



ผลของการทำแห้งด้วยฟลูอิดไคซ์เบดและลมร้อนต่อคุณภาพของกระเทียมอบแห้ง Effects of Fluidized Bed Drying and Hot Air Drying on the Quality of Dehydrated Garlics

สุนัน ปานสาคร* และ จตุรงค์ ลังกาพินธุ์

Sunan Parnsakhorn* and Jaturong Langkapin

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Received : 3 January 2022

Revised : 20 January 2022

Accepted : 3 February 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งกระเทียมเพื่อการผลิตกระเทียมผงด้วยการใช้ตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดที่ 3 ระดับอุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C การอบแห้งทุกสภาวะการทดสอบพบว่าความชื้นและอัตราส่วนความชื้นที่ลดลงสามารถแสดงในรูปความสัมพันธ์แบบเอกซ์โพเนนเชียล โดยความชื้นสุดท้ายของกระเทียมอบแห้งประมาณ 6%w.b. และค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) อยู่ระหว่าง 0.3-0.4 จากการทดสอบพบว่า การอบแห้งกระเทียมในตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดที่อุณหภูมิ 80°C ใช้เวลา 220 min และ 110 min ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C (550 min และ 390 min) และ 70°C (330 min และ 280 min) ตามลำดับ คุณลักษณะค่าสีของกระเทียมอบแห้ง ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีผลมาจากอุณหภูมิของอากาศและเทคนิคการอบแห้งที่แตกต่างกัน โดยที่กระเทียมสดแสดงค่าสีในช่วง 53-62, 3-7 และ 18-20 สำหรับ L^* , a^* และ b^* ตามลำดับ ซึ่งการอบแห้งกระเทียมด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบดพบว่ามีแนวโน้มการลดลงของค่า L^* ในขณะที่ค่า a^* และ b^* เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ค่าสุดท้ายของ L^* , a^* และ b^* ของการอบแห้งกระเทียมด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C เท่ากับ 41.80, 13.17, 29.63 ที่ 70°C เท่ากับ 39.40, 14.60, 29.73 และที่ 80°C เท่ากับ 34.66, 25.13, 25.60 ตามลำดับ ค่าสีทั้ง 3 ค่า มีค่าใกล้เคียงกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบดเช่นกัน หลังจากคำนวณหาค่า Chorma (C^*) และค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*) พบว่าค่าทั้งสองเพิ่มขึ้นในทุกสภาวะการทดสอบ ดังนั้นจากปัจจัยต่างๆ ที่ศึกษาทั้งทางกายภาพและเคมีของการอบแห้งกระเทียมพบว่าเป็นตัวบ่งชี้สภาวะที่เหมาะสมในการทดสอบคือ การอบแห้งกระเทียมที่อุณหภูมิต่ำ (60°C) ด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบด ที่สภาวะนี้ให้ลักษณะปรากฏด้านสีที่ดีและใช้ระยะเวลาการอบแห้งที่สั้นผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีค่าความชื้นและปริมาณน้ำอิสระที่เหมาะสม

คำสำคัญ : กระเทียม ; การอบแห้ง ; การอบแห้งแบบลมร้อน ; การอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด



Abstract

This research aimed to determine the optimum conditions for drying garlic powder product by using hot air oven and fluidized bed dryers at three different temperatures 60, 70 and 80°C. Tests of all conditions were found with decreased of moisture content and the moisture ratio can be expressed in exponential relationships. The final moisture content of dehydrated garlic was about 6%w.b. and the water activity (a_w) was between 0.3-0.4. The test results showed that to dry garlic in hot air oven and fluidized bed dryer at 80°C was taken 220 and 110 minutes, which was shorter than the drying at 60°C (550 min and 390 min) and 70°C (330 min and 280 min), respectively. The color characteristics values of dried garlic such as lightness (L^*), redness (a^*) and yellowness (b^*) were affected by the air temperature and different drying technique, where as fresh garlics were showed the color values in range 53-62, 3-7 and 18-20 for L^* , a^* and b^* , respectively. For drying garlic with hot air oven and fluidized bed dryers were observed trend to decreased in L^* values while a^* and b^* values increased. The final values of L^* , a^* and b^* of garlic drying by hot air oven showed that at 60°C were 41.80, 13.17, 29.63, at 70°C were 39.40, 14.60, 29.73 and at 80°C were 34.66, 25.13, 25.60, respectively. The three color values were similar to those drying with a fluidized bed dryer as well. After calculating the Chroma value (C^*) and the color difference value (ΔE^*) was found the increased for both values under all test conditions. Therefore, from various factors physical and chemical studies of garlic drying were found to be indicative of optimal conditions for drying at low temperature (60°C) with fluidized bed dryer. At this condition was provided good color appearance and short drying time, the final product was presented the optimum moisture content and water activity.

Keywords : garlic ; drying ; hot air drying ; fluidized bed drying

บทนำ

ด้วยสภาพการดำเนินชีวิตของคนรุ่นใหม่โดยเฉพาะคนในเมืองที่พบว่ามีความเร่งรีบ ดังนั้นอาหารที่บริโภคส่วนใหญ่จึงเป็นอาหารจานด่วนแบบตะวันตกเนื่องจากหาซื้อได้ง่าย ซึ่งสารอาหารที่พบส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน ถ้าบริโภคเป็นประจำจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพเกิดโรคอ้วน ไขมันในเลือดสูง โรคเบาหวาน โรคความดัน เป็นต้น จึงมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสมุนไพรที่สามารถช่วยลดคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือด ลดความดันโลหิต สามารถป้องกันภาวะเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือดได้นั้นก็คือ กระเทียม (*Pardo et al., 2007; Zeng et al., 2012; Jin et al., 2014*) ซึ่งเป็นสมุนไพรในครัวเรือนมีคุณสมบัติทั้งทางโภชนาการและทางยา เช่น การนำกระเทียมมาเป็นเครื่องชูรสและแต่งกลิ่นในการปรุงอาหาร การรับประทานกระเทียมโดยตรงเพื่อแก้ท้องเพื่อ ขับเสมหะ ขับเหงื่อ ขับลม เป็นต้น

