

การศึกษาการแห้งของสับปะรดที่อบด้วยตู้อบแห้งแบบเจ็ทไหลปะทะ และตู้อบแห้งแบบถาด

Study of pineapple drying using jet impingement and tray dryer

ศรัณย์ เพชรชูช่วย¹, ประกิตหงษ์หิรัญเรือง¹, มักรัตน์ แวหะยี¹, ราม แยมแสงสังข์² และ ชยุต นันทคุสิต^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

² ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

*ติดต่อ: E-mail: chayut@me.psu.ac.th, โทรศัพท์ 074-287-035, โทรสาร 074-212-893

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งของสับปะรดโดยเปรียบเทียบระหว่างตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะกับตู้อบแบบถาด ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยอุณหภูมิลมร้อน 75, 85 และ 95 °C และอัตราการไหลเชิงมวล 0.18, 0.26 และ 0.35 kg/s โดยอบจนถึงความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 25 %db จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สี ความแข็ง ความกรอบและการใช้พลังงานจำเพาะ โดยข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาใช้เพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะสามารถทำให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก หลังจากนั้นการลดลงของความชื้นในตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะจะมีค่าน้อยกว่าในตู้อบแบบถาด สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิกับอัตราการไหลของลมร้อนในการอบแห้งส่งผลให้อัตราการลดลงของความชื้นสูงขึ้น ระยะเวลาในการอบลดลง ส่วนในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งพบว่า การอบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะที่เงื่อนไขอัตราการไหลเชิงมวล 0.35 kg/s อุณหภูมิ 85°C มีความเหมาะสมในการอบแห้งสับปะรด

คำหลัก: เจ็ทกลุ่ม, ตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะ, สับปะรด

Abstract

The objective of this research was to study drying kinetics of pineapple by the jet impingement dryer compared to the conventional tray dryer. The experimental parameter concluded the hot air temperatures at 75, 85 and 95°C and mass flow rate at 0.18, 0.26 and 0.35 kg/s. The final moisture content was 25 %db. After that, the physical properties of dried products were analyzed such as color, hardness, fracturability and specific energy consumption. The results were used to select the optimal condition for drying conditions. The experimental results show that the drying rates for the use of the jet impingement dryer were higher than the use of the conventional tray dryer in beginning of drying. After that, the one for the use of the jet impingement dryer decreased and were lower than the use of the conventional tray dryer. The increasing of temperature and flow rate of hot air ceased to increase the drying rate and to decrease drying time. The physical properties of dried products were found that for the use of the jet impingement dryer at temperature at 85 °C mass flow rate at 0.35 kg/s are suitable for drying pineapple.

Keywords: array jet, jet impingement dryer, pineapple

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยผลไม้และผักนานาชนิด และมีให้บริโภคกันอยู่ตลอดปี ซึ่งปริมาณการผลิตในแต่ละปีนั้น ไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับสภาพดิน ฟ้า อากาศ ผลผลิตส่วนมาก จะนิยมบริโภคสด และใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปเกือบทั้งหมด ในปัจจุบันเนื่องจากปัญหาผลผลิตในระหว่างฤดูกาลเก็บเกี่ยว ผักและผลไม้มีปริมาณสูง เพราะมีการขยายการผลิตมีพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้นการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตก็เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ผลผลิตต่อไร่สูงขึ้น ทำให้ส่งออกในรูปผลผลิตสดและผลิตภัณฑ์รูปแบบต่าง ๆ มีอัตราสูงขึ้น แต่การส่งออกดังกล่าวยังไม่เพียงพอต่อการระบายผลผลิตออกสู่ตลาด ทำให้ราคาตกต่ำ ทำให้เกิดปัญหาแก่เกษตรกร เป็นอย่างมาก

การแปรรูปผลผลิตโดยการอบแห้งเป็นหนึ่งในกระบวนการแปรรูปที่มีศักยภาพสูงในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งสามารถเก็บไว้จำหน่ายนอกฤดูกาลได้ ทำให้ผู้ประกอบการมีรายได้สูงขึ้นได้ เนื่องจากค่าแรงงานและต้นทุนพลังงานที่สูงขึ้น ทำให้มีความต้องการเครื่องอบแห้ง ที่มีระยะเวลาในการอบแห้งสั้น สามารถอบให้แห้งสม่ำเสมอทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งมีคุณภาพดี ขายได้ในราคาที่สูงขึ้น เมื่อต้นทุนการอบแห้งต่ำลงผู้ประกอบการอบแห้งผักและผลไม้ก็ได้รับผลตอบแทนสูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันอุตสาหกรรมแปรรูปขนาดเล็ก-กลางกำลังประสบกับปัญหาอัตราการผลิตแปรรูปที่ต่ำ เนื่องด้วยระบบเดิมที่ใช้กันทั่วไปมีประสิทธิภาพ อัตราการให้ความร้อนที่ต่ำ ในการผลิตสินค้าผลไม้อบแห้งในเชิงอุตสาหกรรม ยังไม่มีมาตรฐานที่ดี ไม่มีมาตรฐานในการผลิตที่มีคุณภาพ และปัญหาต้นทุนการผลิตสูงขึ้น โดยเฉพาะต้นทุนพลังงานที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาเครื่องอบแห้ง ที่สามารถลดเวลาในการอบแห้ง สามารถอบให้แห้งสม่ำเสมอ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งมีคุณภาพดี แก้ปัญหาถูกกีดกันในการส่งออกไปยังต่างประเทศ ขายได้ในราคาที่สูงขึ้น และเมื่อต้นทุนพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งต่ำลง ผู้ประกอบการอบแห้งผักและผลไม้ก็ได้รับผลตอบแทนสูงขึ้น

เจ็ทไหลปะทะ (Jet impingement) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กระแสอากาศหรือลำเจ็ทที่มีความเร็วสูง

