที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.35 kg/s อุณหภูมิ 95°C มีค่าสูงสุด แต่ในกรณีอุณหภูมิ 85°C ที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.26kg/s มีอัตราการแห้งสูงกว่าที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.35 kg/s เนื่องจากผลของความชื้นเริ่มต้นที่มีค่าแตกต่างกัน แต่ในช่วงที่ความชื้นมาตรฐานแห้งต่ำกว่า 100%db การลดลงของอัตราการแห้งทั้งในตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบถาดจะใกล้เคียงกัน โดยอัตราการไหลเชิงมวลลมร้อน (ความเร็วลมร้อน) จะมีผลต่ออัตราการแห้งน้อยมาก ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำคัญที่สามารถใช้ในการออกแบบตู้อบระบบผสมผสานระหว่างระบบเจ็ทไหลปะทะและระบบตู้อบแบบถาดได้ คือในการอบช่วงแรกควรจะใช้ระบบอบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ แต่หลังจากที่ความชื้นของกล้วยหอมต่ำกว่า 100%db แล้วจึงเปลี่ยนเป็นระบบอบแห้งแบบถาด



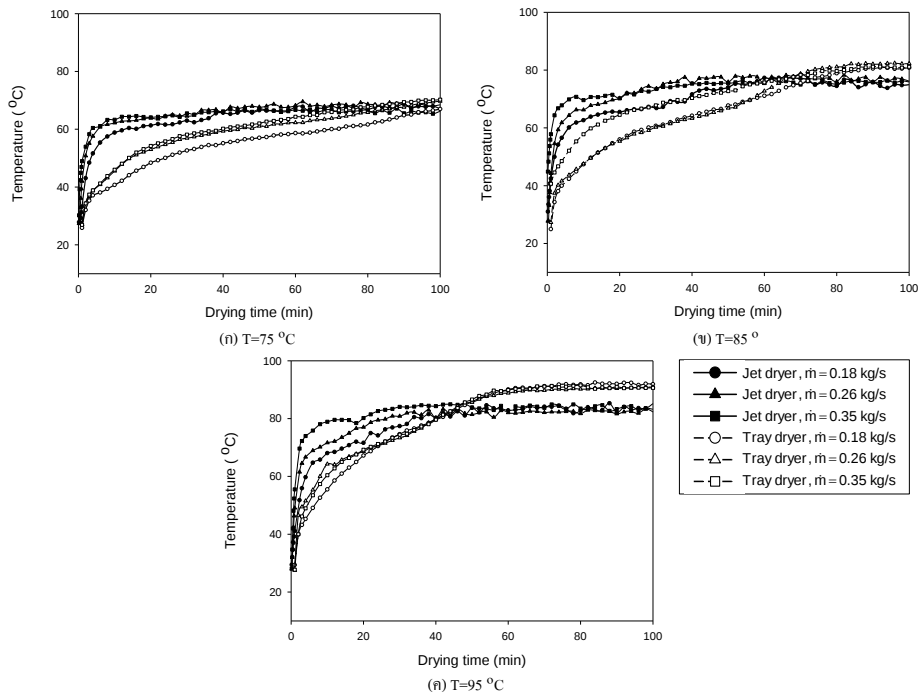
รูปที่ 5 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแห้งกับความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบถาดที่สภาวะต่าง ๆ

รูปที่ 6 แสดงผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกลางชิ้นกล้วยหอมระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบถาด ในกรณีที่ใช้อัตราการไหลเชิงมวลของลมร้อน 0.18 ,0.26 และ 0.35 kg/s ที่เงื่อนไขอุณหภูมิลมร้อน 75, 85

และ 95°C ซึ่งอุณหภูมิในชิ้นกล้วยวัดโดยการเสียบเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด T ไวตรงกลางของชิ้นกล้วยหอมจำนวน 4 ชิ้น โดยค่าอุณหภูมิที่แสดงในรูปเป็นค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากชิ้นกล้วย จากรูปพบว่าการอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะทำให้อุณหภูมิภายในเนื้อ

ผลิตภัณฑ์กล้วยหอมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าตู้อบแบบถาด โดยการอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะทำให้อุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์กล้วยหอมเริ่มคงที่ที่เวลาประมาณ 30 นาทีในทุกกรณี แต่การอบแห้งด้วยตู้อบแบบถาดทำให้อุณหภูมิเริ่มคงที่เวลาประมาณ 120,