กระเทียม มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Allium sativum* L. สารสำคัญในกระเทียมเป็นกลุ่มสารประกอบกำมะถัน ตัวที่สำคัญได้แก่ อัลลิอิน (Alliin) ซึ่งเป็นสารที่มีเสถียรภาพ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ละลายในน้ำได้ แต่ถ้าถูกบดขยี้หรือทุบให้เข้าสารนี้จะถูกย่อยโดยเอนไซม์อัลลิเนสเปลี่ยนเป็น อัลลิซิน (Allicin) ซึ่งให้กลิ่นและรสของกระเทียมอย่างรุนแรงซึ่งสารนี้จะละลายได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน หรือตัวทำละลายอินทรีย์ (*Sharma & Prasad, 2006; Ratti et al., 2007; Abano et al., 2011(a)*) ในกระบวนการผลิตจึงมักพบกับปัญหาเรื่องการสูญเสียของสารอัลลิซินในกระเทียมหลังจากผ่านกระบวนการแปรรูป และทำให้กลิ่นของกระเทียมสูญหายไปด้วย อย่างไรก็ตามคงหลีกเลี่ยงไม่ได้สำหรับการที่จะต้องลดความชื้นของกระเทียมซึ่งโดยส่วนมากต้องผ่านการอบแห้งโดยใช้ความร้อน เนื่องจากปรกติแล้วกระเทียมสดจะมีความชื้นประมาณ 70% w.b. (*Abano et al., 2011(b)*) จึงมีอายุการเก็บรักษาสั้นรวมถึงใช้พื้นที่ในการเก็บรักษาที่ค่อนข้างมาก ดังนั้นกระเทียมที่วางขายตามท้องตลาดส่วนใหญ่จึงเป็นกระเทียมแห้ง หรือกระเทียมแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น กระเทียมผง กระเทียมคอง กระเทียมเจียว เป็นต้น ดังนั้นเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและสะดวกในการขนส่งโดยเฉพาะในกระบวนการผลิตกระเทียมผงจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการศึกษาขั้นตอนที่สำคัญคือการลดความชื้นก่อนนำไปผ่านการตีป็นให้เป็นผง เป็นขั้นตอนที่ต้องควบคุมสภาวะในการอบแห้งอย่างดีเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์กระเทียมผงเป็นที่ต้องการของตลาดเนื่องจากมีงานวิจัยพบว่ารับประทานผงกระเทียมสามารถลดคอเลสเตอรอลรวม คอเลสเตอรอลชนิด LDL และระดับน้ำตาลในเลือดได้ 15.83, 8.11 และ 17.30 mg/dL ตามลำดับ (*Jin et al., 2014*) ในขณะที่ลดความดันโลหิตช่วงที่หัวใจบีบตัวและคลายตัว อยู่ที่ 4.34 และ 2.36 mmHg ตามลำดับ จากการศึกษาสรุปได้ว่าการรับประทานกระเทียมผงสามารถป้องกันภาวะเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ (*Jin et al., 2014*) และมีการศึกษาเพื่อลดความชื้นของกระเทียมโดยการอบแห้งในหลายเทคนิค เช่น การอบแห้งโดยใช้ลมร้อน อุณหภูมิระหว่าง 50-70°C ผ่านกระเทียมแผ่นที่มีความหนา 2-4 mm พบว่าชั้นกระเทียมที่หนาจะลดความสามารถในการถ่ายโอนความชื้นเช่นเดียวกับอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลต่อค่า L^* , a^* , b^* ที่สูงขึ้นเช่นกัน (*Rasouli et al., 2011*) และการอบแห้งกระเทียมหั่นชิ้นและกระเทียมสไลด์ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 40-60°C เพื่อนำไปบดเป็นกระเทียมผงพบว่าความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 5.42-5.69% w.b. เมื่อทดสอบความชอบของผู้บริโภคพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C ได้คะแนนความชอบสูงสุด (*Utama-ang et al., 2018*) อย่างไรก็ตามพบว่ายังมีรายงานวิจัยที่รายงานผลของการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ

และเคมีของกระเทียมแห้งอันเป็นผลเนื่องมาจากการใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดและวิธีการอบแห้งที่แตกต่างกัน อุณหภูมิที่แตกต่างกันค่อนข้างน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งกระเทียมด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดและการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิต่างๆ ทั้งนี้ด้วยความแตกต่างของเทคนิคการอบแห้งย่อมส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยพบว่า เทคนิคการอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดเป็นการใช้ลมร้อนเป่าผ่านชั้นวัสดุ ทำให้วัสดุลอยตัวเป็นอิสระ เกิดการคลุกเคล้าและสัมผัสกับลมร้อนอย่างสม่ำเสมอ มีอัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสูง สามารถลดความชื้นของวัสดุลงได้อย่างรวดเร็ว เหมาะกับใช้ทำแห้งวัสดุที่เป็นเม็ดเล็กที่มีรูปทรงและขนาดสม่ำเสมอ ในขณะที่การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนจะให้หลักการอบวัสดุด้วยความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงมาก โดยอุณหภูมิในช่วงนี้จะค่อย ๆ ไล่ความชื้นให้วัสดุให้แห้งโดยที่วัสดุไม่เกิดการเคลื่อนที่ ยกเว้นมีการกลับหรือพลิกวัสดุ ดังนั้นจึงใช้เวลาในการอบแห้งค่อนข้างนาน ทั้งนี้หลังกระบวนการอบแห้งทั้ง 2 เทคนิคจะได้นำกระเทียมอบแห้งไปผ่านการตีป่นให้เป็นผงเพื่อสังเกตแนวโน้มที่เป็นไปได้ในการผลิตกระเทียมผงต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมกระเทียม

จัดซื้อกระเทียมสดพันธุ์ไทยจากตลาดไทย โดยคัดเลือกจากกระเทียมที่ไม่มีเชื้อราสังเกตที่เปลือกกระเทียมจะไม่มีจุดสีดำหรือน้ำตาล กลีบแน่น ไม่ผุ เนื้อกระเทียมเมื่อแกะเปลือกแล้ว ต้องมีสีเหลืองอ่อน สด ผิวเรียบ ไม่มีจุดดำ จากนั้นนำมาบรรจุใส่ถุงและผนึกสุญญากาศเก็บที่อุณหภูมิห้องอากาศถ่ายเทจนกว่าจะนำมาทดสอบ ก่อนการทดสอบนำกระเทียมมาปอกเปลือก ล้างด้วยน้ำสะอาด และผึ่งให้แห้งในห้องที่อากาศถ่ายเท จากนั้นหาค่าความชื้น ค่าสี และค่าปริมาณน้ำอิสระ เป็นชุดควบคุม

เตรียมกระเทียมก่อนการอบแห้งโดยการปอกเปลือกทำความสะอาดและหั่นกระเทียมในหนึ่งกลีบออกเป็น 2 ส่วน ขนาดที่ได้ประมาณ 4x4 mm

2. การอบแห้ง

การอบแห้งแบ่งเป็น 2 เทคนิค ได้แก่ การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและการใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด โดยการนำกระเทียมที่ผ่านการเตรียมในขั้นตอนแรก มาตรวจสอบความชื้นเริ่มต้น จากนั้นนำมาอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Model WTB binder, Germany) โดยควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งที่ 3 ระดับ ได้แก่ 60, 70 และ 80°C ตามลำดับ บันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักและความชื้นของตัวอย่างทุก 60 min จนกระทั่งพบแนวโน้มของการอบแห้งเข้าสู่สภาวะคงตัวของน้ำหนักเป็นการสิ้นสุดการทดลอง ในส่วนการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดใช้ (Fluidized bed drier, Model Retsch TG200, Germany) ควบคุมอุณหภูมิการอบแห้งที่ 3 ระดับ ได้แก่ 60, 70 และ 80°C ตามลำดับ ความเร็วลมในการทดสอบที่ใช้ประมาณ 5 m/s ทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักและความชื้นของตัวอย่างทุก 30 min จนกระทั่งพบแนวโน้มของการเข้าสู่สภาวะคงตัวของน้ำหนักเป็นการสิ้นสุดการทดลอง โดยที่ทั้งสองเทคนิคทำการตรวจสอบสมบัติทางเคมีกายภาพของ รวมถึงคำนวณหาค่าเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของตัวอย่างกระเทียมดังสมการที่ (1) และอัตราการอบแห้งดังสมการที่ (2) (Kolawole *et al.*, 2007; Kumwan *et al.*, 2018)

$$\text{Moisture ratio (MR)} = \frac{(M_t - M_{eq})}{(M_i - M_{eq})} \quad (1)$$

$$\text{Drying rate} = \frac{m_d(M_i - M_f)}{t} \quad (2)$$

โดยที่	MR	คือ อัตราส่วนความชื้น
	M_i	คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (%w.b.)
	M_t	คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ ของวัสดุ (%w.b.)
	M_{eq}	คือ ความชื้นสมดุลของวัสดุ (%w.b.)
	M_f	คือ ความชื้นสุดท้ายของวัสดุ (%w.b.)
	m_d	คือ มวลของวัสดุแห้งไ้ความชื้น (kg)
	t	คือ ระยะเวลาในการอบแห้ง (hr)

3. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

วิเคราะห์ความชื้น : อ้างอิงวิธีการทดสอบจากมาตรฐาน AOAC (2005) โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 g (น้ำหนักก่อนอบ) อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Model WTB binder, Germany) ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 16 hr จากนั้นนำตัวอย่างพร้อมภาชนะใส่ในโถดูดความชื้นทันทีเป็นเวลา 30 min และชั่งน้ำหนักหลังการอบ คำนวณหาค่าความชื้นด้วยสมการที่ (3) รายงานผลในหน่วยเปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (% w.b.)

$$\%w. b. = \frac{(w_i - w_f)}{w_i} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่	w_i	คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g)
	w_f	คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (g)

วิเคราะห์ค่าสี : วัดค่าสีด้วยเครื่อง Color Difference Meter (Model JC801, Tokyo, Japan) รายงานผลในรูปของ L^* , a^* , b^* ซึ่งทั้ง 3 ค่าเป็นการแสดงการวัดค่าสีเฉพาะเจาะจงโดยที่ค่า L^* คือ ค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว สำหรับค่า a^* คือค่าความเป็นสีเขียว (Greenness) เมื่อมีค่าเป็นลบและมีค่าความเป็นสีแดง (Redness) เมื่อมีค่าเป็นบวก และค่า b^* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness) เมื่อมีค่าเป็นบวกและค่าความเป็นสีน้ำเงิน (Blueness) เมื่อมีค่าเป็นลบ และคำนวณหาความเข้มของสี (Chroma, C^*) ดังสมการที่ (4) ซึ่งก่อนทำการวัดค่าสี เครื่องวัดสีจะถูกปรับเทียบความเที่ยงตรงของค่าสีด้วย Standard Calibration Plate ค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 98.11, -0.11 and -0.08 ตามลำดับ

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (4)$$

การหาค่าความแตกต่างสีโดยรวม (ΔE^*) : ทำการเก็บข้อมูลค่า L^* , a^* , b^* ที่วัดจากเครื่องวัดค่าสีในแต่ละสภาวะการทดสอบโดยวัดค่าสีเริ่มต้นและภายหลังการเปลี่ยนแปลงที่เวลาในการอบแห้งระดับต่างๆ จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความแตกต่างสีโดยรวมด้วยสมการที่ (5) (Rhim *et al.*, 1889)

$$\Delta E^* = [(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2]^{1/2} \quad (5)$$

โดยที่ ΔE^* = ค่าความแตกต่างสีโดยรวม (Total color difference)
 L_0^*, L^* = ค่าความสว่างของตัวอย่างก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้ง
 a_0^*, a^* = ค่าความเป็นสีเขียวหรือสีแดงของตัวอย่างก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้ง
 b_0^*, b^* = ค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงินของตัวอย่างก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้ง

วิเคราะห์หาปริมาณน้ำอิสระ : หาปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Model Aqualab Model 3 TE, USA)

4. วิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองที่ระดับความแตกต่างทางสถิติ 95% (One-way analysis of variance (ANOVA)) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีของ Duncan New's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการวิจัย

จากการนำกระเทียมสดความชื้นเริ่มต้นที่ 67.17%w.b. มาผ่านการลดความชื้นโดยการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและการใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C พบว่าปริมาณความชื้นของกระเทียมลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 1 และเมื่อนำไปคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นพบแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันดังภาพที่ 2 ทั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของกระเทียมระหว่างและหลังการอบแห้งซึ่งได้แสดงผลในตารางที่ 2-3 และภาพที่ 3-5 ในขั้นตอนต่อไป

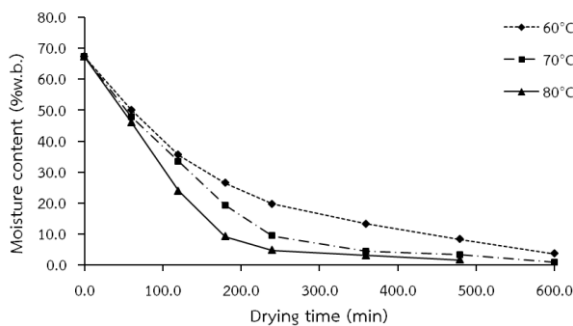
1. ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นและอัตราส่วนความชื้นในการอบแห้งกระเทียมด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้ง

ฟลูอิดไดซ์เบด

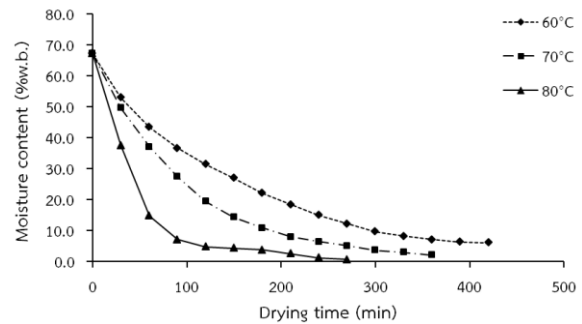
จากภาพที่ 1 แสดงการลดลงของความชื้นระหว่างการอบแห้งกระเทียม โดยพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งส่งผลต่อการลดลงอย่างรวดเร็วของค่าความชื้น จากความชื้นเริ่มต้นของกระเทียมสดเท่ากับ 67.17%w.b. หลังจากการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนจนกระทั่งความชื้นของตัวอย่างอยู่ที่ประมาณ 3-4%w.b. ซึ่งเป็นจุดที่น้ำหนักของตัวอย่างค่อนข้างคงที่ พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C ใช้เวลาเท่ากับ 600, 480 และ 360 min ตามลำดับ ในขณะที่การอบแห้งด้วยเครื่อง

อบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดใช้เวลาน้อยกว่าเพื่อที่ต้องการความชื้นที่ประมาณ 3-4%w.b. เท่ากันโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C ใช้เวลาเท่ากับ 420, 300 และ 180 min ตามลำดับ