ไหลปะทะกับผิวของผลิตภัณฑ์โดยตรง สามารถทำลายขอบเขตของชั้นความร้อนของอากาศบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ออกไป และกระแสอากาศที่มีระดับความปั่นป่วนที่สูงนี้ ช่วยทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้กระแสอากาศที่ไหลผ่านผลิตภัณฑ์แบบเดิมแล้ว อัตราการถ่ายเทความร้อนของระบบเจ็ทไหลปะทะจะสูงกว่า 2 ถึง 3 เท่า (ให้ความร้อนผลิตภัณฑ์ได้รวดเร็วกว่า ใช้เวลาในกระบวนการอบลดลง) การอบแห้งที่รวดเร็วและสม่ำเสมอ

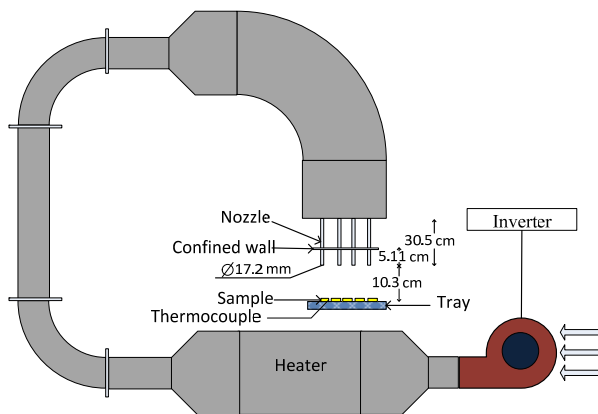
ในอดีตเทคโนโลยีเจ็ทไหลปะทะถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมกระดาษ และอุตสาหกรรมยาสูบ สำหรับสิ่งทอ กระบวนการผลิตแบบใช้เจ็ทไหลปะทะในการอบแห้ง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและอัตราการผลิตให้สูงขึ้น หรือในอุตสาหกรรมยาสูบ มีการอบหรือคั่วยาสูบแบบแผ่นที่ผ่านกรรมวิธีรีดค้อนสตีตเวดแล้วด้วยเตาอบแบบเจ็ทไหลปะทะ เป็นต้น นอกจากนี้เทคโนโลยีนี้เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร สูง กล่าวคือผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะพื้นที่ผิวมากสำหรับการถ่ายเทความร้อน และมีความหนาแน่นน้อย สำหรับการกระจายความร้อนและการขับความชื้น [1-3]

ถึงแม้ในอดีตมีการศึกษาเพื่อยืนยันความเป็นไปได้ในการใช้ระบบเจ็ทไหลปะทะในการให้ความร้อนแก่อาหาร โดยใช้หัวฉีดแบบท่อ แบบสล็อต หรือแบบออริฟิส และทดลองใช้หัวฉีดเดี่ยวหรือกลุ่มของหัวฉีดในการอบผลิตภัณฑ์ เช่น ขนมปัง แป้งโรตีสันฝรั่ง ได้ผลดีก็ตาม[4-6]แต่ระบบนี้มีข้อเสีย คือ มีต้นทุนการใช้พลังงานที่สูง เมื่อเทียบกับระบบอบแห้งแบบเดิมที่ใช้ลมร้อนไหลผ่านผลิตภัณฑ์ เนื่องจากต้องสร้างเจ็ทลมร้อนที่มีความเร็วสูงไหลปะทะผลิตภัณฑ์โดยตรง มีโอกาสเกิดปัญหาผลิตภัณฑ์เสียหายจากอัตราการให้ความร้อนที่สูงเกินไป ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เบื้องต้นเพื่อเปรียบเทียบจลนพลศาสตร์การอบแห้งคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งและการใช้พลังงานของสับปะรดอบแห้งระหว่างตู้อบแบบถาดกับตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะ

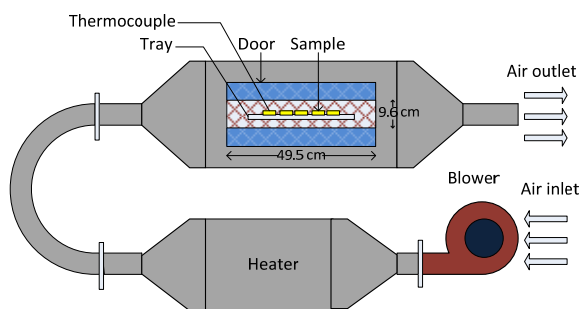
2 ชุดการทดลองและวิธีการทดลอง

2.1 ชุดการทดลอง

ในการทดลองเป็นการเปรียบเทียบจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งและคุณภาพของสับปะรดโดยการอบแห้งด้วยตู้อบบนถาดกับตู้อบบรรยากาศไหลปะทะ ซึ่งการทำงานของตู้อบบรรยากาศไหลปะทะเริ่มโดยการเปิดพัดลมที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศได้โดยควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยอินเวอร์เตอร์ หลังจากนั้นอากาศจะไหลผ่านชุดชุดทำความร้อนเพื่อควบคุมอุณหภูมิของอากาศก่อนที่จะผ่านไปยังท่อเจ็ทขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.72 เซนติเมตร ที่วางเรียงจำนวน 4×4 ท่อพ่นไหลปะทะผลิตภัณฑ์ที่วางบนตะแกรงจากด้านบนดังรูปที่ 1 และการทำงานของตู้อบบนถาดเริ่มโดยการเปิดพัดลมที่สามารถควบคุมอัตราการไหลด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า หลังจากนั้นอากาศจะไหลผ่านชุดทำความร้อน อากาศร้อนที่ได้จะผ่านผลิตภัณฑ์บนตะแกรงจากทางด้านข้างดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ตู้อบแห้งระบบเจ็ทไหลปะทะ



