



การศึกษาการเปรียบเทียบกระบวนการอบแห้งกุ้งด้วยการอบแห้ง แบบความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและการอบแห้งแบบอากาศร้อน

The Comparative Study of Shrimp Drying Process with Low Humidity Air and Hot Air Drying

ณัฐวัฒน์ วิสัยพรหม^{1*}, ณัฐ กาศยพานัน¹, วสันต์ พลาชัย²
Natthawat Wisaiprom^{1*}, Nat Kadsayapanan¹, Wasan Palasai²

(Received: October 4, 2018; Revised: November 8, 2018; Accepted: November 20, 2018)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการอบแห้งกุ้งด้วยระบบการอบแห้งแบบความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (Relative Humidity Air Drying) เปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบอากาศร้อน (Hot Air Drying) เพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านสี เนื้อสัมผัส การคืบตัว water activity เป็นต้น โดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งแบบความชื้นต่ำที่ 30 องศาเซลเซียสและ 35 - 55 % Rh ตามลำดับ ซึ่งในส่วนของการอบแห้งแบบอากาศร้อนนั้นจะใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น สี ความแข็ง เนื้อสัมผัส อุณหภูมิและความชื้น water activity เป็นต้น ซึ่งผลการทดลองพบว่า การอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 60 องศาเซลเซียสนั้นจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ 150 นาที โดยพบว่าความชื้นสุดท้ายของกุ้งคือ 13.51 (% d.b) สำหรับคุณภาพด้านสีของกุ้งนั้น พบว่ามีค่าความสว่าง คือ 49.52±2.01 เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งในแบบอื่น ๆ แล้วพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักในทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับความแข็งของผลิตภัณฑ์ พบว่าการอบแห้งแบบอากาศร้อนจะมีค่าความแข็งมากที่สุด คือ 154.33 นิวตัน ซึ่งหากเปรียบเทียบกับความแข็งของการอบแห้งแบบความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะมีค่าประมาณ 118 นิวตัน สำหรับค่า water activity นั้นมีค่าอยู่ในช่วง 0.5-0.6 ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.136/2558)

คำสำคัญ: การอบแห้งแบบอากาศร้อน การอบแห้งแบบความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ กุ้ง

Abstract

The objectives of this research were to investigate the factors that affect the drying process of shrimp by using Relative Humidity Air Drying method compared with Hot Air Drying. Resilience, water activity, and other variables, were controlled by temperature and relative humidity control in a low humidity drying room at 30 °C and 35 - 55% Rh, respectively, while the hot air drying process was carried out at 40, 50 and 60 °C. The physical properties of the shrimp such as color, hardness, texture, temperature, and moisture content, were determined. Drying with hot air using a drying temperature of 60 °C took a minimum of 150 minutes to dry. The final moisture content of the shrimp was 13.51 (% d.b). The brightness was 49.52 ± 2.01, compared to other drying methods, for which values

¹ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

¹ School of Energy Environment and Material, King Mongkut's University of Technology Thonburi

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

² Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

were not significantly different ($p < 0.05$). It was found that hot air drying had the highest hardness value (154.33 N), along with a low relative humidity of 118 N for water activity, in the range of 0.5-0.6, which was not higher than the standard for product (136/2558) set by Thai Industrial Standards Institute.

