

ผลกระทบของการอบแห้งด้วยอินฟราเรดตามด้วยลมร้อนที่มีต่อคุณภาพขนมจีน

Effect of the Drying Method using Infrared and Hot Air Combination on the Qualities of Rice Noodle

กัญทิภา เวชกลาง¹, สุภาพร สายหล้า², วิริยา ปัตตลาโพธิ์², เพลงพิน เพียรภูมิพงศ์³ และภราดร หนูทอง^{2*}

¹ สาขาวิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

² สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

³ สาขาวิชาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ที่อยู่ 744 ถ. สุรนารายณ์ ต. ในเมือง อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

*ผู้ติดต่อ E-mail: pound96@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 081-020-1237

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของกำลังอินฟราเรดและลมร้อนที่มีต่อคุณภาพสี อัตราการคืนตัว และรสชาติของขนมจีน ด้วยการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดตามด้วยลมร้อน ทำการอบแห้งที่กำลังอินฟราเรด 200–600 W และลมร้อนอุณหภูมิ 40–60°C การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดพิจารณากรณีที่มีและไม่มีอากาศไหลผ่าน อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 15 %db การวัดคุณภาพสีใช้เครื่อง MiniScan EZ ตามมาตรฐานของ CIE การทดสอบการคืนรูปด้วยการจุ่มในน้ำอุณหภูมิ 95±2°C นาน 10 min และการทดสอบรสชาติได้ทดสอบด้วยเครื่อง Electronic Tongue จากการศึกษาพบว่า การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดในช่วงแรกแบบมีอากาศไหลผ่านตามด้วยลมร้อนให้คุณภาพสี การคืนรูป และรสชาติใกล้เคียงกับท้องตลาด

คำหลัก: ขนมจีนอบแห้ง; คุณภาพ; อินฟราเรด; การคืนตัว; การทดสอบรสชาติ

Abstract

The aim of this research was to study the effect of infrared and hot air on the qualities in term of color, rehydration and sensory of dried rice noodle. The experimental drying was used an infrared and hot air combination. It carried out at infrared power of 200–600 W and hot air temperature of 40–60°C. The infrared drying was considered the air and no-air flow inside chamber. The samples were dried until attaining a final moisture content of 15 %db. The color quality was measured by a colorimeter model MiniScan XE Plus in the CIE standards system. The rehydration ratio was used to express ability of the dried product to absorb the water by it were immersed in hot water at a temperature of 95±2°C for 10 min. The sensory test of dried product was measured by an electronic tongue. The results showed that the infrared drying by using air flow combined hot air drying was nearly the same as commercial.

Keywords: Rice noodle drying; Qualities; Infrared; Rehydration Ratio; Sensory test

1. บทนำ

“ขนมจีน (Thai Rice Noodle)” เป็นอาหารที่นิยมบริโภคทั่วทุกภูมิภาคซึ่งผลิตจากแป้งข้าวเจ้าชนิดข้าวนา โดยมีอยู่ 2 ชนิด คือ ขนมจีนแป้งหมักซึ่งมีกลิ่นหมักของ แป้ง และเหนียวนุ่ม เมื่อเติมน้ำยาทำให้เส้นไม่เปื่อยหรือยุ่ย และขนมจีนแป้งสดจะมีลักษณะเส้นขาว เนื่องจาก

ขนมจีนมีน้ำเป็นประกอบหลักทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี ทำให้เกิดเน่าเสียได้เร็ว โดยขนมจีนแป้งสดเก็บได้ไม่เกิน 1 วัน ขณะที่ขนมจีนแป้งหมักเก็บได้ไม่เกิน 5 วัน การจำกัดน้ำเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้สามารถยืดเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นาน [1]