รูปที่ 2 ตู้อบแห้งแบบถาด

2.2 วิธีการทดลอง

ก่อนการทดลองอบจะหาปริมาณความชื้นเริ่มต้นของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้วิธีการอบแห้งด้วยเตาอบไฟฟ้าอบที่อุณหภูมิ $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 72 ชั่วโมง ตามมาตรฐานการวิเคราะห์ AOAC 1996 ในการทดลองทำการหั่นสับปะรดขนาดความหนา 3.5 – 4.5 มิลลิเมตร นำมาอบด้วยตู้อบแห้งแบบถาดและตู้อบแห้งระบบเจ็ทไหลปะทะที่อุณหภูมิ 75, 85 และ 95°C ทุกๆอัตราการไหลเชิงมวล 0.18, 0.26 และ 0.35 kg/s บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลทุกๆ 10 นาทีเพื่อหาเป็นข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นตามเวลาที่อบ จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า $25\% \text{ db}$ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสี ความกรอบ ความแข็ง และการใช้พลังงานซึ่งเปรียบเทียบโดยการพิจารณาค่าเฉลี่ย [7] น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่เวลาต่างๆสามารถนำมาหาความชื้นได้ตามสมการ (1)

$$\% \text{ MC}(\text{db}) = \left(\frac{W - D}{D} \right) \times 100$$

โดยที่ $\text{MC}_{(\text{db})}$ คือความชื้นเศษส่วนมาตรฐานแห้ง (% dry-basis), W คือน้ำหนัก ณ เวลาใดๆ, D คือน้ำหนักแห้ง

ในการทดลองอบแห้งความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์อาจมีค่าอาจมีค่าแตกต่างกันเพื่อให้เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่สภาวะต่างๆได้จึงคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นเทียบกับเวลา ซึ่งอัตราส่วนความชื้นหาได้จากสมการ (2)

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

โดยที่ M_{in} = ความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง(% dry-basis), M_t = ความชื้นเริ่มต้น ณ เวลาใดๆของผลิตภัณฑ์, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง(% dry-basis), M_{eq} = ความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง(% dry-basis)

จากผลการทดลองจะทำการคำนวณอัตราการอบแห้งหรือความสามารถในการระเหยของน้ำต่อหน่วยเวลาในระหว่างการอบแห้งเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งกล้วยแผ่น ซึ่งอัตราการอบแห้งหาได้จากสมการ (3)

$$(3) \quad \text{Drying rate} = \frac{(M_t - M_{t+\Delta t})}{\Delta t}$$

โดยที่ M_t = ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เวลา t , เศษส่วนมาตรฐานแห้ง(dry-basis) , $M_{t+\Delta t}$ = ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เวลา $t+\Delta t$, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง(dry-basis) , Δt = ช่วงเวลาในการอบแห้ง (min)

การทดสอบคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์หลังจากการอบจะถูกตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพโดยการวัดสีของผลิตภัณฑ์เนื่องจากสีเป็นสมบัติสำคัญอย่างหนึ่งของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งเป็นจุดขายของผลิตภัณฑ์ การอบแห้งส่วนใหญ่มักจะทำให้ผลิตภัณฑ์ผักหรือผลไม้สดมีสีน้ำตาลคล้ำไม่น่ารับประทาน ดังนั้นผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังอบจะถูกวัดค่าสีในระบบ 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)

สำหรับการประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ก่อนอบและหลังอบในแต่ละเงื่อนไขการอบสามารถเสนอในรูปของการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (Total color change parameter) ΔE ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการ (4)

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

โดยที่ $\Delta L = L - L_0$, $\Delta a = a - a_0$, $\Delta b = b - b_0$ คือค่าของสีหลังจากอบ คือค่าของสีก่อนอบ

การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส คุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งทดสอบโดย Texture Analyser รุ่น TA - Xtplus โดยคุณภาพเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์จะพิจารณาจากค่า ความแข็ง (Hardness) และความกรอบ(Fracturability)

การใช้พลังงานระหว่างการอบจะใช้มาตรวัดไฟฟ้า โดยบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าจากมาตรวัดที่อ่านได้ก่อนอบและหลังอบเสร็จ การใช้พลังงานจะหาได้จากค่าพลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้หลังอบลบก่อนการอบแห้ง โดยการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, (SEC) ของตู้อบสามารถคำนวณได้จากสมการ(6)

$$\text{SEC} = \frac{\text{พลังงานที่ตู้อบใช้ (KWh/kg)}}{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์}}$$

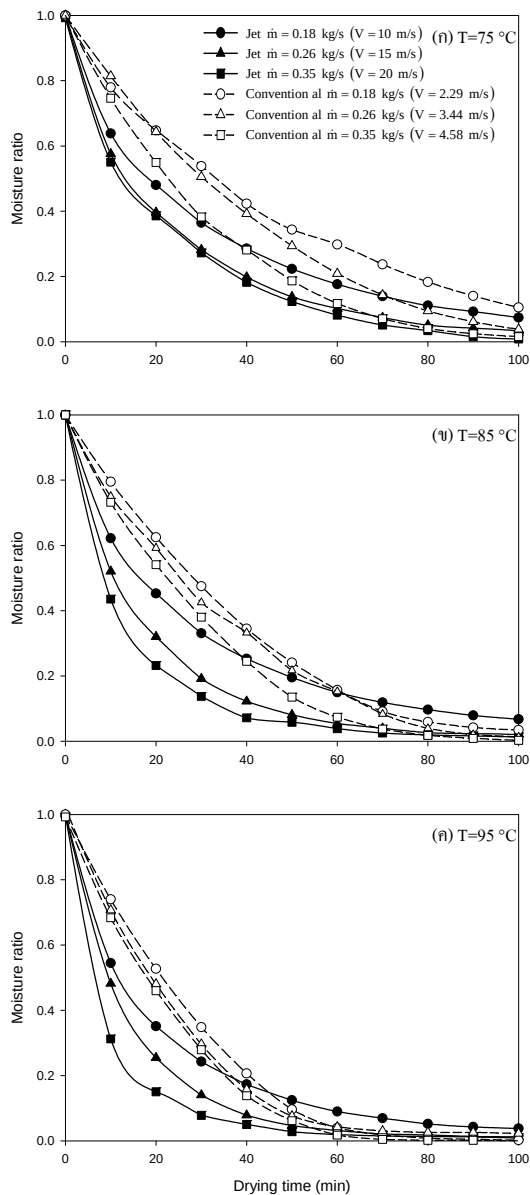
ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์ทางสถิติจะวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS, version16 ซึ่งใช้วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 2 ค่าขึ้นไป โดยการวิเคราะห์ข้อมูลแบบทางเดียว (One - wayANOVA) ซึ่งการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจะใช้วิธี Duncan's multiple-range test พิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (p=0.05)