Keywords: Hot Air Drying, Low Relative Humidity Air Drying, Shrimp

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยถือได้ว่าเป็นประเทศที่มีอัตราการส่งออกผลิตภัณฑ์จำพวกอาหารทะเลที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ซึ่งในปี 2559 อุตสาหกรรมอาหารของไทยมีมูลค่าประมาณ 27.4 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ซึ่งมีการขยายตัวจากปีก่อนร้อยละ 4.0 โดยการส่งออกอาหารที่คาดว่าจะขยายตัวได้ดี ได้แก่ กุ้ง ไก่และสับปะรดกระป๋อง (Kasikom research center, 2017) ทั้งนี้อาหารทะเลแปรรูปเป็นสินค้าส่งออกสำคัญของไทย มูลค่าการส่งออกอาหารทะเลแปรรูปของไทยปี 2559 กุ้ง 69,422 หนว่ กระป๋อง 68,535.8 หนว่: ล้านบาท (Thai Frozen Foods association, 2016) ซึ่งสามารถสร้างรายได้ให้แก่ประเทศเป็นจำนวนมาก การแปรรูปอาหารทะเลสามารถสร้างรายได้ให้แก่ประเทศได้เป็นอย่างดี (Office of Commercial Affairs, Royal Thai Embassy WTC The Hague, 2014) โดยเฉพาะกุ้งแห้งซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงโดยเฉพาะโปรตีนซึ่งเป็นสารอาหารสำคัญ (Smith & Guentzel, 2010) และในปัจจุบันขั้นตอนการผลิตยังไม่ได้คุณภาพ เนื่องจากมีขั้นตอนการผลิตที่ยากและไม่ได้มาตรฐาน อีกทั้งในอุตสาหกรรมกุ้งแห้งกำลังเติบโตมีแนวโน้มการส่งออกที่มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้กระบวนการผลิตสินค้าเป็นไปได้อย่างต่อเนื่องจึงมีการนำเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยอากาศร้อนเข้ามาช่วยเพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้งให้ไวต่อการส่งออก กระบวนการแปรรูปอาหารทะเลที่เป็นที่นิยมกันคือการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลายาวนานขึ้น การลดความชื้นในอาหารทะเลนั้นสามารถทำได้หลายแบบ คือ การตากแดด การกวน การอบแห้งด้วยลมร้อน แต่วิธีที่ได้ผลและนิยมกันมากที่สุดในปัจจุบัน คือ วิธีการอบแห้งด้วยอากาศร้อนแต่จะมีข้อเสียคือ ต้นทุนค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงต้องใช้งานในระยะยาวจึงจะคุ้มค่าการลงทุนเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมกับการอบแห้งอาหารทะเล คือ เครื่องอบแห้งแบบตู้อบทั่วไปการอบแห้งด้วยอากาศร้อนจะใช้อุณหภูมิประมาณ 40-60 เซลเซียส (Janjai et al., 2009) แต่ข้อดีของการอบแห้งด้วยอากาศร้อน คือ จะใช้เวลาในการอบแห้งที่ไม่นาน (Nagaya et al., 2006) ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการอบแห้งสูงแต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติทางด้านอาหารหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งแบบอากาศร้อนไปแล้วนั้นจะมีคุณภาพที่ต่ำ (Rodpraphat, Jaekham, Vinitnanthakit & Nunchai, (2010)) แต่อย่างไรก็ตามปัญหาด้านการกักเก็บก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลทำให้กุ้งแห้งนั้นไม่ได้คุณภาพ กล่าวคือในปัจจุบันนั้นการอบแห้งกุ้งเป็นที่ยอมรับแพร่หลายแต่หลังจากที่อบแห้งแล้วไม่มีระบบการกักเก็บที่ดีจึงทำให้กุ้งแห้งนั้นติดเชื้อรา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการนำกุ้งมาอบแห้งด้วยการอบแห้งแบบอากาศร้อนรวมกับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำเพื่อแก้ไขปัญหา ซึ่งสำหรับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำนั้นเป็นเทคโนโลยีการอบแห้งแบบใหม่ที่สามารถอบแห้งได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส เพื่อเปรียบเทียบผลศึกษาคุณสมบัติภายหลังที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง (Moungthong et al., 2014)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของการอบแห้งแบบอากาศร้อนและการอบแห้งแบบความชื้นต่ำในระดับห้องปฏิบัติการ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ เป็นต้น
2. เพื่อศึกษาสมบัติของสารอาหารกุ้งหลังการอบแห้งแบบอากาศร้อนและการอบแห้งแบบความชื้นต่ำในระดับห้องปฏิบัติการ



อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย

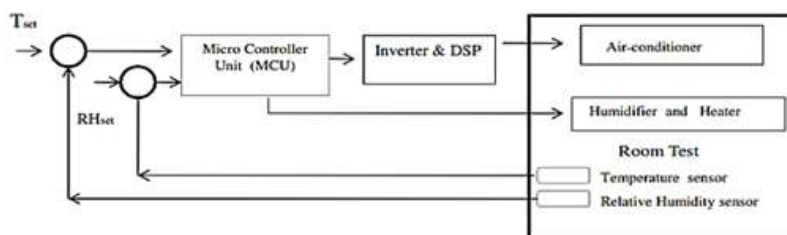
ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการอบแห้งกึ่งด้วยการอบแห้งแบบความชื้นสัมพัทธ์ต่ำซึ่งประกอบด้วย ห้องอบแห้ง 1 ห้อง เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จำนวน 1 เครื่อง เครื่องชั่งดิจิตอลขนาด 3 กิโลกรัม ค่าความละเอียด 1 กรัม จำนวน 1 เครื่อง

การเตรียมวัสดุสำหรับการทดลอง นำกุ้งมาล้างทำความสะอาดและนำไปลวกน้ำที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที ซึ่งในการอบแห้งแต่ละกรณีจะใช้กุ้งประมาณ 350 กรัม โดยเงื่อนไขที่ใช้ในการอบแห้ง คือ วิธีการอบแห้งที่แตกต่างกัน และการควบคุมความชื้นในห้องอบแห้งที่ 35, 45 และ 55 % โดยที่ความชื้นเริ่มต้นของกุ้งประมาณ 380-450 (%d.b.) แล้วอบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายต่ำกว่าร้อยละ 15-20 (%d.b.) ก่อนที่จะนำไปตรวจสอบคุณภาพหลังจากอบแห้งโดยวัดค่าของสี L a b ความแข็ง เพื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีการวางจำหน่ายในห้องตลาดทั่วไป



ภาพที่ 1 ชุดควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ (Sookchaiya, Monyakul & Thepa, 2010)

จากภาพที่ 1 ห้องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 1.56x4.8x2.8 ลูกบาศก์เมตร ขนาดเครื่องปรับอากาศ 1 ตัน หรือ 12,000 BTU โดยระบบควบคุมสภาพอากาศทำงานร่วมกับระบบปรับอากาศภายในห้องอบแห้ง ใช้สารทำความเย็นชนิด R-22 ดัดแปลงระบบเป็นแบบอินเวอร์เตอร์ที่สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ได้ โดยในระบบควบคุมสภาพอากาศ (Climate Control System) จะมีอุปกรณ์ที่ทำการควบคุมกับระบบปรับอากาศ ประกอบด้วยชุดเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ, ชุดลดอุณหภูมิที่สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิ, ระบบเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์และชุดประมวลผลสภาพอากาศ MCU (microcontroller unit) เป็นอุปกรณ์ควบคุมความเร็วของ compressor จาก inverter โดยมีการรับ ส่งสัญญาณจาก sensor ความชื้นและอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง โดยจะวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องและเปรียบเทียบกับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิที่กำหนด ถ้าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้หน่วย MCU จะเปิดคอมเพรสเซอร์จนกว่าอุณหภูมิและความชื้นจะเท่ากับจุดที่ทำการตั้งค่าและความเร็วของคอมเพรสเซอร์ไว้ ความชื้นและอุณหภูมิลดลง เครื่องจะตัดการทำงานเองโดยอัตโนมัติ