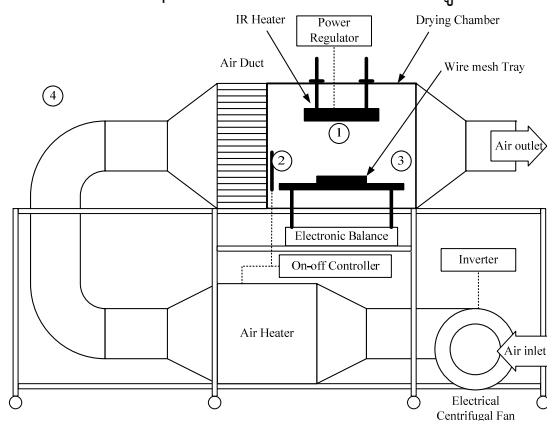
การแปรรูปขนมจีนแห้งนิยมอบแห้งด้วยลมร้อนแบบ ภาต จะได้เส้นขนมจีนที่ค่อนข้างแข็งและสีเหลืองนวล หรือวิธีการแช่แข็ง-คั้นรูปตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งเส้นขนมจีนค่อนข้างเปราะและสีขาวขุ่น [2] งานวิจัยนี้ จึงได้หาเทคโนโลยีสำหรับการอบแห้งขนมจีน โดยการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็น แหล่งพลังงาน เนื่องจากรังสีอินฟราเรดสามารถทะลุผ่าน เข้าไปในเนื้อในของอาหาร เพื่อกระตุ้นให้โมเลกุลของน้ำ ภายในวัสดุเกิดการสั่นและเปลี่ยนเป็นความร้อน [3] แต่ เนื่องจากแป้งมักมีความไวต่อความร้อนซึ่งส่งผลต่อ คุณภาพได้ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการอบแห้งด้วยรังสี อินฟราเรดตามด้วยลมร้อนที่มีต่อคุณภาพสี การคั้นรูป และรสชาติของขนมจีน เพื่อเป็นแนวทางผลิตขนมจีน อบแห้งที่มีคุณภาพและสามารถเพิ่มมูลค่าและเข้มแข็ง ของชุมชนในอนาคตได้อีกด้วย

2. วัสดุและวิธีการ

2.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์สำหรับการอบแห้ง

งานวิจัยนี้ได้ใช้ขนมจีนแป้งสดที่มีขายในเขตอำเภอ เมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยนำเส้นขนมจีนมาแยกเป็น เส้นและตัดให้มีความยาว 80–100 mm บรรจุถุงซิปลและ เก็บไว้ในตู้เย็น 1 วัน

การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดและลม ร้อน ประกอบด้วย ห้องอบแห้งขนาด 500x500x500 mm³ ภายในห้องติดตั้งอินฟราเรดขนาด 122x122 mm² สามารถปรับกำลังไฟฟ้าสูงสุด 650 W วางห่างจากวัสดุ อบแห้ง 200 mm ขณะที่ลมร้อนผลิตจากขด ลวดความร้อนโดยมีอากาศไหลเข้าเครื่องอบแห้งด้วยพั ดลมขนาด 0.25 hp ที่ความเร็วลม 1.0 m/s (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 โต๊ะแกรมของเครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ร่วมกับลมร้อน

2.2 ขั้นตอนการอบแห้งขนมจีน

การอบแห้งขนมจีนด้วยรังสีอินฟราเรดตามด้วยลม ร้อน แยกการศึกษาเป็น 3 รูปแบบ คือ เพื่อศึกษารูปแบบ และระยะเวลาของการใช้รังสีอินฟราเรด เพื่อพิจารณา พฤติกรรมการลดลงของความชื้น และเพื่อศึกษาคุณภาพ ของเส้นขนมจีน โดยอบแห้งที่กําลังอินฟราเรด (P) 200, 400 และ 600 W และอุณหภูมิลมร้อน (T_{air}) 40, 50 และ 60°C และความเร็วลม 1 m/s จนมีความชื้นประมาณ 15 %db [4]

การทดลองหารูปแบบและระยะเวลาในการใช้รังสี อินฟราเรดพิจารณาจากการอบแห้งแบบมีอากาศไหลผ่าน (Forced convective drying, FCD) (ความเร็วลม 1 m/s) และไม่มีอากาศไหลผ่าน (Natural convective drying, NCD) โดยพิจารณาจากคุณภาพสีและเปรียบเทีย กับขนมจีนที่มีขายในท้องตลาด เริ่มจากการเตรียม ตัวอย่างจำนวน 4 ภาตๆ ละ 50±3 g จากนั้นทำการ เตรียมเครื่องอบแห้งโดยปรับกําลังอินฟราเรด และเปิด พัดลมโดยใช้อุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้ากรณีอบแห้งโดยมี อากาศไหลผ่าน และปิดพัดลมกรณีอบแห้งโดยไม่มี อากาศไหลผ่าน บันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิของกอง ขนมจีนเริ่มต้นและบรรจุเข้าห้องอบแห้ง ระหว่างการ ทดลองทำการบันทึกน้ำหนัก อุณหภูมิของกองขนมจีน และเก็บตัวอย่างเพื่อวัดสีทุก 15 min ทำการไปจนกว่าสี ของเส้นขนมจีนมีสีคล้ำจึงสิ้นสุดการอบแห้ง

การทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการลดลงของ ความชื้น โดยเตรียมตัวอย่างจำนวน 4 ภาตๆ ละ 50±3 g และเตรียมเครื่องอบแห้งเช่นเดียวกับกรณีแรก ทำการ บันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิของกองขนมจีน ระหว่างการ ทดลองทำการบันทึกน้ำหนัก อุณหภูมิของกองขนมจีน และ เก็บตัวอย่างเพื่อวัดสีทุก 15 min โดยอบแห้งด้วยรังสี อินฟราเรดตามเวลาที่กำหนดจากนั้นตัวอย่างมาอบแห้ง ต่อด้วยลมร้อน โดยบันทึกข้อมูลข้างต้นทุก 15 min ใน ชั่วโมงแรก และทุก 30 min จนขนมจีนแห้ง

2.3 การทดสอบความชื้น

นำตัวอย่างที่ได้จากการอบแห้งมาบรรจุลงภาตและ ชั่งน้ำหนักเริ่มต้น (w) ก่อนจะนำเข้าตู้อบลมร้อน (Hot air oven) โดยทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105°C นาน 24 h [5] จากนั้นนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักหลังการอบแห้ง (d) เพื่อนำไปวิเคราะห์ความชื้น โดยคำนวณจากสมการ (1)

$$M_d(t) = \frac{w(t) - d}{d} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ $M_d(t)$ คือ ความชื้นของวัสดุที่เวลาใดๆ (%db.), $w(t)$ คือ น้ำหนักตัวอย่างที่เวลาใดๆ (kg) และ d คือ น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (kg)

2.4 การทดสอบคุณภาพสี

การทดสอบคุณภาพสีของเส้นขนมจีนด้วยเครื่อง MiniScan EZ รุ่น CQXE, US-VIS, US-PRO โดยนำตัวอย่างบรรจุในถ้วยสีดำก่อนทำการวัดตามมาตรฐานของ CIE โดยวัดค่าสีในรูปของค่าความสว่าง (L^*) ความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพื่อวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (ΔE), ค่า Chroma และค่าบ่งชี้การเป็นสีน้ำตาล (BI) ดังสมการ (2) ถึง (5) ตามลำดับ [8-9]

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L_t^*)^2 + (a_0^* - a_t^*)^2 + (b_0^* - b_t^*)^2} \quad (2)$$

$$\text{Chroma} = \sqrt{(a_t^*)^2 + (b_t^*)^2} \quad (3)$$

$$\text{BI} = \frac{100(x - 0.31)}{0.71} \quad (4)$$

$$\text{และ } x = \frac{a_t^* + 0.175L_t^*}{5.645L_t^* + a_t^* - 3.012b_t^*} \quad (5)$$

เมื่อ L_0^* คือค่าความสว่าง, a_0^* คือค่าความเป็นสีแดง และ b_0^* คือค่าความเป็นสีเหลืองก่อนการอบแห้ง

2.5 การทดสอบอัตราการคืนรูปของเส้นขนมจีนอบแห้ง

การทดสอบอัตราการคืนรูปด้วยการนำตัวอย่างแห้งมาทดสอบโดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างจากนั้นนำไปแช่ในน้ำอุณหภูมิ $95 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลานาน 10 min จากนั้นชั่งน้ำหนักออกจนแห้งและชั่งน้ำหนัก [5] โดยทดลองซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง โดยคำนวณค่าอัตราการคืนตัวดังสมการ (6)

$$\text{RR} = \frac{m_f}{m_d} \quad (6)$$

เมื่อ RR คือการคืนตัว, m_d และ m_f คือน้ำหนักของวัสดุก่อนและหลังกระบวนการคืนตัว (g) ตามลำดับ

2.6 การทดสอบรสชาติ

การทดสอบรสชาติด้วยการนำขนมจีนแห้งมาคืนรูปด้วยแช่ในน้ำอุณหภูมิ $95 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลานาน 10 min แล้วนำมาบรรจุในบีกเกอร์ให้มีขนาด 20 ml เติมน้ำกลั่นขนาด 80 ml และนำมาปั่นเป็นเวลา 30 s นำของผสมที่ได้มากรองด้วยผ้าขาวบาง ก่อนนำไปเหวี่ยงเพื่อแยก