80 และ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 75, 85 และ 95°C ตามลำดับ ส่วนการเพิ่มอัตราการไหลเชิงมวลมีผลทำให้การเพิ่มอุณหภูมิภายในชั้นกล้วยหอมจนอุณหภูมิเริ่มคงที่ใช้ระยะเวลาล้าน



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบถาดที่สภาวะต่าง ๆ

รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบร้อยละการหดตัวของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมที่อบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบถาดที่สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองได้วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นกล้วยหอมทั้งหมด 3 ตัวอย่าง ทั้งก่อนเริ่มอบ (ความชื้น 309 %db) และหลังการอบ (ความชื้น 25 %db) จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยการวิเคราะห์ข้อมูลแบบทางเดียว (One-way ANOVA) พบว่า ที่สภาวะเดียวกันร้อยละการหดตัวของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบแบบถาด และตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งโดยภาพรวมพบว่าร้อยละการหดตัวที่สภาวะ อัตราการไหลเชิงมวล 0.18 kg/s อุณหภูมิ 85°C มีค่าร้อยละการหดตัวสูงสุด ประมาณ 72.35% ในขณะที่การอบที่เงื่อนไขอัตราการไหลเชิงมวล 0.35 kg/s อุณหภูมิ 95°C มีค่าร้อยละการหดตัวที่ไม่แตกต่างจากการอบด้วยเงื่อนไขอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

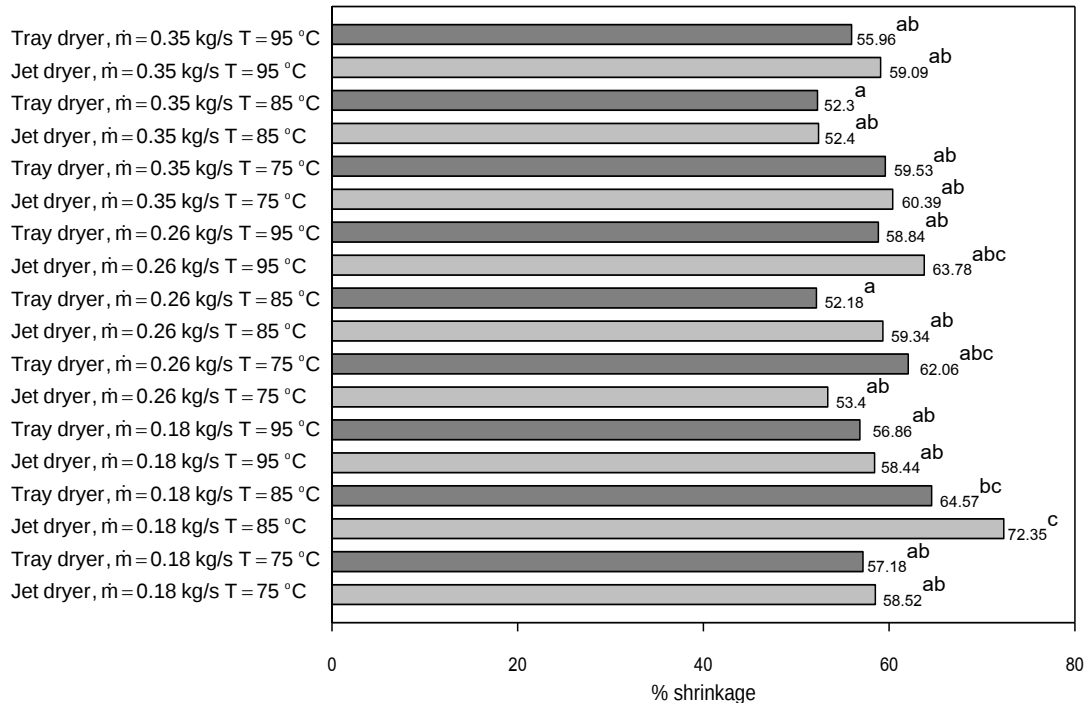
สำหรับการพิจารณาคุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หลังการ