3.ผลการทดลอง

3.1 จลนพลศาสตร์การอบแห้ง

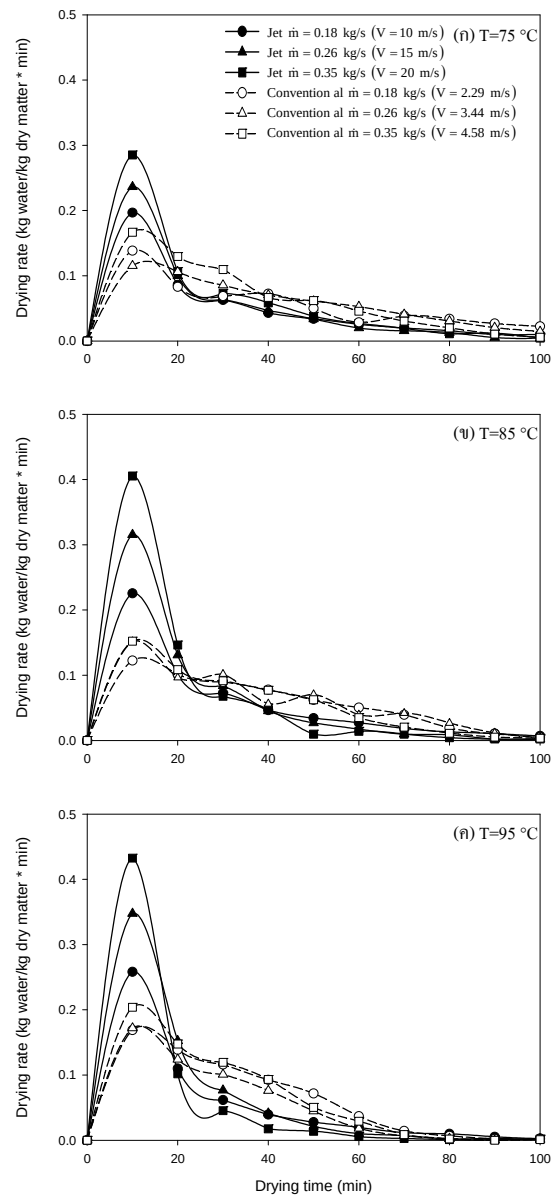
จากการทดลองอบแห้งสับปะรดที่อุณหภูมิ 75, 85 และ 95°C ทุกๆอัตราการไหลเชิงมวล 0.18, 0.26 และ 0.35 kg/sและบันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักทุกๆ 10 นาที พบว่าความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกหลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงความชื้นจะค่อยๆลดลงโดยผลของการเพิ่มอัตราการไหลเชิงมวลและอุณหภูมิมีผลต่อการลดลงของอัตราส่วนความชื้น เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบแห้งแบบถาดพบว่าที่สภาวะเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะมีการลดลงของอัตราส่วนความชื้นสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบแบบถาดเนื่องจากการอบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะเป็นการใช้อากาศร้อนที่มีความเร็วสูงปะทะกับผลิตภัณฑ์จากทางด้านบนทำให้อัตราการถ่ายโอนความร้อนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์มีค่าสูงกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบแบบถาดส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะมีค่าสูงกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบแบบถาด ดังแสดงในรูปที่3 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นกับเวลาระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะกับตู้อบแบบถาดที่สภาวะต่างๆ



รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นกับเวลาระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบบระบบเจ็ทไหลปะทะกับตู้อบบแบบถาดที่สภาวะต่างๆ

จากรูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบบระบบเจ็ทไหลปะทะกับตู้อบบแบบถาดที่สภาวะต่างๆ พบว่าโดยภาพรวมในช่วงเริ่มต้นอัตราการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบบระบบเจ็ทไหลปะทะจะมากกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบบแบบถาดหลังจากนั้นการอบแห้งด้วยตู้อบบแบบถาดจะมีค่าอัตราการแห้งมากกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบบระบบเจ็ทไหลปะทะ เมื่อพิจารณาผล

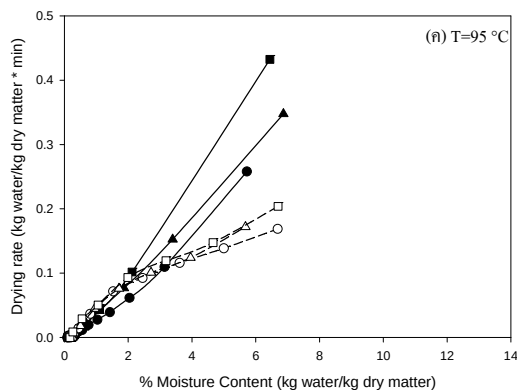
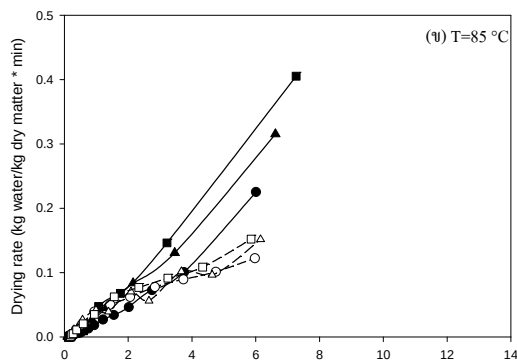
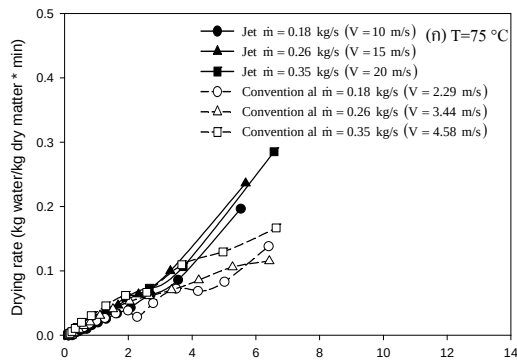
ของอุณหภูมิพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิมีผลทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นทั้งในช่วงเริ่มต้นและช่วงท้าย



รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอัตราการแห้งกับเวลาระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบบระบบเจ็ทไหลปะทะกับตู้อบบแบบถาดที่สภาวะต่างๆ

จากรูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแห้งกับความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบบระบบเจ็ทไหลปะทะกับตู้อบบแบบถาดที่สภาวะต่างๆ พบว่าอัตราการแห้งของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบบระบบเจ็ทไหลปะทะมีค่าสูงกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบบแบบถาดจนกระทั่งความชื้นน้อยกว่า 220%db หลังจากนั้นอัตราการแห้งจะมีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาผลของ

อัตราการไหลเชิงมวลและอุณหภูมิพบว่าอัตราการไหลเชิงมวลและอุณหภูมิสูงจะให้อัตราการแห้งที่สูง ซึ่งสรุปเป็นเงื่อนไขการอบแห้งได้ว่าที่ความชื้นน้อยกว่า 220%db ความเร็วไม่มีผลต่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์

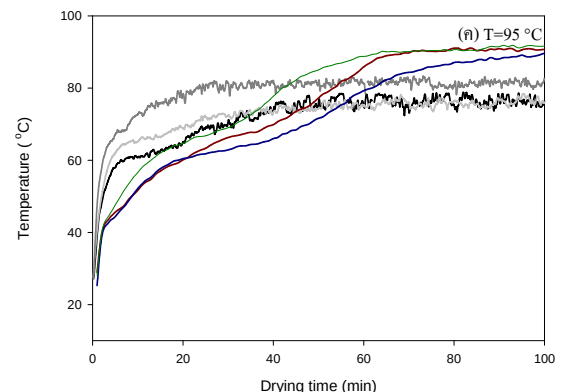
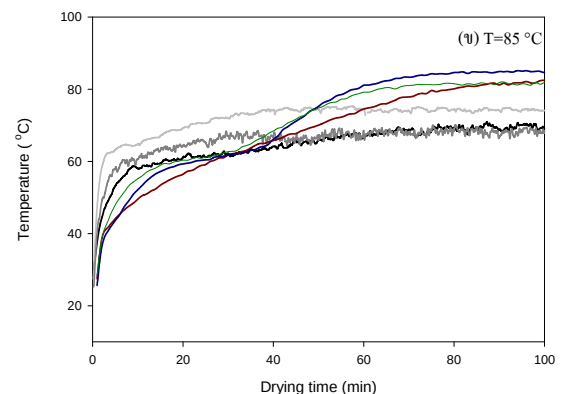
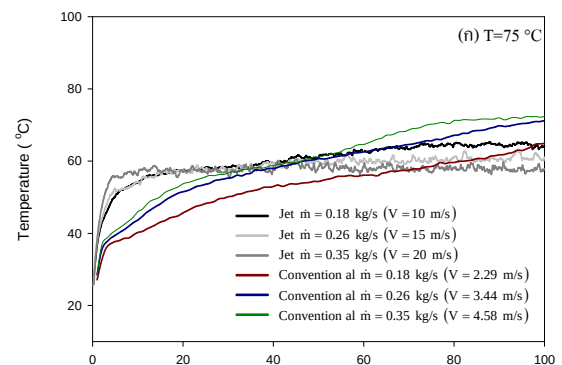


รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแห้งกับความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะกับการอบแห้งด้วยตู้อบบรรยากาศที่สถานะต่างๆ

3.2 อุณหภูมิระหว่างการอบแห้ง

จากรูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะกับตู้อบบรรยากาศซึ่งจากการทดลองจะทำการวัด

อุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์โดยการเสียบสาย Thermocouple ไว้ตรงกลางของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 4 จุด จากนั้นนำอุณหภูมิมาเฉลี่ยในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง จากการทดลองพบว่าในกรณีอบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเริ่มคงที่ในเวลาประมาณ 30 นาที ในทุกเงื่อนไขการทดลอง แต่ในตู้อบบรรยากาศอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์จะเริ่มคงที่ในเวลาประมาณ 70 นาที ที่อุณหภูมิ 85 และ 95 °C และเวลา 80 นาที ที่อุณหภูมิ 75 °C แต่เนื่องจากได้รับผลกระทบของอุณหภูมิจากอากาศทำให้การอบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะมีอุณหภูมิต่ำกว่าตู้อบบรรยากาศในช่วงอุณหภูมิคงที่