ภาพที่ 2 แสดงอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงระยะเวลาอบแห้ง ที่สภาวะการอบแห้ง 3 อุณหภูมิ ได้แก่ 60, 70 และ 80°C ของการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและการใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด พบว่าการอบแห้งกระเทียมเป็นการอบแห้งที่สอดคล้องกับทฤษฎีการอบแห้งวัสดุ กล่าวคือในช่วงแรกของการอบแห้งอัตราส่วนความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง (80°C) และเป็นการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดใช้เวลาเพียง 30 min ส่งผลต่อการลดลงกว่า 50% ของค่าอัตราส่วนความชื้นในขณะที่อุณหภูมิเท่ากัน (80°C) การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนเพื่อให้ได้การลดลงของอัตราส่วนความชื้น 50% ต้องใช้เวลาประมาณ 90 min แนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการอบแห้งกระเทียมที่อุณหภูมิ 60°C และ 70°C ทั้งการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและการใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด ตามลำดับ รวมถึงจากผลการทดสอบยังพบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งต่ำ (60°C) ใช้เวลาในการอบแห้งที่นานกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (70°C, 80°C) เพื่อให้ได้ความชื้นที่ระดับเดียวกัน

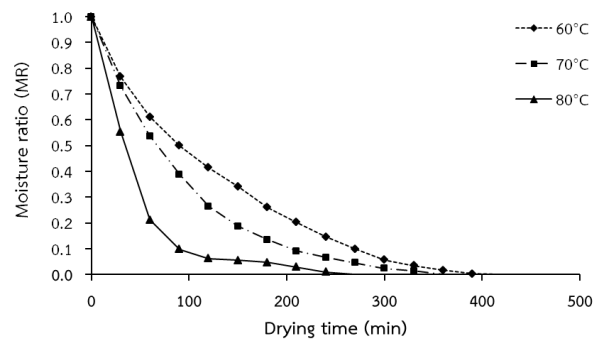
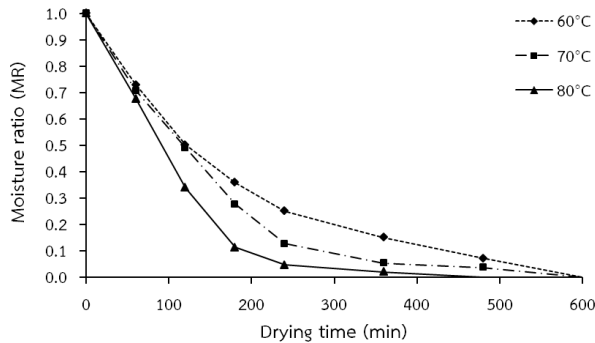


ก. ตู้อบลมร้อน



ข. เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด

ภาพที่ 1 ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นต่อเวลาของตัวอย่างกระเทียมอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C



ก. ตู้อบลมร้อน

ข. เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด

ภาพที่ 2 ผลการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นต่อเวลาของตัวอย่างกระเทียมอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C

จากตารางที่ 1 คำนวณอัตราการอบแห้ง (Drying rate) โดยพิจารณาความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเทียมผง (มอก. 967-2533) อ้างอิงความชื้นร้อยละไม่เกิน 6.0 ดังนั้นพบว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C ใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 550, 330 และ 220 min ตามลำดับ เพื่อให้ได้ความชื้นของกระเทียมประมาณ 6%w.b. ในขณะที่การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดใช้เวลาในการอบแห้งลดลงเท่ากับ 390, 280 และ 110 min ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อคำนวณหาอัตราการอบแห้งจึงพบว่าที่อุณหภูมิการอบแห้ง 80°C ให้ค่าอัตราการอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 0.55±0.02 kg/hr และ 1.10±0.01 kg/hr ของการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและการใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งลดลง แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิคือปัจจัยที่สำคัญของการอบแห้งโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นระยะเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจึงสั้นกว่าการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิต่ำ (ตาราง 1) ทั้งนี้พบว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดสามารถลดความชื้นของกระเทียมได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน

ตารางที่ 1 อัตราการอบแห้งของตัวอย่างกระเทียมอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C

ระบบการลดความชื้น	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (min)	ความชื้น (%w.b.)		อัตราการอบแห้ง (kg/hr)
			ก่อน	หลัง	
ตู้อบลมร้อน	60	550	67.17±0.02	6.87±0.17	0.22±0.01
	70	330	67.17±0.04	6.43±0.06	0.36±0.02
	80	220	67.17±0.01	6.28±0.56	0.55±0.02
เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด	60	390	67.17±0.02	6.28±0.72	0.31±0.01
	70	280	67.17±0.04	6.11±0.34	0.43±0.01
	80	110	67.17±0.01	6.26±0.34	1.10±0.01



2. ผลการเปลี่ยนแปลงค่าสีของกระเทียมระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด

ในระหว่างการอบแห้งกระเทียมด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่าสีได้แก่ ค่า L^* , a^* , b^* แสดงดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของกระเทียมอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C

Time (min)	60°C			70°C			80°C		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
0	53.10±0.46 ^a	3.13±0.06 ^f	18.73±0.25 ^g	62.53±0.35 ^a	3.97±0.15 ^e	20.13±0.21 ^d	56.76±0.32 ^a	7.66±0.12 ^e	19.90±0.44 ^c
60	49.93±0.97 ^b	4.33±0.31 ^e	19.80±0.53 ^f	54.43±0.12 ^b	7.46±0.31 ^d	23.66±0.44 ^c	54.70±0.78 ^b	15.23±0.65 ^d	20.57±0.91 ^c
120	48.73±0.40 ^{bc}	4.47±0.32 ^e	22.47±0.31 ^e	51.53±0.64 ^c	9.40±0.10 ^c	27.23±0.31 ^b	52.73±0.60 ^c	19.53±0.64 ^c	22.93±0.45 ^b
180	47.97±0.70 ^c	5.50±0.10 ^d	23.73±0.50 ^d	47.50±1.15 ^d	10.23±0.67 ^c	28.73±0.61 ^a	50.60±0.36 ^d	23.43±0.87 ^b	24.26±1.40 ^{ab}
240	45.43±1.04 ^d	8.37±0.15 ^c	26.67±0.58 ^c	44.13±0.96 ^e	12.73±0.23 ^b	29.20±1.23 ^a	43.23±0.55 ^e	24.67±1.00 ^a	25.13±0.70 ^a
360	43.64±0.61 ^e	8.53±0.06 ^c	28.20±0.36 ^b	42.93±0.49 ^f	14.20±1.04 ^a	28.90±0.60 ^a	34.10±0.29 ^f	24.80±0.60 ^a	25.20±0.66 ^a
480	42.00±1.22 ^f	9.77±0.38 ^b	29.00±0.30 ^{ab}	39.80±0.62 ^g	14.16±0.64 ^a	29.13±0.12 ^a	34.66±0.60 ^f	25.13±0.25 ^a	25.60±0.80 ^a
600	41.80±0.85 ^f	13.17±0.67 ^a	29.63±0.87 ^a	39.40±0.10 ^g	14.60±0.35 ^a	29.73±0.25 ^a			

^{abc} อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบโดย DMRT (mean± SD)