อบแห้ง พิจารณาจากค่าความแข็งและความกรอบของผลิตภัณฑ์ จากรูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็ง และรูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบถาดที่สภาวะต่าง ๆ พบว่า ที่สภาวะเดียวกันค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นในกรณี อุณหภูมิ 85 °C อัตราการไหลเชิงมวล 0.18 และ 0.26 kg/s และกรณีอุณหภูมิ 75 °C อัตราการไหลเชิงมวล 0.18 kg/s โดยที่ในกรณีอัตราการไหลเชิงมวล 0.35 kg/s อุณหภูมิ 95 °C การอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบถาดมีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน ในส่วนของค่าความกรอบ พบว่าการอบแห้งด้วยตู้อบแบบถาดส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความกรอบมากกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะ แต่ในกรณีอุณหภูมิ 95°C อัตราการไหลเชิงมวล 0.26 และ 0.35 kg/s ค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกัน จึงสรุปได้ว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ

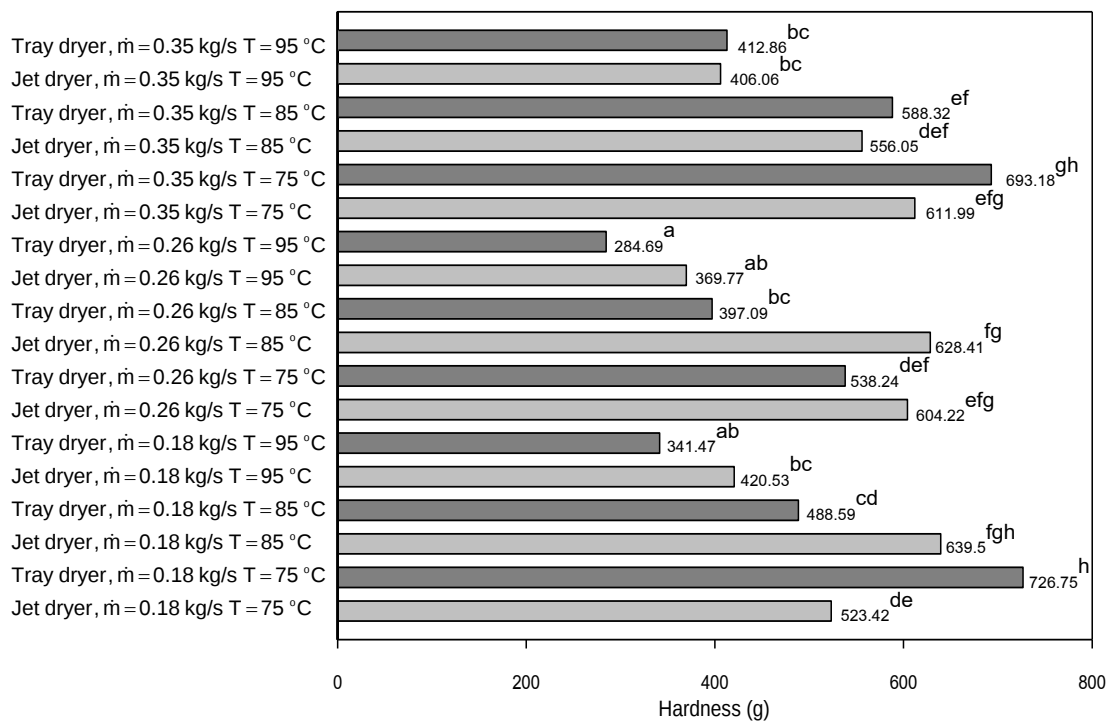
95°C ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งและค่าความกรอบไม่แตกต่างกัน ทั้งในตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบลาด

รูปที่ 10 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมที่ของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบลาดสถานะต่าง ๆ พบว่า โดยภาพรวมการอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะทำให้การ