ตกตะกอนออกจากของเหลว และกรองของเหลวด้วยกระดาษกรอง สุดท้ายจึงนำของเหลวบรรจุบีกเกอร์ปริมาณ 80 ml และบรรจุเครื่อง Electronic Tongue [8] ทำการทดสอบซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง

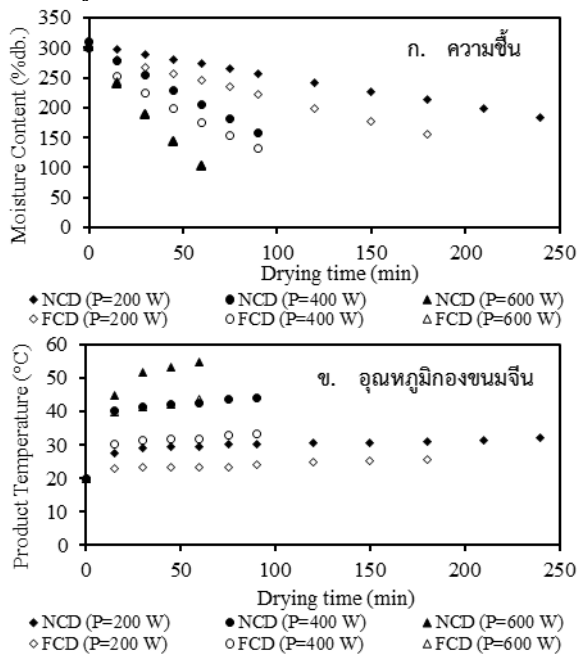
3. ผลและอภิปรายผลการทดลอง

3.1 ผลการอบแห้งขนมจีน

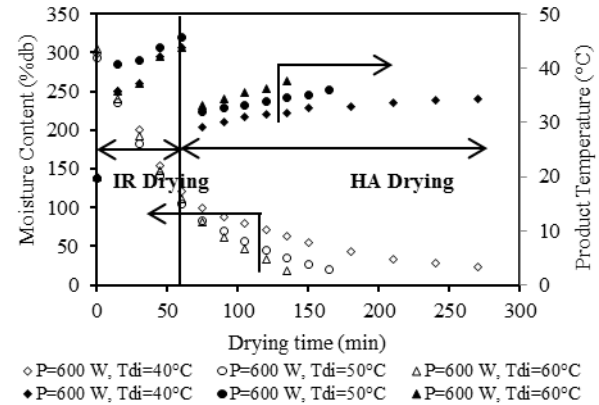
การศึกษารูปแบบการอบแห้งการใช้รังสีอินฟราเรด โดยพิจารณาคุณภาพสีเปรียบเทียบกับคุณภาพสีของเส้นขนมจีนแห้งที่มีขายในท้องตลาดจากการอบแห้งกรณีที่มีและไม่มียาอากาศไหลผ่านตัวอย่างที่กำลังอินฟราเรด 200, 400 และ 600 W พบว่า การอบแห้งกรณีที่มีอากาศไหลผ่าน (1 m/s) สามารถลดความชื้นขนมจีนจาก 300.4 ± 4.7 %db. จนมีความชื้น 156.0, 132.8 และ 104.6 %db. ในเวลา 180, 90 และ 60 min ดังรูปที่ 2(ก) และให้อุณหภูมิของกองขนมจีนสูงสุด 25.5, 33.3 และ 43.7°C ดังรูปที่ 2(ข) จะเห็นว่า การใช้กำลังอินฟราเรด 600 W เป็นเวลานาน 60 min โดยมีค่าความสว่างเท่ากับ 64.26 ซึ่งสูงกว่าขนมจีนแห้งที่มีขายในท้องตลาดเล็กน้อย ขณะที่ค่าความเป็นสีแดงมีค่า -0.46 ค่าความเป็นสีแดงสูงกว่าขนมจีนแห้งที่มีขาย โดยที่กำลังอินฟราเรด 200 และ 400 W เป็นเวลานาน 180 และ 90 min หากทำการอบแห้งต่อด้วยลมร้อนจะทำให้สีคล้ำ ขณะที่การอบแห้งที่ไม่มีอากาศไหลผ่านเพื่อลดความชื้นขนมจีนจาก 306.1 ± 4.7 %db. จนมีความชื้น 183.3, 157.6 และ 102.7 %db. ใช้เวลา 240, 90 และ 60 min ตามลำดับ ดังรูปที่ 2(ก) โดยให้อุณหภูมิของกองขนมจีนสูงสุด 32.2, 44.0 และ 54.8°C ดังรูปที่ 2(ข) สอดคล้องกับกรณีการอบแห้งแบบมีอากาศไหลผ่าน โดยค่าความสว่างเท่ากับ 65.00 ซึ่งสูงกว่าขนมจีนแห้งที่มีขายเล็กน้อย ขณะที่ค่าความเป็นสีแดงมีค่า -0.15 โดยที่กำลังอินฟราเรด 200 และ 400 W เป็นเวลานาน 240 และ 90 min