จากการทดลองวัดค่า L^* , a^* , b^* ของกระเทียมสดหรือที่เวลา 0 min มีค่าอยู่ระหว่าง 53-62, 3-7 และ 18-20 ตามลำดับ และจากตารางที่ 2 เป็นการอบแห้งกระเทียมด้วยตู้อบลมร้อน โดยหลังการนำกระเทียมไปอบแห้งพบแนวโน้มของการลดลงของค่า L^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เทียบกับเวลาในการอบแห้งโดยที่ลดลงจาก 53.10, 62.53 และ 56.76 ไปยังจุดสุดท้ายของการอบแห้งเท่ากับ 41.80, 39.40 และ 34.66 ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามพบการเพิ่มขึ้นของค่า a^* เทียบกับเวลาในการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่า a^* ที่อุณหภูมิ 60°C และ 70°C พบว่าจุดสุดท้ายของการอบแห้งใช้เวลา 600 min มีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 13-14 ในขณะที่การอบแห้งที่ 80°C ให้ค่าที่ค่อนข้างสูงกว่า (25) เช่นเดียวกับค่า b^* ที่มีทิศทางเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อสังเกตจะพบว่าค่า b^* มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยในช่วงทำๆ ของการอบแห้งของทั้ง 3 ระดับอุณหภูมิ ทั้งนี้โดยรวมการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (80°C) พบการเปลี่ยนแปลงของค่าสีทั้ง 3 ค่า (L^* , a^* , b^*) ค่อนข้างรวดเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของกระเทียมอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C

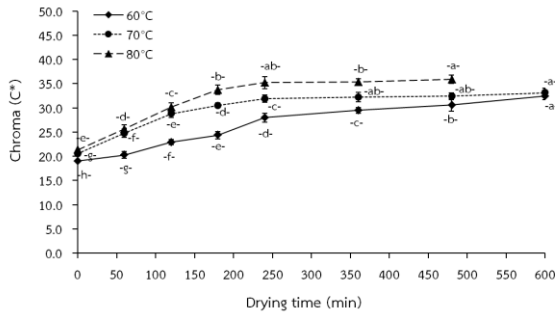
Time (min)	60°C			70°C			80°C		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
0	67.27±0.76 ^a	3.30±1.06 ^g	17.66±0.68 ^g	66.93±1.33 ^a	3.13±0.06 ⁱ	17.93±0.76 ^g	62.83±0.64 ^a	3.93±0.12 ^g	16.80±0.18 ^g
30	55.57±0.35 ^b	3.37±0.32 ^g	17.73±0.15 ^g	54.26±0.40 ^b	3.26±0.15 ⁱ	18.23±0.40 ^g	52.57±0.21 ^b	5.86±0.21 ^f	18.36±0.58 ^g
60	53.83±0.23 ^c	3.90±0.53 ^g	17.90±0.39 ^g	50.80±0.44 ^c	4.40±0.72 ^h	20.30±0.56 ^f	42.46±0.71 ^c	6.36±0.25 ^f	20.30±0.56 ^f
90	50.36±0.55 ^d	4.13±0.42 ^g	18.40±0.75 ^g	49.97±0.67 ^{cd}	7.07±0.29 ^g	22.50±0.44 ^e	41.23±0.34 ^d	7.66±0.49 ^e	22.47±0.12 ^e
120	47.76±0.57 ^e	6.53±1.10 ^f	20.70±0.46 ^f	48.93±0.86 ^d	8.13±0.15 ^f	22.67±0.81 ^{de}	39.80±0.56 ^e	9.17±0.85 ^d	23.30±0.30 ^{de}
150	47.23±0.21 ^e	6.70±0.78 ^f	21.70±1.08 ^{ef}	47.33±0.25 ^e	8.43±0.12 ^f	23.77±0.31 ^{cd}	39.26±0.29 ^{ef}	11.20±0.92 ^c	24.33±0.25 ^{cd}
180	46.10±0.30 ^f	7.60±0.98 ^{ef}	22.63±0.96 ^e	46.50±0.78 ^{ef}	9.80±0.53 ^e	24.53±0.21 ^c	38.90±0.46 ^{efg}	11.70±0.40 ^{bc}	25.66±0.40 ^{bc}
210	45.86±0.21 ^f	8.80±0.66 ^{de}	24.56±0.90 ^d	45.27±0.45 ^{fg}	10.03±0.06 ^e	24.86±0.68 ^c	38.06±1.10 ^{fgh}	12.23±0.76 ^b	26.40±0.50 ^{ab}
240	45.80±0.56 ^f	8.83±0.55 ^{de}	25.40±0.36 ^{cd}	45.13±0.91 ^{fg}	12.70±0.17 ^d	26.23±0.37 ^b	37.83±0.91 ^{gh}	13.46±0.25 ^a	26.43±0.31 ^{ab}
270	43.93±0.40 ^g	9.50±0.56 ^{cd}	25.70±0.62 ^{cd}	45.03±0.71 ^{fg}	13.80±0.26 ^c	26.26±0.29 ^b	37.30±0.72 ^h	14.23±0.49 ^a	27.60±1.01 ^a
300	42.57±0.78 ^h	9.83±0.47 ^{cd}	25.77±0.23 ^{bcd}	43.87±0.15 ^{gh}	14.63±0.60 ^b	26.30±0.90 ^b			
330	42.70±0.17 ^h	10.63±1.10 ^{cd}	26.50±0.30 ^{abc}	42.43±0.49 ^h	15.06±0.12 ^{ab}	27.27±0.85 ^{ab}			
360	41.43±1.06 ⁱ	11.17±0.38 ^{bc}	26.33±0.25 ^{abc}	38.03±0.81 ⁱ	15.43±0.25 ^a	27.90±0.17 ^a			
390	41.27±1.16 ⁱ	12.63±1.25 ^b	27.03±0.71 ^{ab}						
420	40.53±0.67 ^j	14.50±1.15 ^a	27.53±0.38 ^a						

^{abc} อักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบโดย DMRT (mean±SD)

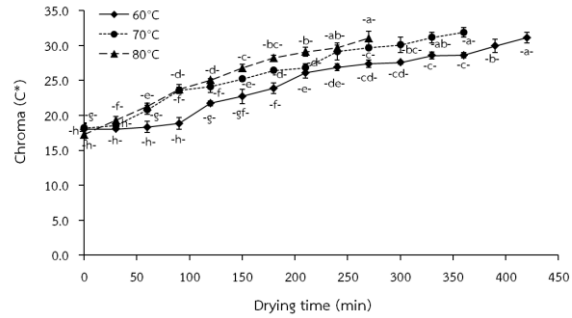
จากตารางที่ 3 เป็นการอบแห้งกระเทียมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C ระหว่างการอบแห้งวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของ L^* , a^* , b^* พบแนวโน้มของการลดลงของค่า L^* การเพิ่มขึ้นของค่า a^* และ b^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเวลาในการอบแห้งนานขึ้น โดยที่ก่อนการอบแห้งกระเทียมสดหรือที่เวลา 0 min มีค่า L^* , a^* , b^* อยู่ระหว่าง 62-67, 3-4 และ 16-18 ตามลำดับ ผลการเปลี่ยนแปลงค่าสีของกระเทียมที่เกิดขึ้นมีทิศทางเป็นไปในลักษณะเดียวกับการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน แต่ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนคือเวลาในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดจะสั้นกว่า โดยการลดลงของค่า L^* พบว่าลดลงจาก 67.27, 66.93 และ 62.93 ไปยังจุดสุดท้ายของการอบแห้งเท่ากับ 40.53, 38.03 และ 37.30 ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C ใช้เวลา 420, 360 และ 270 min ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามพบการเพิ่มขึ้นของค่า a^* และ b^* เทียบกับเวลาในการอบแห้งโดยค่า a^* ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C ค่าใกล้เคียงกันประมาณ 14-15 ณ จุดสุดท้ายของการอบแห้งและค่า b^* มีค่าประมาณ 27-28 ที่จุดเดียวกัน ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงค่าสีทั้ง 3 ค่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งค่อนข้างสูง (80°C)

นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบความเข้มของสีหรือค่า Chroma (C^*) โดยพิจารณาจากค่าสีพื้นฐานที่วัดได้คือ a^* และ b^* เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างเรื่องความเข้มของสีในเฉดเดียวกันแสดงดังรูปที่ 3 พบว่า การอบแห้งกระเทียมด้วยตู้อบลมร้อนให้แนวโน้มของการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของค่าความเข้มสีในช่วง 250 min แรกและค่อนข้างเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่อเวลาในการอบแห้งนานขึ้นของทั้ง 3 ระดับอุณหภูมิ (60, 70 และ 80°C) ในขณะที่การอบแห้งกระเทียมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของค่าความเข้มของสี (Chroma) และเมื่อพิจารณาผลของ

ความเข้มของสีกับอุณหภูมิในการอบแห้งพบว่าอุณหภูมิการอบแห้งที่สูงส่งผลต่อค่าความเข้มสีของกระเทียมที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกันแสดงดังภาพที่ 3



ก. ตู้อบลมร้อน

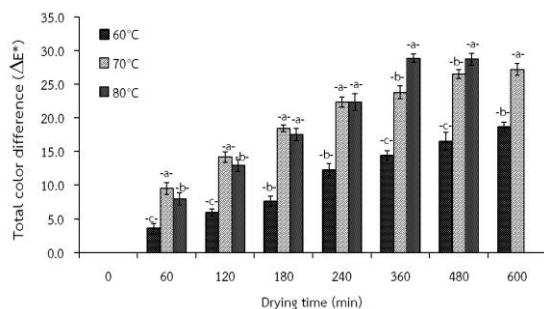


ข. เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด

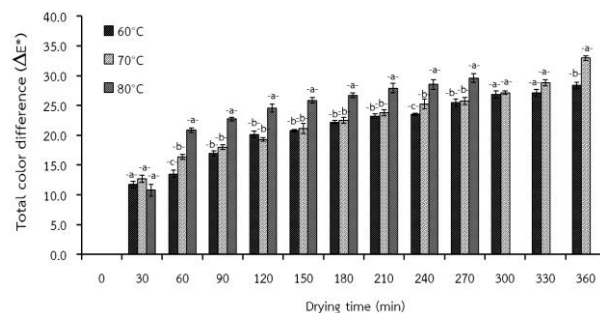
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่า Chroma (C*) ของกระเทียมอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C

^{a,b} อักษรต่างกันในแต่ละตัวอย่างหมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ตามการวิเคราะห์แบบ DMRT (P<0.05)

เมื่อพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (ΔE^*) แสดงดังภาพที่ 4 เป็นการพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงของค่าสีโดยรวมเมื่อเทียบกับกระเทียมสด พบว่าหลังการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C มีค่า ΔE^* เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาการอบแห้งนานขึ้นในทุกอุณหภูมิ ในการอบแห้งกระเทียมด้วยตู้อบลมร้อนพบว่าโดยภาพรวมที่อุณหภูมิการอบแห้ง 60, 70 และ 80°C มีค่า ΔE^* ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในขณะที่การอบแห้งกระเทียมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดโดยภาพรวมที่อุณหภูมิการอบแห้ง 60°C และ 70°C ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แต่การอบแห้งที่ 80°C ให้ค่า ΔE^* สูงสุดในทุกช่วงเวลาการอบแห้งและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กับอุณหภูมิ 60°C และ 70°C



ก. ตู้อบลมร้อน



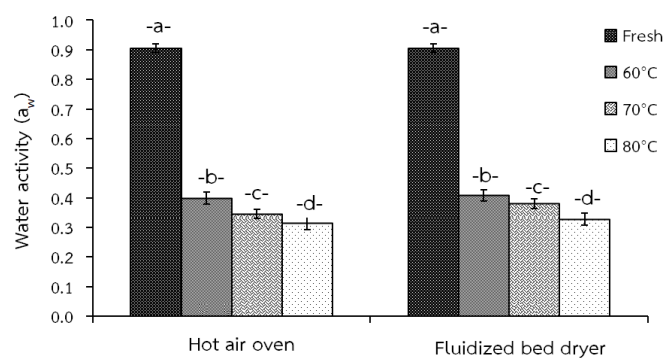
ข. เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด

ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (ΔE^*) ของกระเทียมอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C

^{a,b} อักษรต่างกันในแต่ละตัวอย่างหมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ตามการวิเคราะห์แบบ DMRT (P<0.05)

3. ผลการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณน้ำอิสระของกระเทียมหลังการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด

จากภาพที่ 5 แสดงผลการทดสอบหาปริมาณน้ำอิสระในกระเทียมสดและกระเทียมหลังการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C โดยพบว่ากระเทียมสดมีค่าปริมาณน้ำอิสระที่ 0.907 และลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ที่ 0.398, 0.345 และ 0.314 ในการอบแห้งกระเทียมด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C ตามลำดับ และให้ผลในลักษณะเดียวกับการอบแห้งกระเทียมด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดโดยที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C ให้ค่าปริมาณน้ำอิสระหลังกระบวนการอบแห้งที่ 0.408, 0.380 และ 0.327 ตามลำดับ



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำอิสระของกระเทียมหลังการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80°C

^{a,b} อักษรต่างกันในแต่ละตัวอย่างหมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ตามการวิเคราะห์แบบ DMRT ($P < 0.05$)

วิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นและอัตราส่วนความชื้นในการอบแห้งกระเทียมด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด

การอบแห้งกระเทียมมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความชื้นจนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการประมาณ 6% w.b. ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจาก การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้กระเทียมมีอุณหภูมิสูง ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ และการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดช่วยลดระยะเวลาการอบแห้งได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน เนื่องจากเทคนิคอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดลมร้อนจะเป่าผ่านชั้นของชิ้นกระเทียมทำให้วัสดุลอยตัวเป็นอิสระ เกิดการคลุกเคล้าและสัมผัสกับลมร้อนอย่างสม่ำเสมอ มีอัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสูง สามารถลดความชื้นของกระเทียมลงได้อย่างรวดเร็ว จากกราฟเส้นโค้งการเปลี่ยนแปลงของความชื้นและเวลาระหว่างการอบแห้งพบว่าปริมาณความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว ในช่วงแรกของทุกอุณหภูมิการอบแห้งจากนั้นเมื่อเวลาการอบแห้งนานขึ้นปริมาณความชื้นจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ จนคงที่ในช่วงท้ายของการอบแห้ง เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในกระเทียมมายังผิวหน้าของชิ้นกระเทียมจะต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศโดยรอบ ผิวหน้ากระเทียมจึงแห้ง เรียกช่วงนี้ว่าอัตราการทำแห้งลดลง ช่วงนี้เป็นช่วงที่นานที่สุดของ