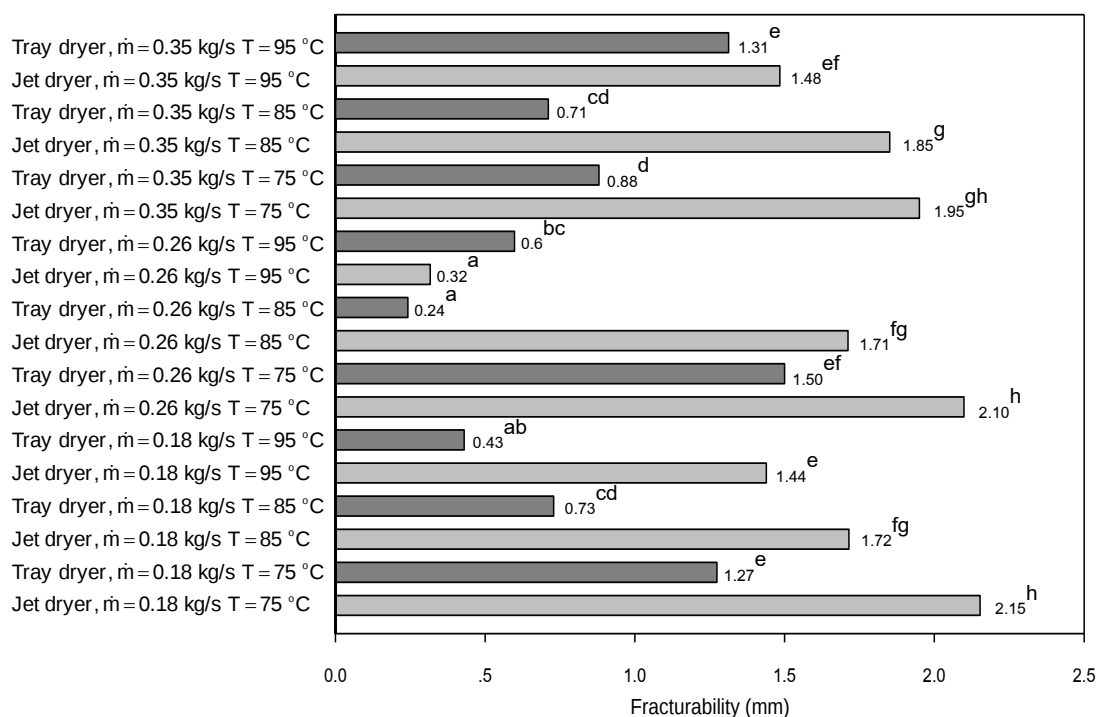
เปลี่ยนแปลงสีโดยรวมน้อยกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบแบบลาดที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.18 kg/s โดยที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.35 kg/s อุณหภูมิ 95°C การเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตู้อบทั้งสอง



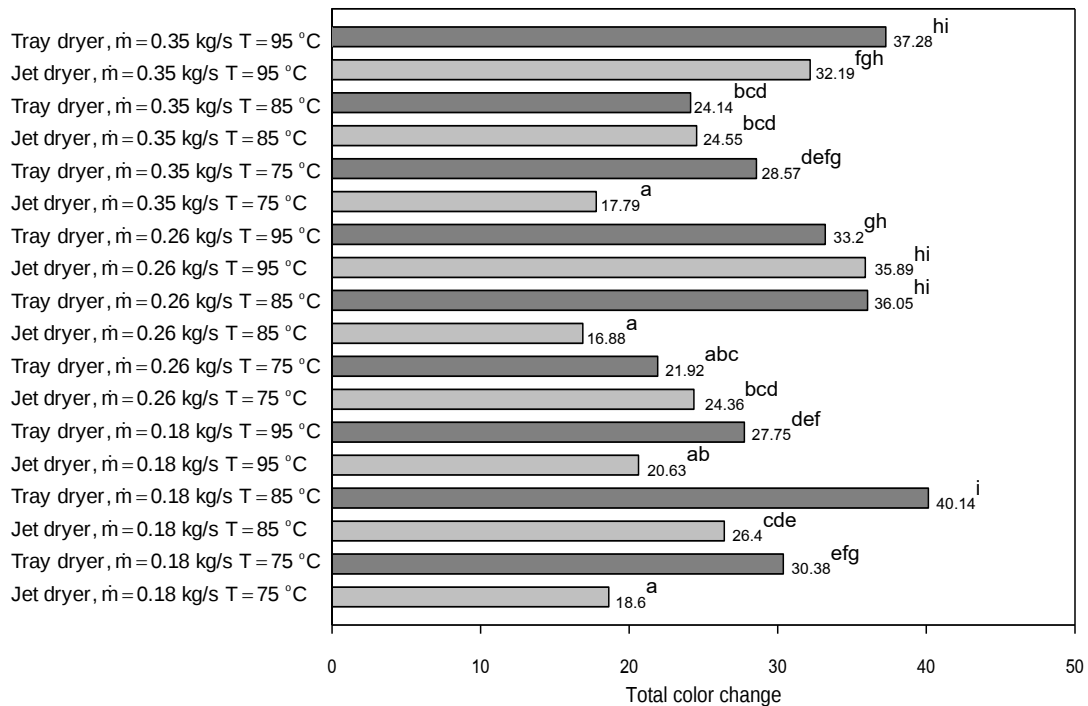
รูปที่ 7 การเปรียบเทียบร้อยละการหดตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางของผลิตภัณฑ์กล้วยหอมที่อบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบลาดที่สถานะต่าง ๆ (อักษรที่เหมือนกันหมายถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%)