จะเห็นว่า การอบแห้งที่มีอากาศไหลผ่านสามารถลดความชื้นได้มากกว่ากรณีที่ไม่มีอากาศไหลผ่าน เนื่องจากการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดทำให้อุณหภูมิของกองขนมจีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้การถ่ายเทมวล (ความชื้น) จากขนมจีนสู่อากาศได้สูง ทำให้อากาศภายในห้องอบแห้งมีไอน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเมื่อกำลังอินฟราเรดเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิของกองขนมจีนเพิ่มขึ้นและส่งผลให้อัตราการถ่ายเทมวลเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อพิจารณาการอบแห้ง พบว่า การอบแห้งที่มีอากาศไหล

ผ่านเพิ่มอุณหภูมิของขนมจีนต่ำกว่าไม่มีอากาศไหลผ่าน เนื่องจากอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำไหลผ่านของขนมจีนทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้อุณหภูมิของขนมจีนลดลง แต่กรณีที่ไม่มีอากาศไหลผ่าน อากาศสามารถนำความชื้นภายในห้องอบแห้งได้สูงกว่ากรณีที่ไม่มีอากาศไหลผ่านที่อาศัยการไหลแบบธรรมชาติ ขณะที่การอบแห้งที่กำลังอินฟราเรด 600 W โดยการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่มีอากาศไหลผ่านมีความเหมาะสม เนื่องจากช่วยลดอุณหภูมิภายในของขนมจีนซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของขนมจีน โดยการอบแห้งที่กำลังอินฟราเรด 600 W นาน 60 min สามารถลดความชื้นได้สูงสุด ใช้เวลาน้อย และให้คุณภาพสีใกล้เคียงกับขนมจีนแห้งที่มีขาย เมื่อทำการอบแห้งด้วยลมร้อนยังคงให้คุณภาพที่ยอมรับได้ ดังตารางที่ 1 ต่อมานำตัวอย่างมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60°C จนขนมจีนแห้งตามต้องการพบว่า การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดสามารถลดความชื้นจาก 305.7 ± 4.3 %db. จนเหลือ 109.2 ± 2.2 %db. เมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนจะใช้เวลาอบแห้งตลอดกระบวนการเป็น 270, 165 และ 135 min ตามลำดับ ดังรูปที่ 3 จะเห็นว่า เมื่ออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิของของขนมจีนเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทมวลเพิ่มขึ้นสูงจะให้ จึงใช้เวลาอบแห้งลดลง



รูปที่ 2 การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดในขั้นตอนแรก (การอบแห้งที่มีการไหลของอากาศแบบธรรมชาติ (NCD) และการอบแห้งที่มีการไหลของอากาศแบบบังคับหรืออากาศไหลผ่าน (FCD))