ภาพที่ 2 ระบบการทำงานของ MCU และ Inverter

การหาปริมาณความชื้นของตัวอย่าง (Tirawanichakul, Naphatthalung & Tirawanichakul 2008) การหาปริมาณความชื้นของกุ้งสามารถทำได้โดยการนำกุ้งไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยจะทำการชั่งน้ำหนักหึ่งก่อนและหลังการอบแห้ง แล้วจึงนำค่าน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาความชื้นของกุ้งที่เวลาใดๆ ดังสมการที่ 1

$$\%d.b. = \frac{W - D}{D} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ %d.b. คือ ความชื้นของกุ้งที่เวลาใดๆ (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง)
W คือ น้ำหนักของกุ้งที่เวลาใดๆ (กรัม)
D คือ น้ำหนักแห้งของกุ้ง (กรัม)

การทดสอบคุณภาพทางด้านสีของตัวอย่าง (Chen & Peng 1995) จะใช้เครื่องวัดสีชื่อ Minolta รุ่น CR-400 วัดที่บริเวณพื้นผิวของกุ้งตามระบบ Hunter ซึ่งจะแสดงค่าในรูปแบบตัวแปร L, a และ b โดยที่ค่า L จะแสดงค่าความสว่าง a จะแสดงค่าสีแดงและสีเขียว b จะแสดงค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน ในการทดสอบคุณภาพด้านสีของตัวอย่างนี้จะใช้กุ้ง จำนวน 3 ชิ้นของการอบแห้งแต่ละกรณีต่อการทดสอบ 1 ครั้ง แล้วจึงนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาหาค่าเฉลี่ยและทำการวิเคราะห์ผลดังสมการที่ 2

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

การวิเคราะห์การคืนตัว (Rehydration (Anusara, Yutthana. & Supawan, 2012) สำหรับการวิเคราะห์การคืนตัวของกุ้งหลังจากที่ผ่านกระบวนการอบแห้งในแต่ละเงื่อนไขแล้วนั้นจะทำการทดสอบโดยการนำกุ้งหลังการอบแห้ง มาแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90±3 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 15 นาที จากนั้นรินน้ำออกและทำการชั่งน้ำหนักแล้วชั่งน้ำหนักของตัวอย่างหลังการคืนตัว คำนวณร้อยละการคืนตัวตามสมการที่ 3

$$\%Rehydration = \frac{m_f}{m_d} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ m_f คือ น้ำหนักของกุ้งหลังการคืนตัว, g
 m_d คือ น้ำหนักของกุ้งก่อนการคืนตัว, g

การวัดค่าความแข็งหรือเนื้อสัมผัส (Texture Analysis) (Chungcharoen, Prachayawarakorn, Tungtrakul & Suponronnarit 2015) การวัดค่าเนื้อสัมผัสเป็นคุณลักษณะด้านการต้านทานของอาหารต่อสิ่งที่มากระทำ ซึ่งการอธิบายคุณลักษณะ ด้านความแข็งขึ้นอยู่กับวิธีการวัดค่า ซึ่งค่าแรงที่แสดงออกมาจะเป็นค่าแรงสูงสุดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวิธีการวัดค่าโดยเฉพาะ ขนาดของหัววัดและระยะทางที่ทำการวัด ซึ่งในการทดลองวัดครั้งนี้ได้เลือกใช้ เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyzer โดยเลือกใช้หัววัดที่ไม่มีขนาดความยาว 10 cm เคลื่อนที่ไปกดตัดชิ้นวัสดุ โดยพิจารณาถึงแรงต้านทานสูงสุด (Hardness) ก่อนที่ชิ้นวัสดุจะเกิดการแตกหัก

การวัดค่าการหดตัว (Nathakaranakule, Jaiboon & Soponronnarit 2010) การทดสอบคุณภาพด้านการหดตัวสามารถวัดได้โดยวิธีการแทนที่ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ในของเหลว โดยของเหลวที่ใช้ทดสอบคือ n heptane [$CH_3(CH_2)_5CH_3$] ซึ่งเป็นของเหลวที่มีคุณสมบัติพิเศษคือ จะไม่ซึมผ่านเข้าไปในตัววัสดุโดยคำนวณค่าจากสมการ

$$\%Shrinkage = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ V_0 คือ ปริมาตรก่อนการอบแห้ง
V คือ ปริมาตรหลังการอบแห้ง