กระบวนการทำแห้งจมน้ำในอาหารไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าได้อีกจนสิ้นสุดกระบวนการอบแห้ง การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้การถ่ายเทมวลในชั้นกระเทียมเร็วขึ้นเพราะทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอได้เร็วขึ้น (Liemlaem, 2014; Saowapark *et al.*, 2014; Parnsakhorn *et al.*, 2021) ทั้งนี้มีงานวิจัยที่ให้ผลสอดคล้องกันโดยพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งกระเทียมส่งผลให้เวลาในการอบแห้งลดลง (Sharma and Prasad, 2006; Pardo *et al.*, 2007; Rasouli *et al.*, 2011; Utama-ang *et al.*, 2018)

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงระยะเวลาอบแห้ง ที่สภาวะการอบแห้ง 3 อุณหภูมิ ของการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและการใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด พบว่าการอบแห้งกระเทียมเป็นการอบแห้งที่สอดคล้องกับทฤษฎีการอบแห้งวัสดุ กล่าวคือความร้อนส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำออกจากผิวของกระเทียมซึ่งมีปริมาณน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก อุณหภูมิ และความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ และทั้งนี้อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมของอากาศมีค่าคงที่ เมื่อผิวของกระเทียมมีปริมาณน้ำลดลง อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวกระเทียมเปลี่ยนแปลงไป โดยที่อุณหภูมิที่ผิวจะสูงขึ้นและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวจะลดลง ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งลดลง (Brooker *et al.*, 1981) ทั้งนี้การใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่แตกต่างกันทำให้อัตราการอบแห้งไม่คงที่ รวมถึงใช้เวลาในการอบแห้งที่แตกต่างกันตามแต่ละอุณหภูมิ นั่นคืออัตราการลดลงของความชื้นในช่วงเวลาอบแห้งจะมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นกับเวลาอบแห้ง สามารถแสดงในรูปความสัมพันธ์แบบเอกซ์โพเนนเชียล (รูปที่ 1) ซึ่งอัตราการการลดความชื้นสอดคล้องกับอุณหภูมิการอบแห้งพบว่าที่อุณหภูมิการอบแห้ง 80°C ให้ค่าอัตราการอบแห้งสูงสุด และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งลดลง แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิคือปัจจัยที่สำคัญของการอบแห้งโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นระยะเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจึงสั้นกว่าการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิต่ำ สอดคล้องกับ Kaya *et al.* (2008) รายงานว่า เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนและทำให้เวลาอบแห้งทั้งหมดลดลง นอกจากนี้จากการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดสามารถลดความชื้นของกระเทียมได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน เนื่องจากเทคนิคการอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดเป็นการใช้ลมร้อนเป่าผ่านชั้นวัสดุ ทำให้วัสดุลอยตัวเป็นอิสระ เกิดการคลุกเคล้าและสัมผัสกับลมร้อนอย่างสม่ำเสมอ มีอัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสูง สามารถลดความชื้นของวัสดุลงได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยหลายๆ งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งกระเทียม (Sharma & Prasad, 2001, Sharma & Prasad, 2006; Pardo *et al.*, 2007; Abano *et al.*, 2011(a); Abano *et al.*, 2011(b); Rasouli *et al.*, 2011; Utama-ang *et al.*, 2018)

2. ผลการเปลี่ยนแปลงค่าสีของกระเทียมระหว่างการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด

สีเป็นสมบัติกายภาพของผลิตภัณฑ์หลายๆ ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีผลต่อคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค สีของผลิตภัณฑ์มักเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ในระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยเฉพาะกระบวนการอบแห้ง ทั้งนี้การอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำเป็นการแปรรูปแบบไม่รุนแรง จึงมีส่วนช่วยในการรักษาการเปลี่ยนแปลงสีได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อุณหภูมิสูง ดังนั้นจากการทดสอบการอบแห้งกระเทียมที่อุณหภูมิสูง (80°C) พบการเปลี่ยนแปลงของค่าสี L^* , a^* และ b^* ค่อนข้างรวดเร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำในทั้ง 2 เทคนิคการอบแห้งคือ การอบแห้งกระเทียมด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้ง

ฟลูอิดไดซ์เบดนั้นแสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มของสีที่เข้มข้นหลังการอบแห้ง การลดลงของค่าความสว่าง ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองของกระเทียมหลังการอบแห้ง อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดแอมิโนโดยมีความร้อนจากการอบแห้งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผลที่ได้คือสารประกอบที่ให้สีน้ำตาล จึงสังเกตได้ว่ากระเทียมมีสีเข้มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Abano *et al.*, 2011(a) พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของกระเทียมหลังการอบแห้งเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ในกระเทียมในช่วงการอบแห้ง Prachayawarakorn *et al.*, (2006) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง หรือเพิ่มความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดไกล จะทำให้อุณหภูมิของกระเทียมเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น ทำให้กระเทียมมีสีน้ำตาลเข้มและ Abano *et al.*, 2011(a) รายงานอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งกระเทียมในช่วง $45-55^{\circ}\text{C}$

เมื่อพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (ΔE^*) พบว่าหลังการอบแห้งในทุก 3 ระดับอุณหภูมิ (60, 70 และ 80°C) มีค่า ΔE^* เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระเทียมสด ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการนำกระเทียมไปอบแห้ง ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (ปฏิกิริยาเมลลาร์ด) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซ์กับหมู่เอมีนที่อยู่ในโมเลกุลของโปรตีนได้เป็นไกลโคซิลเอมีนและจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาลซึ่งอัตราเร็วของปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณออกซิเจนและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Cui *et al.*, 2003; Khan, 2012)

3. ผลการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณน้ำอิสระของกระเทียมหลังการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด

จากผลการทดลองในการอบแห้งกระเทียมโดยใช้ตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดพบว่า ค่าปริมาณน้ำอิสระลดลงจาก 0.907 (กระเทียมสด) ไปอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า 0.4 ในทุกการทดสอบของ 3 ระดับอุณหภูมิ คือ 60, 70 และ 80°C ทั้งนี้เนื่องจากการดึงน้ำออกด้วยวิธีการอบแห้ง ทำให้ปริมาณน้ำในกระเทียมลดลง ส่งผลต่อการลดค่าปริมาณน้ำอิสระให้อยู่ในระดับที่ไม่เสี่ยงต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์หรือระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ กล่าวคือกิจกรรมของจุลินทรีย์เกือบทั้งหมดถูกยับยั้งที่ปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 (Rattanapanon, 2000; Fellows, 2000) จึงเป็นเหตุผลที่สามารถช่วยยืดอายุผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานขึ้นและช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Toledo (2007) กล่าวว่าในการผลิตกระเทียมแห้งหรือกระเทียมผง ค่าปริมาณน้ำอิสระควมามีค่าต่ำกว่า 0.6 เนื่องจากค่าในระดับนี้มีความเสี่ยงต่อกิจกรรมทางจุลชีววิทยา ในกลุ่มยีสต์ ราบางชนิด และจุลินทรีย์เกือบทุกชนิด (Fennema, 1996) ที่เกิดขึ้นและลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมี รวมถึง Utama-ang *et al.*, (2018). รายงานว่ากระเทียมที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C มีความชื้นและปริมาณน้ำอิสระต่ำสุดซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์กระเทียมผงแห้ง