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบภาดที่สภาวะต่าง ๆ (อักษรที่เหมือนกันหมายถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%)



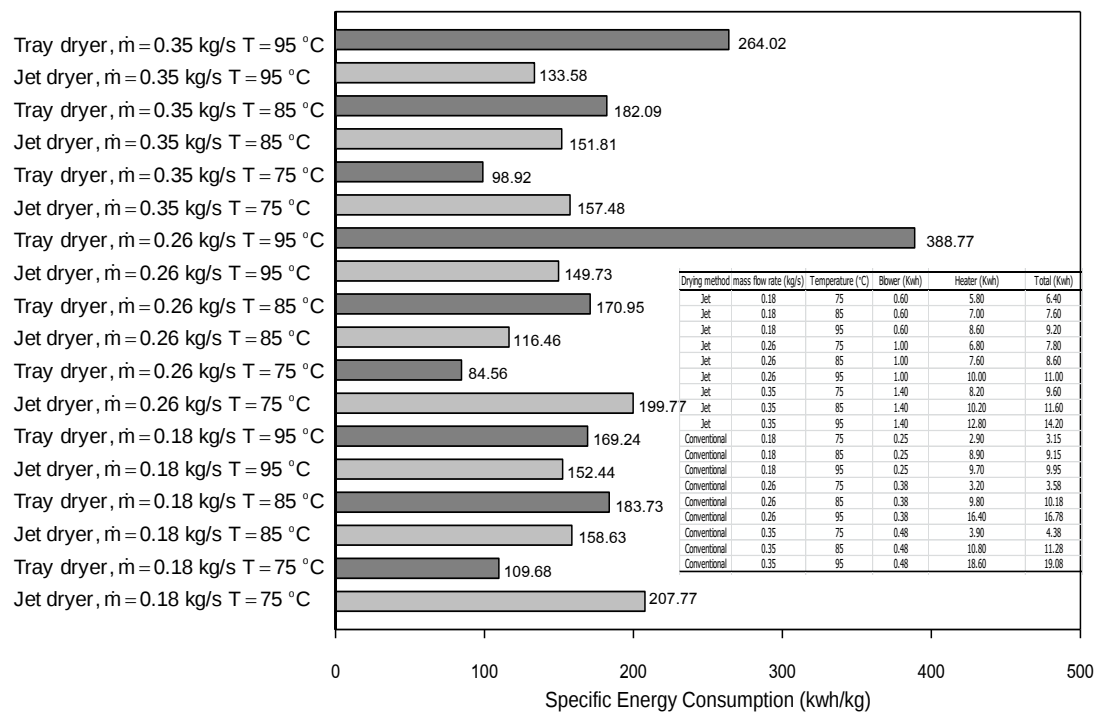
รูปที่ 10 การเปรียบเทียบค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบภาดที่สภาวะต่าง ๆ (อักษรที่เหมือนกันหมายถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% และค่าที่มีค่าน้อยแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความกรอบ)



รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมที่ของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบภาตสภาวะต่าง ๆ (อักขระที่เหมือนกันหมายถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%)

รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานจำเพาะของตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบภาตที่สภาวะต่าง ๆ พบว่าการใช้พลังงานของตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะมีค่ามากกว่าตู้อบแบบภาตที่อุณหภูมิ 75°C แต่ที่อุณหภูมิ 85 และ 95°C การใช้พลังงานของตู้อบ