จากกฎข้อที่ 1 ของนิวตัน (Newton's first law) ผลรวมของแรงมีค่าเท่ากับศูนย์ดังสมการ

$$\Sigma F = 0 \quad (5)$$

เมื่อพิจารณาแรงดึงเชือกขณะผูกติดกับตัวอย่างก่อนและหลังการอบแห้งในอากาศดังสมการ

$$T_1 = m_1 g \quad (6)$$

เมื่อกำหนดให้ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งดิจิตอลเป็น m_1 ดังสมการ

$$T_1 = m_1 g \quad (7)$$

เมื่อพิจารณาแรงดึงเชือกขณะผูกติดกับตัวอย่างก่อนและหลังการอบแห้งในของเหลวดังสมการ

$$T_2 = m_2 g - F_B \quad (8)$$

เมื่อกำหนดให้ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งดิจิตอลเป็น M_2 ดังสมการ

$$T_2 = m_2 g \quad (9)$$

แทนค่าสมการ (7) และ (9) ใน (8) จะได้

$$m_2 g = m_1 g - F_B \quad (10)$$

จากกฎแรงลอยตัว $F_B = \rho V g$ จาก (10) จะได้

$$\rho_{\text{n-haptane}} V_{\text{sample}} = m_2 - m_1 \quad (11)$$

การวัดค่าน้ำในวัสดุ (Water Activity) (Scott 1957)

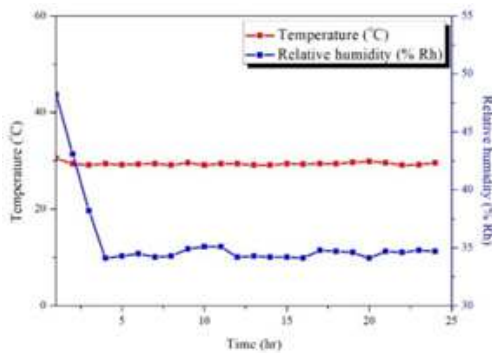
การวัดค่า Water Activity (a_w) เป็นการวัดค่าน้ำในตัวอย่าง โดยใช้เครื่องวัด a_w ซึ่งค่าที่อ่านได้จะมีค่าตั้งแต่ 0.000 - 1 หากค่าที่วัดได้มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีน้ำในตัวอย่างมาก โดยมีวิธีการวัดดังนี้

1. ทำให้วัสดุที่ต้องการทดลองละเอียด โดยการบดหรือสับ
2. ใส่วัสดุที่ละเอียดแล้วเข้าไปในถ้วยวัด a_w ประมาณ 3/4 ของถ้วย
3. ใส่ถ้วยวัด a_w เข้าเครื่องวัด และปิดสวิตช์เปิดเครื่อง แล้วทำการบันทึกค่า