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการอบแห้งกระเทียมสดที่มีความชื้นเริ่มต้น 67.17%w.b. ค่าปริมาณน้ำอิสระ 0.907 ด้วยตู้อบลมร้อนและเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดที่ 3 ระดับอุณหภูมิ คือ 60, 70 และ 80°C เพื่อลดความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ



ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม จากการอบแห้งพบว่า การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอัตราส่วนความชื้นเทียบกับเวลาการอบแห้งในทุกระดับอุณหภูมิของทั้ง 2 เทคนิค ให้ความสัมพันธ์ในแบบเอกซ์โพเนนเชียล โดยที่การอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (80°C) ให้อัตราการลดลงของความชื้นอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (60°C, 70°C) ในขณะที่ ณ อุณหภูมิการอบแห้งเดียวกันการใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดใช้เวลาการอบแห้งที่สั้นกว่า สังเกตได้จากอัตราการลดความชื้นสูงสุดเท่ากับ 1.10 kg/hr สำหรับการอบแห้งที่ 80°C ด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดและต่ำสุดที่ 0.22 kg/hr ด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 60°C การทดสอบค่าสี (L^* , a^* , b^*) พบแนวโน้มของการลดลงของค่า L^* การเพิ่มขึ้นของค่า a^* และ b^* โดยค่า L^* สูงสุดมีค่าระหว่าง 53-67 สำหรับกระเทียมสด หลังการอบแห้งมีค่าลดลงทุกสภาวะการทดสอบหรือมีสีค่อนข้างคล้ำขึ้น เมื่อพิจารณาค่า Choma(C^*) และการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (ΔE^*) พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกการทดสอบเช่นกันและให้ค่าสูงสุดสำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C ด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำอิสระหลังการอบแห้งพบว่ามีค่าต่ำกว่า 0.4 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แห้งเนื่องจาก อยู่ในระดับที่ไม่เสี่ยงต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์หรือระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ ดังนั้นการอบแห้งกระเทียมที่อุณหภูมิต่ำ (60°C) เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบด ให้ลักษณะปรากฏด้านสีที่ดีและใช้ระยะเวลาการอบแห้งที่สั้นลงผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีค่าความชื้นและปริมาณน้ำอิสระที่เหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่สนับสนุนทุนวิจัยและวัสดุอุปกรณ์

เอกสารอ้างอิง

- Abano, E.E., Ma, H. & Qu, W. 2011(a). Effects of pretreatments on the drying characteristics and chemical composition of garlic sliced in a convective hot air dryer. *Journal of Agriculture and Food Technology*, 1(5) , 50–58.
- Abano, E. E., Ma, H., Qu, W. & Teye, E. 2011(b). Modeling pre-treatments effect on drying kinetics of garlic (*Allium sativum* L.) slices in a convective hot air dryer. *African Journal of Food Science*, 5(7) , 425 – 435.
- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 18thEd., Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg MD.
- Brooker, D.B, Bakker-Arkema, F.W. & Hall, C.W. 1981. Drying Cereal Grains. The AVI Publ. Co. Inc. Westport. Connecticut. USA. 265 p.



- Cui, Z. W. Xu, S.Y. & Sun, D.W. 2003. Dehydration of garlic slices by combined microwave-vacuum and air drying. *Drying Technology*, 21(7), 1173–1184.
- Fellows, P. 2000. Food Processing Technology Principles and Practice, 2nd Ed., Woodhead Publishing, Ltd., Cambridge, 575 p.
- Fennema, O.R. 1996. Water and Ice. In Food Chemistry. 3rd ed. (Fennema, O.R.ed.). Marcel Dekker, Inc., New York.
- Jin, S.K., Ji, Y. Kim., Ju, E.P., You, J.L., Haeng-Ran, K., Dong-Sik, P. & Oran, K. 2014. Garlic powder intake and cardiovascular risk factors: a meta-analysis of randomized controlled clinical trials. *Nutr Res Prac*, 8(6), 644-654.
- Kaya, A., Aydın, O. & Dincer, I. 2008. Experimental and numerical investigation of heat and mass transfer during drying of Hayward kiwi fruits. *Journal of Food Engineering*, 88(3), 323–330.
- Khan, M.R. 2012. Osmotic dehydration technique for fruit preservation: A review, *Pak. Journal of Food Science*, 22, 71-85
- Kolawole, O.F., Joseph, C.I. & Funke, A.A. 2007. Kinetics of mass transfer and color changes during osmotic dehydration of watermelon, *Journal of Food Engineering*, 80(3) , 979-985.
- Liemplaem, S. 2014. Quality of sugaring figs (Ma Nod) dehydrated by tray dryer, Master's Theses, Chiang Mai University, Chiang Mai. (in Thai)
- Rasouli, M., Seiedlou, S., Ghasemzadeh, H.R. & Nalbandi, H. 2011. Convective drying of garlic (*Allium sativum* L.): Part I: Drying kinetics, mathematical modeling and change in color. *Australian Journal of Crop Science*, 5(13), 1707-1714.



- Parnsakhorn, S., Langkapin, J., Phriknunchan, S and Srichumpol, A. 2021. Effect of osmotic dehydration on qualities of intermediate moisture melon product. *Thai Science and Technology Journal (TSTJ)*, 29(4), 714-727.
- Pardo, J.E., Escribano, J., Gómez, R. and Alvarruiz, A. 2007. Physical-chemical and sensory quality evaluation of garlic cultivars. *Journal of Food Quality*, 30(5), 609–622.
- Prachayawarakorn, S., Kaewnin, N., Nathakaranakule, A. & Soponronnarit, S. 2006. Effects of peeled and unpeeled garlic cloves on the changes of drying rate and quality. *Drying Technology*, 24(1), 65-75.
- Rattanapanon, N., 2000, Food Chemistry, 4th Ed., Odean Store Publisher, Bangkok. (in Thai)
- Ratti, C., Farias, M.A., Lagunas, L.M. & Makhlof, J. 2007. Drying of garlic (*Allium sativum*) and its effect on allicin retention. *Drying Technology*, 25(2), 349-356.
- Saowapark, S., Summawattana, T. & Artnarong, S. 2014. Effect of drying temperature on quality of dried Garcinia (*Garcinia atroviridis*), *Agricultural Science Journal*, 45(2) (Suppl.), 37-40. (in Thai)
- Sharma, G.P. & Prasad, S. 2001. Drying of garlic (*Allium sativum*) cloves by microwave—hot air combination. *Journal of Food Engineering*, 50(2), 99–105.
- Sharma, G.P. & Prasad, S. 2006. Optimization of process parameters for microwave drying of garlic cloves. *Journal of Food Engineering*, 75(4), 441–446.
- Toledo, R.T. 2007. Fundamentals of Food Process Engineering, p. 431–473, New York: Springer Verlag.
- Utama-ang, N., Cheewinworasak, T., Simawonthamgul, N. & Samakradhamrongthai, R.S. 2018. Effect of drying condition of Thai garlic (*Allium sativum* L.) on physicochemical and sensory properties. *International Food Research Journal*, 25(4), 1365-1372.



Zeng T, Guo F-F, Zhang C-L, Song F-Y, Zhao X-L, Xie K-Q. 2012. A meta-analysis of randomized, double-blind, placebo-controlled trials for the effects of garlic on serum lipid profiles. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(9), 1892-1902.