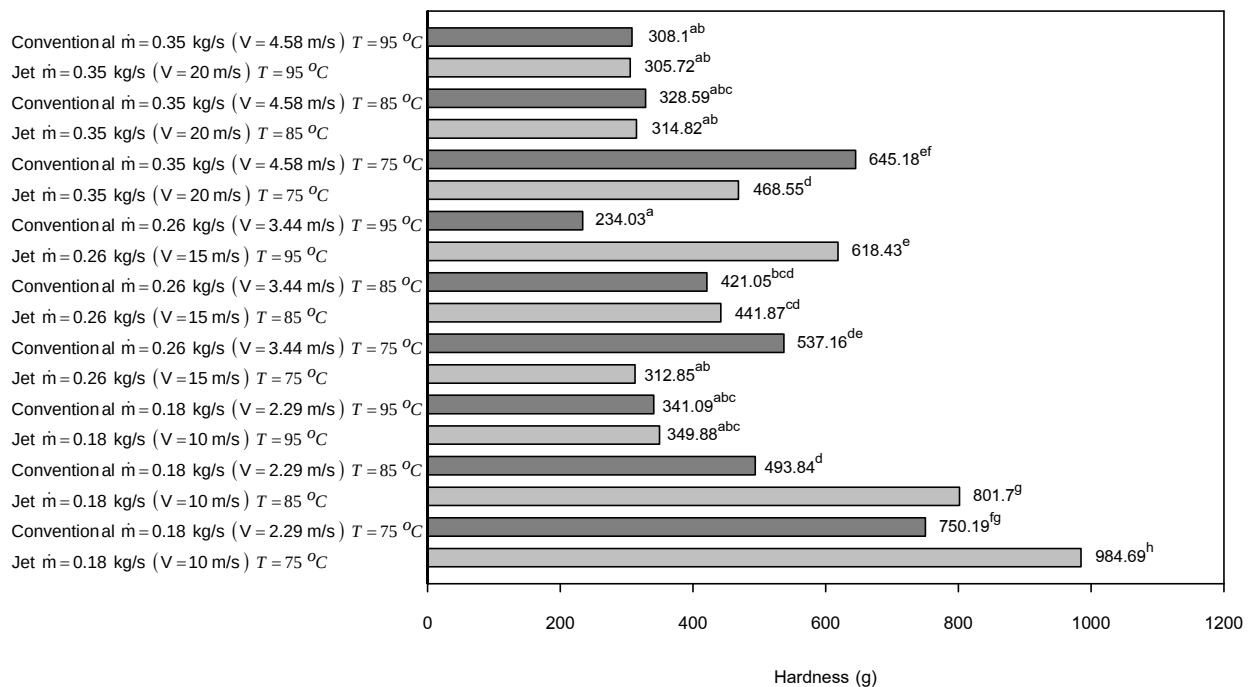
รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบบระบบเจ็ทไพลปะทะกับตู้อบบแบบภาตที่สภาวะต่างๆ

3.4 คุณภาพเนื้อสัมผัส

จากรูปที่ 8 และ 9 แสดงคุณภาพเนื้อสัมผัสของสับปะรดหลังการอบแห้งด้วยตู้อบบระบบเจ็ทไพลปะทะและตู้อบบแบบภาตในรูปของค่าความแข็งและความกรอบที่สภาวะต่างๆ พบว่าโดยรวมแล้วค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยตู้อบบระบบเจ็ทไพลปะทะจะมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยนัยสำคัญกับผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยตู้อบบแบบภาตที่อุณหภูมิ 95 °C อัตราการไหลเชิงมวล 0.35 และ 0.18

kg/s และที่อุณหภูมิ 85 °C อัตราการไหลเชิงมวล 0.35 และ 0.26 kg/s

ในส่วนของคุณภาพความกรอบของผลิตภัณฑ์พบว่าที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.18 kg/s อุณหภูมิ 75 °C และ 85 °C และที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.26 และ 0.35 kg/s อุณหภูมิ 95 °C จะมีค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยตู้อบบระบบเจ็ทไพลปะทะจะมีค่าน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยตู้อบบแบบภาต เมื่อพิจารณาค่าความแข็งและความกรอบของผลิตภัณฑ์พบว่าที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.26 kg/s อุณหภูมิ 85 °C ของการอบแห้งด้วยตู้อบบระบบเจ็ทไพลปะทะและตู้อบบแบบภาตจะมีค่าไม่แตกต่างกัน

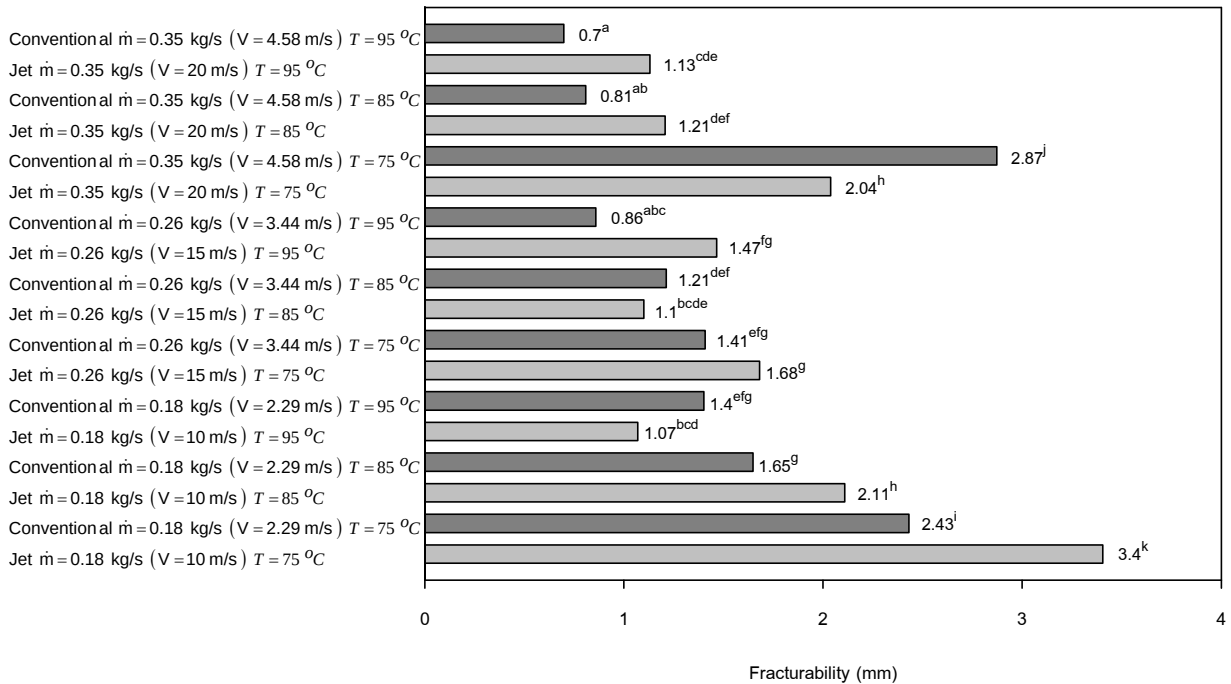


รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบบระบบเจ็ทไพลปะทะและตู้อบบแบบภาตที่สภาวะต่างๆ (อักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%)