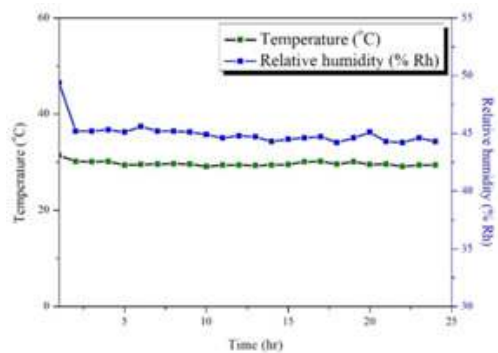
ผลการวิจัย

ผลของการศึกษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งแบบความชื้นต่ำ

ในการอบแห้งแบบความชื้นต่ำนี้ผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาในส่วนของอุณหภูมิจะทำการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบแห้งโดยความชื้นสัมพัทธ์ที่สนใจอยู่ในช่วง 35, 45 และ 55% หากความชื้นสัมพัทธ์ต่ำนั้นจะส่งผลทำให้ความชื้นภายในผลิตภัณฑ์เกิดการถ่ายเทมวลจนกระทั่ง ความชื้นภายในผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งแบบ ความชื้นต่ำ และจากการที่น้ำ ภายในผลิตภัณฑ์มีการระเหยออกมาภายนอก ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์แห้ง เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จึงมีการบันทึกสภาวะนี้ตลอดกระบวนการอบแห้งโดยการติดตั้งระบบควบคุม สภาวะอากาศร่วมกับระบบปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง

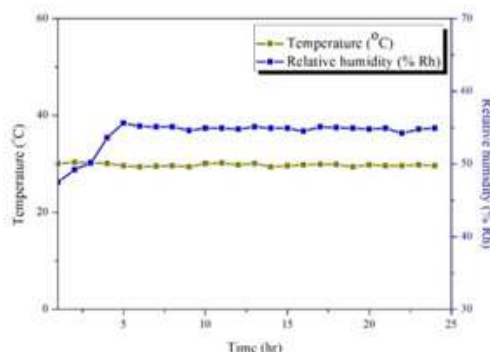


ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความชื้น
ภายในห้องอบแห้งแบบความชื้นต่ำ (45% Rh)



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับสัมพัทธ์
ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งแบบ (35% Rh)

การบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 35% ทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งแบบความชื้นต่ำนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 29.0-30.5 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดลองคือ 30.1 องศาเซลเซียส สำหรับในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์นั้นพบว่า ในช่วงแรกของการอบแห้งภายในห้องอบแห้งจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงคือ 48.5% แต่เมื่อเวลาผ่านไปค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งแบบความชื้นต่ำจะค่อยๆ ลดต่ำลง จนกระทั่งเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมงค่าความชื้นสัมพัทธ์จะเริ่มคงที่ สำหรับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 45% 10 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งแบบความชื้นต่ำนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 28.5-31.4 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดลองคือ 29.95 องศาเซลเซียส สำหรับในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์นั้นพบว่า ภายในห้องอบแห้งจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงคือ 48.3% แต่เมื่อเวลาผ่านไปค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งแบบความชื้นต่ำจะค่อยๆ ลดต่ำลง จนกระทั่งเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมงค่าความชื้นสัมพัทธ์จะเริ่มคงที่ โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดการทดลองคือ 44.65%



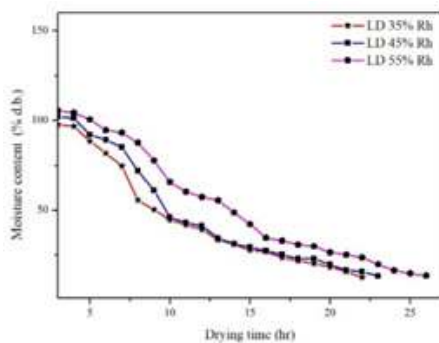
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งแบบความชื้นต่ำ (55% Rh)

สำหรับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 55% ทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งแบบความชื้นต่ำนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 29.1-30.2 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทดลองคือ 29.98 องศาเซลเซียส สำหรับในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์นั้นพบว่า ภายในห้องอบแห้งจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงคือ 55.2% แต่เมื่อเวลาผ่านไปค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งแบบความชื้นต่ำจะค่อยๆ ลดต่ำลง จนกระทั่งเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมงค่าความชื้นสัมพัทธ์จะเริ่มคงที่ โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดการทดลองคือ 54.85%