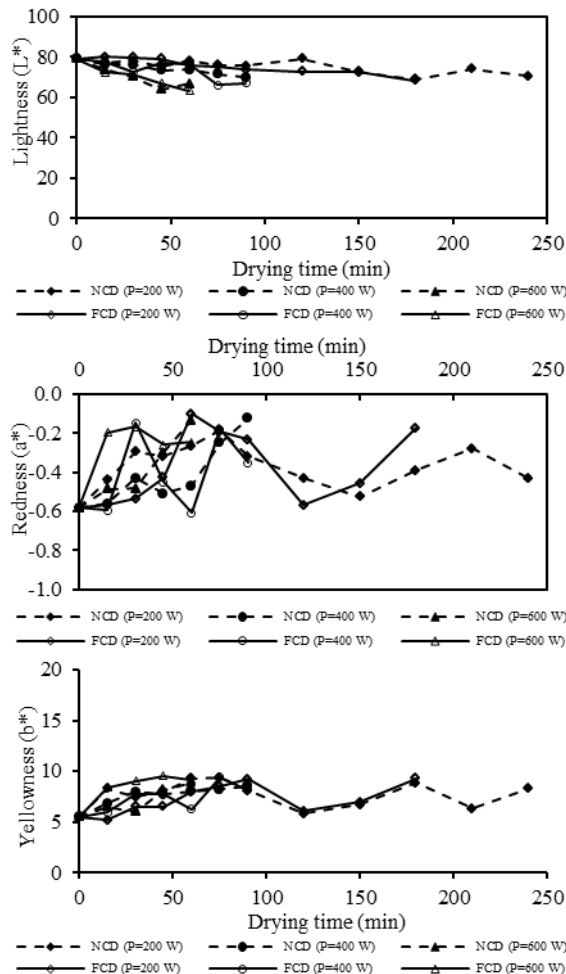


รูปที่ 3 การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดตามด้วยลมร้อน

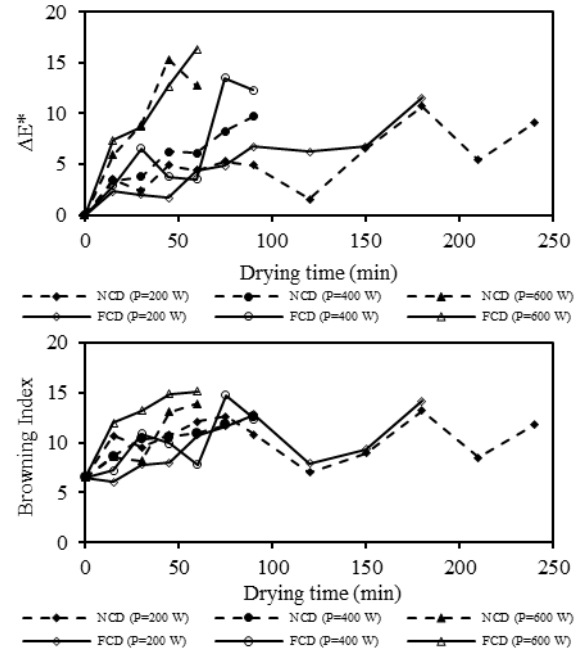
3.2 ผลการทดสอบคุณภาพสีของขนมจีนอบแห้ง

การทดสอบคุณภาพสีของขนมจีนตามมาตรฐาน CIE (L^* , a^* และ b^*) จากการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ทั้งกรณีที่มีและไม่มีอากาศไหลผ่านของขนมจีน ดังรูปที่ 4 พบว่า ค่า L^* มีแนวโน้มลดลง ขณะที่ค่า a^* และค่า b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันทั้ง 2 รูปแบบ ดังรูปที่ 4 เนื่องจากความร้อนส่งผลต่อเนื้อแป้งทำให้เกิดปรากฏการณ์สีน้ำตาล การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดจะส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงโดยรวม (ΔE^*) และการเกิดปรากฏการณ์สีน้ำตาล (BI) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีค่าใกล้เคียงกับขนมจีนแห้งที่มีขาย ดังรูปที่ 5 และตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาการเกิดปรากฏการณ์สีน้ำตาล จะเห็นว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดแบบมีอากาศไหลผ่านจะมีค่า BI ต่ำกว่าขนมจีนแห้งที่มีขายในท้องตลาด และการอบแห้งแบบไม่มีอากาศไหลผ่าน จากการทดลอง พบว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่มีอากาศไหลผ่านจึงมีความเหมาะสม

จากการศึกษาคุณภาพสีของขนมจีนอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดตามด้วยลมร้อนที่กำลังอินฟราเรด 600 W ความเร็วลม 1 m/s นาน 60 min ตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60°C ดังตารางที่ 1 พบว่า เมื่อขนมจีนมีความชื้นประมาณ 15 %db. มีคุณภาพสีใกล้เคียงกับขนมจีนแห้งที่มีขายในท้องตลาด โดยมีค่า ΔE^* อยู่ในช่วง 16.14–17.99 และค่า BI อยู่ในช่วง 10.95–12.55 ขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่มีขายในท้องตลาดมีค่า ΔE^* เท่ากับ 17.04 และมีค่า BI เท่ากับ 12.24



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงสีจากการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดตามด้วยลมร้อน



รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพสีจากการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดตามด้วยลมร้อน