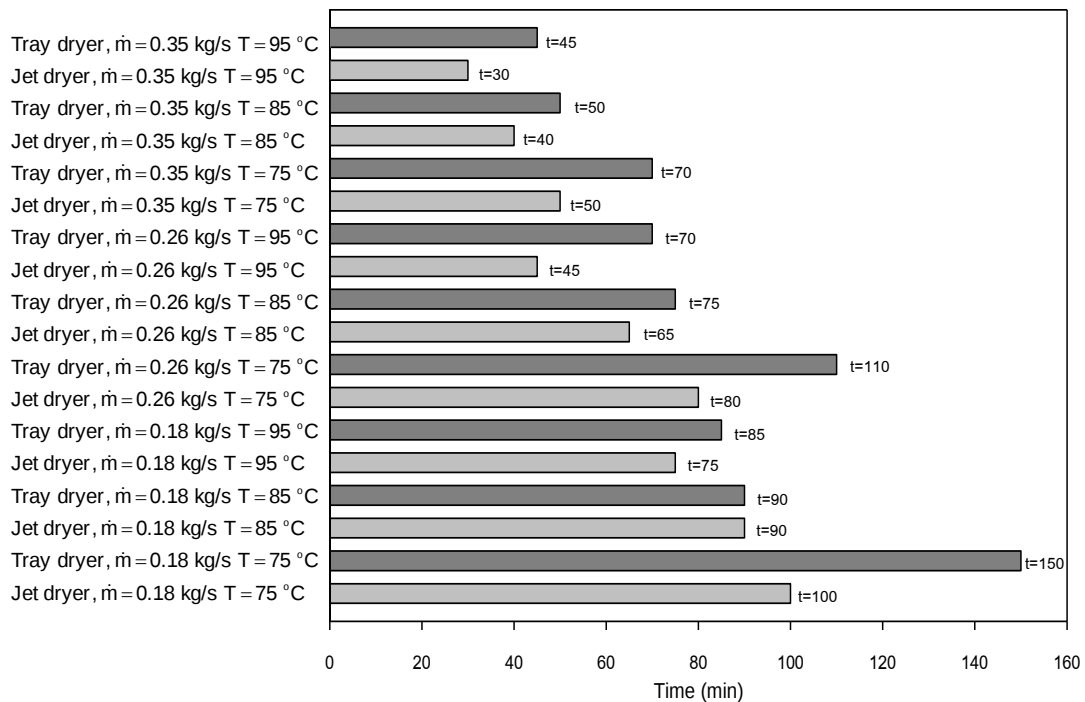
แบบเจ็ทไหลปะทะมีค่าน้อยกว่าตู้อบแบบภาต โดยที่ในกรณีอัตราการใช้ไหลเชิงมวล 0.35 kg/s อุณหภูมิ 95°C การใช้พลังงานของตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะมีค่าน้อยกว่าตู้อบแบบภาตประมาณ 50 %



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานจำเพาะของตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบถาดที่สภาวะต่าง ๆ

รูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแบบถาด พบว่าการอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะจะใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบแบบถาดที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.26 และ 0.35 kg/s ส่วน

ที่อัตราการไหลเชิง 0.18 kg/s การอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะจะใช้เวลาน้อยกว่าตู้อบแบบถาดเฉพาะที่อุณหภูมิ 95°C ซึ่งการอบแห้งโดยตู้อบแบบเจ็ทไหลปะทะที่เงื่อนไขอัตราการไหลเชิง 0.35 kg/s อุณหภูมิ 95°C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยตู้อบแบบเจ็ทไอลปะทะและตู้อบแบบถาด

4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการเปรียบเทียบการอบแห้งกล้วยหอมระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไอลปะทะและตู้อบแบบถาด ในการทดลองจะใช้กล้วยหอมระยะที่ 5 หั่นตามขวางขนาดความหนา 3.5 - 4.5 มิลลิเมตร ความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยเท่ากับ 309 %db ที่เงื่อนไขอัตราการไหลเชิงมวล 0.18 , 0.26 และ 0.35 kg/s อุณหภูมิ 75, 85 และ 95 °C บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัลทุก ๆ 10 นาที จนกระทั่งความชื้นของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่า 25 %db จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ไปวัดคุณภาพ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไอลปะทะจะมีอัตราการแห้งสูงกว่าตู้อบแบบถาดโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 85 °C และ 95 °C แต่เมื่อความชื้นลดต่ำกว่า 100 %db อัตราการแห้งจะไม่แตกต่างกัน โดยการเพิ่มอัตราการไหลเชิงมวลและอุณหภูมิมีผลต่อการเพิ่มอัตราการแห้งของผลิตภัณฑ์
2. การอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยตู้อบแบบเจ็ทไอลปะทะที่เงื่อนไขอัตราการไหลเชิงมวล 0.35 kg/s อุณหภูมิ 95 °C จะมีค่าการหดตัว ความแข็ง ความกรอบ และการเปลี่ยนแปลงสี