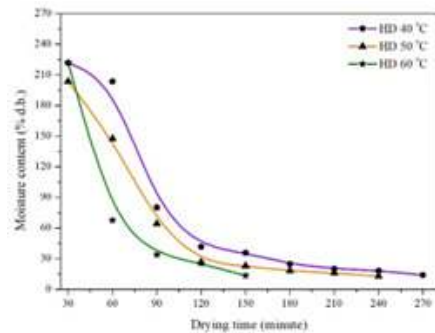


ปริมาณความชื้นสำหรับเงื่อนไขการอบแห้งแบบความชื้นต่ำ

สำหรับการเปลี่ยนแปลงความชื้นในเงื่อนไขของทั้ง 3 เงื่อนไขที่ใช้การอบแห้งแบบความชื้นต่ำนั้น พบว่า การเปลี่ยนแปลงในระยะแรกของการอบแห้งนั้นจะลดลงอย่างช้าๆ เนื่องจากตัวกุ้งมีปริมาณน้ำภายในเป็นจำนวนมากอีกทั้งในงานวิจัยนี้ในช่วงของการอบแห้งแบบความชื้นต่ำนี้มีการใช้ระบบการควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียสและสภาวะการควบคุมความชื้นที่ต่ำในช่วง 35, 45 และ 55 % หากพิจารณากระบวนการถ่ายเทความร้อนจากเนื้อสัตว์แล้วพบว่าอัตราการระเหยของน้ำจะต่ำเพราะความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและอุณหภูมิต่ำ และเมื่อเวลาผ่านไปสักระยะหนึ่งอัตราการอบแห้งก็จะค่อยๆ ลดลงโดยที่กุ้งมีความชื้นเริ่มต้นคือ 100-140% (d.b.) จนในที่สุดการเปลี่ยนแปลงของความชื้นลดลงจนถึง 13 (%d.b.) ซึ่งพบว่าเงื่อนไขการอบแห้งแบบความชื้นต่ำที่ความชื้นสัมพัทธ์ 35% จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ 23 ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบกับ การอบแห้งแบบความชื้นต่ำเงื่อนไขที่ใช้ความชื้นสัมพัทธ์ 55% แล้วนั้นจะใช้เวลาในการอบแห้งมากที่สุด คือ 26 ชั่วโมงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความชื้นของกุ้งโดยการอบแห้งแบบความชื้นต่ำ



ภาพที่ 7 ความชื้นของกุ้งโดยการอบแห้งแบบอากาศร้อน

ปริมาณความชื้นสำหรับเงื่อนไขการอบแห้งแบบอากาศร้อน

จากภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความชื้นและเวลาอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบอากาศร้อน ในเงื่อนไขการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง คือ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยพบว่าอัตราการลดลงของความชื้นเป็นไปด้วยความรวดเร็วในช่วงแรก และเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 150 นาที สำหรับกระบวนการอบแห้งแบบอากาศร้อนนี้เป็นวิธีการอบแห้งที่มักจะนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เพราะจะใช้เวลาในการอบแห้งที่ค่อนข้างน้อยอีกทั้งยังสามารถอบแห้งวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ในปริมาณครั้งละจำนวนมากๆ ซึ่งในการทดลองนี้พบว่าเงื่อนไขการอบแห้งแบบอากาศร้อนที่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 60 องศาเซลเซียสนั้นจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ 150 นาที โดยพบว่าความชื้นเริ่มต้นของกุ้งอยู่ที่ 230 (%d.b.) ซึ่งหลังจากที่ผ่านกระบวนการอบแห้งไปแล้วนั้นพบว่าความชื้นสุดท้ายของกุ้งจะมีค่า 13 (%d.b.) สำหรับการระเหยของน้ำจากวัสดุออกสู่อากาศแวดล้อมนั้นเป็นไปด้วยความรวดเร็วเนื่องจากใช้อุณหภูมิสูงจึงทำให้การถ่ายเทความร้อนจากสภาวะอากาศข้างนอกเข้าสู่กุ้งเป็นไปด้วยความรวดเร็ว

คุณภาพด้านสี (Color)