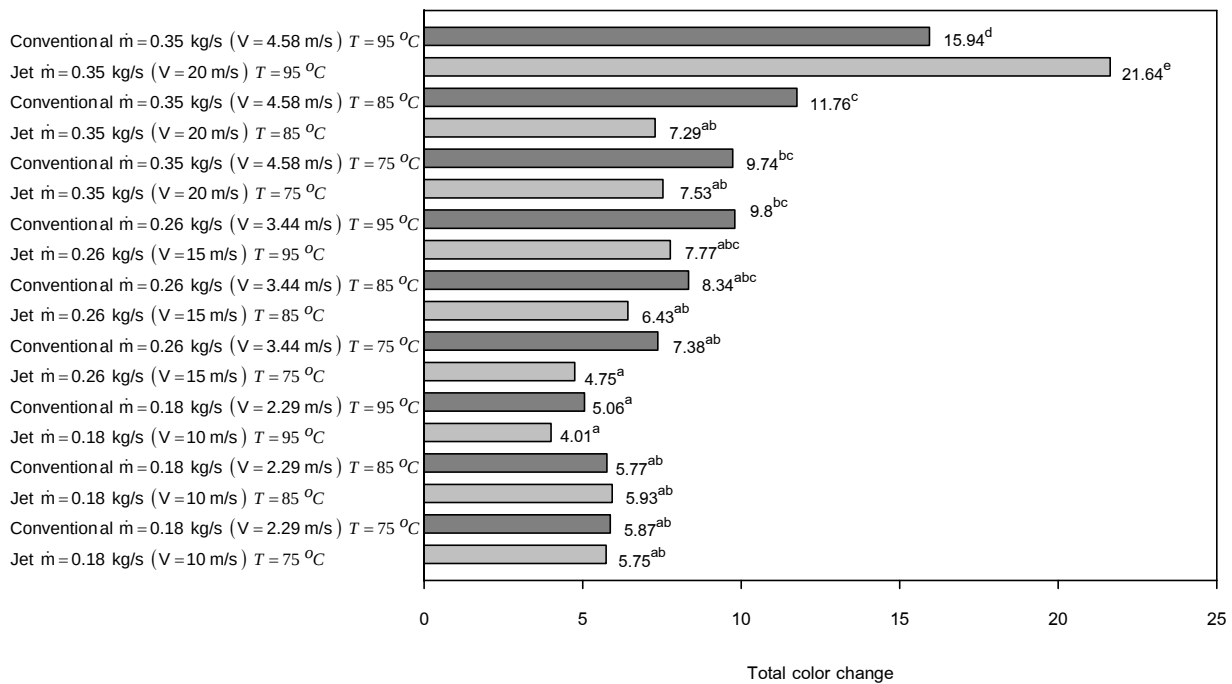
3.5 คุณภาพสี

จากรูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมที่สภาวะต่างๆ หลังการอบแห้งด้วยตู้อบบระบบเจ็ทไพลปะทะและตู้อบบแบบภาตจะสังเกตเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมจะมีค่าสูงที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.35 kg/s ที่อุณหภูมิ 85 และ 95 °C ส่วนที่เงื่อนไขอื่นๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมไม่แตกต่างกัน

โดยนัยสำคัญเมื่อพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของผลิตภัณฑ์พบว่าที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.26 kg/s อุณหภูมิ 85 °C ของการอบแห้งด้วยตู้อบบระบบเจ็ทไพลปะทะและตู้อบบแบบภาตจะมีการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบบนถาดที่สภาวะต่างๆ (อักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%)
หมายเหตุ : ค่ามากบ่งบอกถึงค่าความกรอบน้อย