โดยรวม ไม่แตกต่างกันโดยนัยสำคัญกับตู้อบแบบถาด

3. การใช้พลังงานของตู้อบแบบเจ็ทไอลปะทะมีค่ามากกว่าตู้อบแบบถาดที่อุณหภูมิ 75 °C แต่ที่อุณหภูมิ 85 °C และ 95 °C การใช้พลังงานของตู้อบแบบเจ็ทไอลปะทะมีค่าน้อยกว่าตู้อบแบบถาด
4. การอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไอลปะทะจะใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบแบบถาดที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.26 และ 0.35 kg/s ส่วนที่อัตราการไหลเชิง 0.18 kg/s การอบแห้งด้วยตู้อบแบบเจ็ทไอลปะทะจะใช้เวลาน้อยกว่าตู้อบแบบถาดเฉพาะที่อุณหภูมิ 95 °C

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Moreira, R. G., Impingement drying of foods using hot air and superheated steam, *Journal of Food Engineering*, Vol.49, pp.291 - 295, 2001.
- [2] Acosta, J.L. and Moreira, R. G., Reduction of oil In tortilla chips using impingement drying, *Lebensm.-Wiss. U.Technol.*, Vol.30, pp.834 - 840, 1997.
- [3] Wahlby, U. Skjoldebrand, C. Junker, E., Impact of impingement on cooking time and food quality, *Journal of Food Engineering*, Vol.43, pp.179 - 187, 2000.
- [4] Ashforth-Frost, S., K. Jambunathan and C.F. Whitney, Velocity and turbulence characteristics of a semiconfined orthogonally impinging slot jet, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 14, pp. 60 - 67, 1997.
- [5] Lytle, D. and B.W. Webb, Secondary heat transfer maxima for air jet impingement at low nozzle-to-plate spacing, *Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*, Vol. 783, pp. 776 - 783, 1991.
- [6] Viskanta, R., Heat transfer to impinging isothermal gas and flame jets, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 6, pp. 111-134, 1993.
- [7] Zhou, D.W. and S.J. Lee, Heat transfer enhancement of impinging jets using mesh screens, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 47, pp. 2097 - 2108, 2004.
- [8] Pimazari, K. Esehaghbeygi, A. Sadeghi, M., Assessment of quality attributes of banana slices dried by different drying methods, *Journal of Food Engineering*, pp.251 – 260, 2014.
- [9] Ratiya Thuwapanichayanan, Somkiat Prachayawarakorn, Jaruwan Kunwisawa, and Somchart Soponronnarit, "Determination of effective moisture diffusivity and assessment of quality attributes of banana slices during drying," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 44, pp. 1502 - 1510, 2011
- [10] Kianoosh Pimazari, Ali Esehaghbeygi and Morteza Sadeghi, "Assessment of Quality Attributes of Banana Slices Dried by Different Drying Methods," *International Journal of Food Engineering*, vol. 10(2), pp. 251 - 260, 2014
- [11] Wannapit Junlakan, Ram Yamsaengsung and Supawan Tirawanichakul, "Effects of Vacuum Drying on Structural Changes of Banana Slices," *AJChe*, vol. 13, No. 1, pp. 1-10, 2013
- [12] J.B. Leite, M.C. Mancini, and S.V. Borges, "Effect of drying temperature on the quality of dried bananas cv. prata and d'a'gua," *LTW*, vol. 40, pp. 319 - 323, 2007



ผศ.ดร. ชุต นันทดิต สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี โท เอก สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยโอซาก้า ประเทศญี่ปุ่น ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ดร. รุณันต์ศักดิ์ เทพญา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี โท สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำ ที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



รศ.ดร. ราม แยมแสงสังข์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี โท เอก สาขาวิศวกรรมเกษตร จากมหาวิทยาลัย Texas A&M University, USA ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ ที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



นายศรินทร์ เพชรชูช่วย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์