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบคุณภาพสี ณ เวลาวิกฤติ

รูปแบบการอบแห้ง	P (W)	T _{di} (°C)	เวลา (min)	L*	a*	b*	ΔE*	Chroma	BI
มีอากาศไหลผ่าน (1 m/s)	200	–	180	66.74±1.43	-0.17±0.09	9.26±1.73	9.11±1.74	8.28±1.37	11.77±2.32
	400	–	90	67.73±0.67	-0.25±0.08	9.41±1.01	9.68±1.23	8.51±1.47	12.54±2.35
	600	–	60	64.26±1.78	-0.25±0.07	9.14±1.01	12.73±2.86	8.91±1.52	13.90±2.88
ไม่มีอากาศไหลผ่าน	200	–	240	68.52±0.85	-0.46±0.09	9.17±0.36	11.51±3.26	9.26±1.73	14.18±3.28
	400	–	90	69.99±0.82	-0.11±0.04	8.88±1.31	12.29±2.64	8.15±1.19	12.33±1.99
	600	–	60	65.00±1.50	-0.15±0.07	8.41±1.08	16.32±4.55	9.15±1.01	15.12±2.60
อินฟราเรดตามด้วยลมร้อน	600	40	270	61.68±1.89	-0.09±0.50	7.04±1.00	17.99±2.06	7.01±0.85	12.01±1.42
		50	165	63.43±1.45	-0.18±0.05	7.41±0.63	16.33±1.04	7.47±0.60	12.55±1.00
		60	135	62.79±1.47	-0.13±0.07	6.50±0.71	16.14±1.12	6.59±0.63	10.95±1.21
ขนมจีนสด	–	–	–	79.07±0.59	-0.58±0.29	5.49±2.75	–	–	–
ขนมจีนแห้ง	–	–	–	62.27±0.16	-0.46±0.02	7.80±0.54	17.04±0.41	7.64±0.52	12.24±0.90

หมายเหตุ P คือกำลังอินฟราเรด (W), T_{di} คืออุณหภูมิลมร้อน (°C), L* คือค่าความสว่าง, a* คือค่าความเป็นสีแดง, และ b* คือค่าความเป็นสีเหลือง, ΔE* คือการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวม, Chroma คือค่าโครมา และ BI คือค่าดัชนีชี้วัดการเกิดปรากฏการณ์สีน้ำตาล

3.3 ผลการทดสอบอัตราการคั่วตัวของขนมจีนอบแห้ง

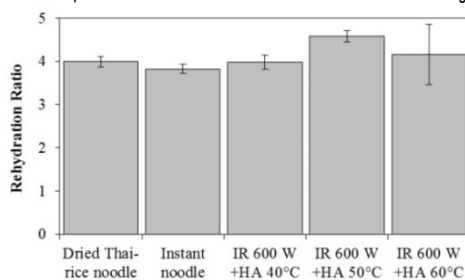
การทดสอบอัตราการคั่วตัวของขนมจีนที่กำลังอินฟราเรด 600 W ตามด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 40, 50

และ 60°C พบว่า อัตราการคั่วตัวของขนมจีนอบแห้งมีค่า 3.98±0.13, 4.58±0.11 และ 4.16±0.57 ตามลำดับขณะที่ขนมจีนแห้งที่มีขายในท้องตลาดเท่ากับ 4 และ

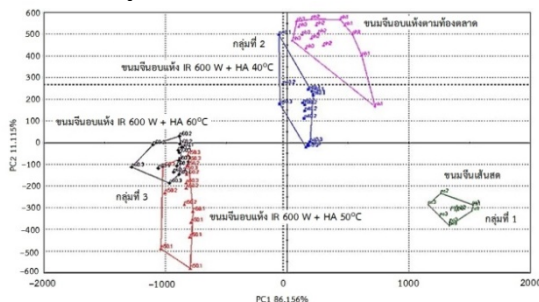
บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเท่ากับ 3.82 ดังรูปที่ 6 จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกับขนมจีนอบแห้งที่มีขายในท้องตลาด เนื่องจากการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดในช่วงแรกมีการหดตัวของขนมจีนน้อย [6] แต่การอบแห้งด้วยลมร้อนซึ่งมีผลต่อการหดตัว ดังนั้น เมื่อพิจารณาตลอดกระบวนการจึงส่งผลต่อการหดตัวน้อย