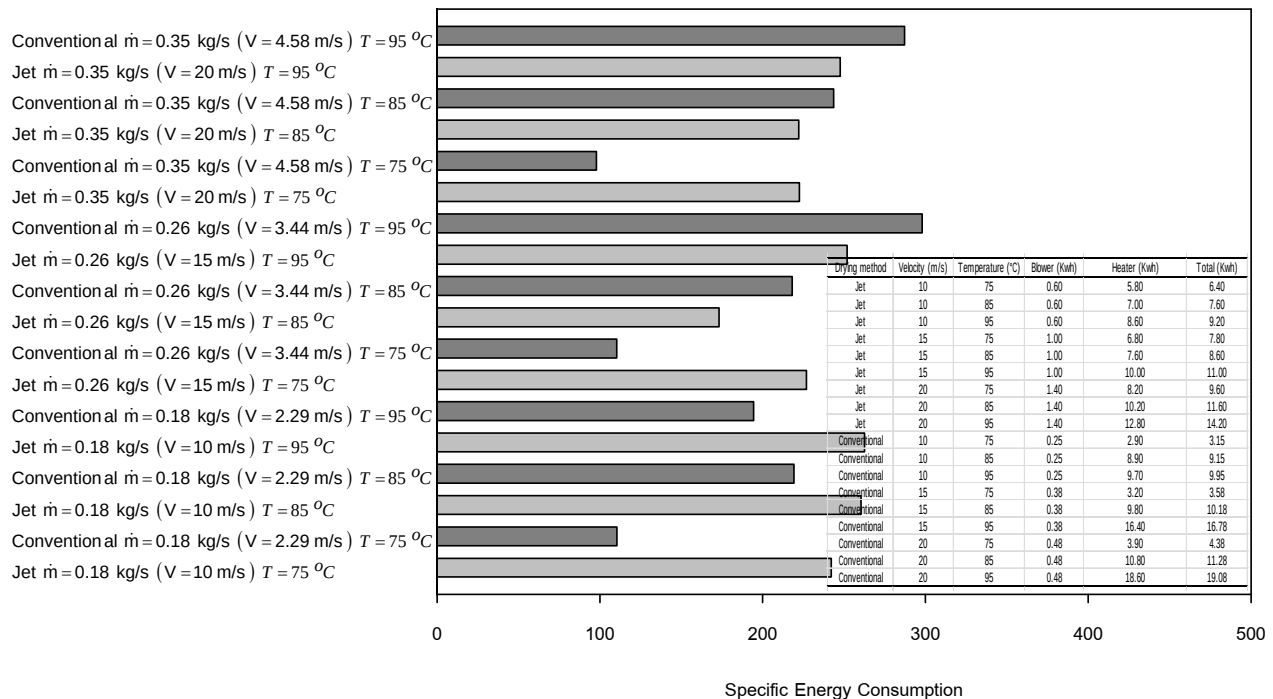


รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะและตู้อบบนถาดที่สภาวะต่างๆ (อักษรที่เหมือนกันภายในคอลัมน์เดียวกันหมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95%)

3.6 การใช้พลังงาน

จากรูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานจำเพาะที่สภาวะต่างๆของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไอลปะทะและตู้อบแบบถาด พบว่าการใช้พลังงานของตู้อบแบบถาดจะมีค่าสูงกว่าตู้อบระบบเจ็ทไอลปะทะที่อัตราการไหล 0.26 และ 0.35 kg/s ที่อุณหภูมิ 85 และ 95 °C ส่วนที่อัตราการไหลเชิงมวล

0.18 kg/s การใช้พลังงานของตู้อบแบบถาดมีค่าต่ำกว่าตู้อบระบบเจ็ทไอลปะทะ เมื่อพิจารณาค่าการใช้พลังงานของตู้อบระบบเจ็ทไอลปะทะและตู้อบแบบถาด พบว่าที่อัตราการไหลเชิงมวล 0.26 kg/s อุณหภูมิ 85 °C การอบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไอลปะทะจะมีการใช้พลังงานต่ำกว่าตู้อบแบบถาด



รูปที่10แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานจำเพาะของตู้อบระบบเจ็ทไอลปะทะและตู้อบแบบถาดที่สภาวะต่างๆ

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งและคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งของสับประสมระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไอลปะทะกับตู้อบแบบถาดโดยในการทดลองใช้สับประสมขนาดความหนา 3.5 – 4.5 มิลลิเมตร นำมาอบด้วยตู้อบแห้งแบบถาดและตู้อบแห้งระบบเจ็ทไอลปะทะที่อุณหภูมิ 75, 85 และ 95°C อัตราการไหลเชิงมวล 0.18, 0.26 และ 0.35 kg/s บันทึกการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลทุกๆ 10 นาที เพื่อหาเป็นข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นตามเวลาที่อบจนกระทั่งความชื้นสุดท้าย 25 %db สามารถสรุปได้ดังนี้

1. อัตราส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลงอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิและความเร็วสูงโดยผลิตภัณฑ์ที่อบแห้ง

ด้วยตู้อบระบบเจ็ทไอลปะทะจะมีการลดลงของความชื้นมากกว่าที่อบแห้งด้วยตู้อบแบบถาด

2. อัตราการแห้งของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไอลปะทะมีค่าสูงกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบแบบถาดจนกระทั่งความชื้นน้อยกว่า 220%db ซึ่งสรุปเป็นเงื่อนไขการอบแห้งได้ว่าที่ความชื้นน้อยกว่า 220%db ความเร็วไม่มีผลต่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์

4. การอบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไอลปะทะ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเริ่มคงที่ที่เวลาประมาณ 30 นาทีในทุกเงื่อนไขการทดลองแต่ในตู้อบแบบถาดอุณหภูมิภายในผลิตภัณฑ์จะเริ่มคงที่ที่เวลาประมาณ 70 นาทีที่อุณหภูมิ 85 และ 95 °C และเวลา 80 นาทีที่อุณหภูมิ 75 °C

5. คุณภาพเนื้อสัมผัสพบว่าการอบแห้งด้วยตู้อบระบบเจ็ทไหลปะทะที่เงื่อนไขอัตราการไหลเชิงมวล 0.26 kg/s อุณหภูมิ 85 °C มีความเหมาะสมในการอบแห้งสับปะรดเนื่องจาก มีค่าความแข็ง ความกรอบ การเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม และการใช้พลังงานอยู่ในระดับต่ำ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Javier Lujan-Acosta, Rosana G. Moreira, Reduction of oil in Tortilla chips using impingement drying, Lebensm.-Wiss. U.- Technol., Vol.30, pp.834-840, 1997
- [2] Rosana G. Moreira, Impingement drying of foods using hot air and superheated steam, Journal of Food Engineering, Vol.49, pp.291-295, 2001
- [3] Wahlby, U. Skjoldbrand, C. Junker, E. (2000), Impact of impingement on cooking time and food quality, Vol.43, pp.179-187
- [4] Ashforth-Frost, S., K. Jambunathan and C.F. Whitney (1997), Velocity and Turbulence Characteristics of a Semiconfined Orthogonally Impinging Slot Jet, Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 14, pp. 60-67.
- [5] Viskanta, R. (1993), Heat Transfer to Impinging Isothermal Gas and Flame Jets, Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 6, pp. 111-134.
- [6] Zhou, D.W. and S.J. Lee (2004), Heat Transfer Enhancement of Impinging Jets Using Mesh Screens, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 47, pp. 2097-2108
- [7] Kianoosh Pirnazari, Ali Esehaghbeygi* , Morteza Sadeghi Assessment of Quality Attributes of Banana Slices Dried by Different Drying Methods , Journal of Food Engineering pp.251-260, 2014