3.4 ผลการทดสอบรสชาติของขนมจีนอบแห้ง

จากการทดสอบรสชาติของขนมจีนอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดและลมร้อน ขนมจีนแห้งที่มีขายในท้องตลาด และขนมจีนสด ด้วยเครื่อง Electronic Tongues เพื่อทดสอบลิ้นสัมผัส โดยแกน x และ y แสดงค่า Principal Component (PC) เป็น PC1 และ PC2 มีค่า 86.16% และ 11.12% ตามลำดับ จากการจัดกลุ่มตัวอย่างที่เหมือนกันเข้าด้วยกัน ซึ่งสามารถจำแนกกลุ่มรสชาติตัวอย่างออกเป็นกลุ่มที่ 1 ขนมจีนสด กลุ่มที่ 2 ขนมจีนที่อบแห้งที่กำลังอินฟราเรด 600 W ตามด้วยอุณหภูมิ 40°C และขนมจีนแห้งที่มีขายในท้องตลาด และกลุ่มที่ 3 ขนมจีนที่อบแห้งที่กำลังอินฟราเรด 600 W ตามด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 50 และ 60°C โดยการอบแห้งด้วยกำลังอินฟราเรด 600 W และลมร้อนอุณหภูมิ 40°C มีรสชาติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ตามท้อง แต่การทดสอบรสชาตินั้นเป็นเพียงการจำแนกกลุ่มของตัวอย่าง แต่ไม่สามารถระบุถึงรสชาติที่แท้จริงของตัวอย่างได้ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 ผลการคืนตัวของขนมจีน



รูปที่ 7 รสชาติของขนมจีน

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการอบแห้งขนมจีนด้วยรังสีอินฟราเรดตามด้วยลมร้อนที่มีผลต่อคุณภาพของขนมจีน จากขอบเขตจากการศึกษา พบว่า การอบแห้งขนมจีนด้วยรังสีอินฟราเรดที่มีอากาศไหลผ่านให้คุณภาพที่ดี โดยมีการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมต่ำและสามารถลดความชื้นได้สูง การอบแห้งที่กำลังอินฟราเรด 600 W ความเร็วลม 1 m/s นาน 60 min เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดในช่วงแรก เมื่อทำการอบแห้งต่อด้วยลมร้อน พบว่า คุณภาพสีของขนมจีนอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกับท้องตลาด ซึ่งการอบแห้งด้วยอินฟราเรด 600 W ตามด้วยอุณหภูมิ 40°C และความเร็วลม 1 m/s มีอัตราการคืนตัวและรสชาติใกล้เคียงกับขนมจีนแห้งที่มีขายในท้องตลาดมากที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่สนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่สนับสนุนสถานที่และเครื่องมือในการวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สารานุกรมเสรี. (2559). *ขนมจีน (อาหารไทย)*. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา [https:// th.wikipedia.org/wiki/ขนมจีน_\(อาหารไทย\).html](https://th.wikipedia.org/wiki/ขนมจีน_(อาหารไทย).html), เข้าดูเมื่อวันที่ 30/03/2559.
- [2] Hebbar, H.U., Vishwanathan, K.H. and Ramesh, M.N., (2004). Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, vol. 65, pp. 557–563.
- [3] ภราดร หนูทอง, กอดขวัญ นามสงวน, ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และอารีย์ อัจฉริยวิริยะ. (2552). จลนพลศาสตร์การอบแห้งและคุณภาพของลำไยโดยใช้อินฟราเรดร่วมกับลมร้อน. *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23*. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [4] มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. (2546). *ขนมจีนแห้ง*. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://www.foodnet-worksolution.com/wiki/word>

/3264/ขนมจีนแห้ง.html, เข้าดูเมื่อวันที่
30/03/2559.

- [5] AOAC. (1995). *Official Method of Analysis*, 16th ed., The association of official analytical chemists. Inc. Arlington, Virginia, USA.
- [6] Togrul, H. (2006). Suitable drying model for infrared drying of carrot. *Journal of Food Engineering*, vol. 77, pp. 610–619.
- [7] Nuthong., P, Achariyaviriya, A., Namsanguan, K. and Achariyaviriya, S. (2011). Kinetics and modeling of whole longan with combined infrared and hot air. *Journal of Food Engineering*, vol. 102, pp. 233–239.
- [8] Romano, G., Nagle, M. and Müller, J. (2016). Two-parameter Lorentzian distribution for monitoring physical parameters of golden colored fruits during drying by application of laser light in the Vis/NIR spectrum. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. vol. 33, pp. 498–505.
- [9] Elbert, G., Tolaba, M. P. and Suárez, C. (2001). Effects of drying conditions on head rice yield and browning index of parboiled rice. *Journal of Food Engineering*, vol. 47(1), pp. 37–41.