สำหรับคุณภาพด้านสีของการอบแห้งแบบต่างๆ พบว่าค่าสี L ของการอบแห้งทั้ง 6 เงื่อนไขมีค่าอยู่ระหว่าง 35.02-49.52 จะสังเกตได้ว่าการอบแห้งแบบอากาศร้อนด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนั้นจะมีค่าสีที่เข้มมากที่สุด เป็นผลมาจากการที่เราใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงทำให้สีมีการเปลี่ยนแปลงมากและมีความเข้ม โดยที่ค่า a ของการอบแห้งทั้ง 5 กรณีมีค่าอยู่ระหว่าง 17.19-18.84 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักในทางสถิติ ($p < 0.05$) และในส่วนของค่า b พบว่ากุ้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งทั้ง 6 เงื่อนไขมีค่าอยู่ระหว่าง 16.12-18.53 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักในทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 1

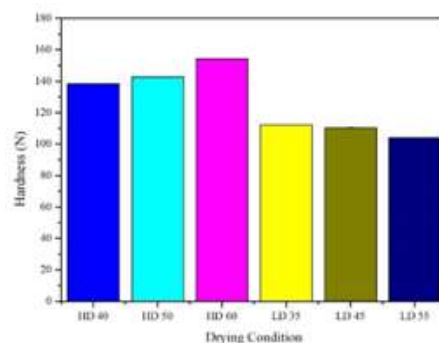
ตารางที่ 1 คุณภาพด้านสีของการอบแห้งกุ้งเงื่อนไขต่างๆ

Drying condition	Color values		
	L	a	b
Hot air drying 40 °C	44.1±33.51	18.56±0.25	16.12±1.02
Hot air drying 50 °C	46.32±5.54	18.63±1.28	16.59±0.11
Hot air drying 60 °C	49.52±2.01	18.84±0.14	17.45±0.36
Low temp. Low hum. 35% Rh	35.37±5.25	17.29±3.49	18.53±0.63
Low temp. Low hum. 45% Rh	35.21±3.25	17.31±0.17	18.36±1.26
Low temp. Low hum. 55% Rh	35.02±3.11	17.19±2.25	18.27±2.59

*L a b มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ความแข็งตัว (Hardness)

การวัดค่าเนื้อสัมผัสเป็นคุณลักษณะด้านการต้านทานของอาหารต่อสิ่งที่มากระทำ ซึ่งการอธิบายคุณลักษณะด้านความแข็งขึ้นอยู่กับวิธีการวัดค่า ซึ่งค่าแรงที่แสดงออกมาจะเป็นค่าแรงสูงสุดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวิธีการวัดค่าโดยเฉพาะขนาดของหัววัดและระยะทางที่ทำกรวัด ซึ่งในการทดลองวัดครั้งนี้ได้เลือกใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture analyzer โดยเลือกใช้หัววัดแบบมีขนาดความยาว 10 cm เคลื่อนที่ไปกดตัดชิ้นวัสดุ โดยพิจารณาถึงแรงต้านทานสูงสุด (Hardness) ก่อนที่ชิ้นวัสดุจะเกิดการแตกหัก ซึ่งค่าที่อ่านได้จะแสดงอยู่ในรูปของกราฟที่บ่งบอกถึงแรงที่ใช้ในการกดเฉือนวัสดุให้ฉีกขาด ซึ่งเปรียบเสมือนแรงที่เราใช้ฟันในการกัดชิ้นเนื้อให้ขาด ซึ่งจากภาพที่ 8 แสดงค่าความแข็งของกุ้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งทั้ง 6 เงื่อนไข จะพบว่าการอบแห้งกุ้งแบบอากาศร้อนที่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 60 องศาเซลเซียสจะมีความแข็งมากที่สุดคือ 154.33 N เป็นผลมาจากการที่นำไปอบแบบอากาศร้อน ซึ่งในขั้นตอนนี้อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งแบบอากาศร้อนนั้นมีค่าสูงจึงทำให้อัตราการระเหยของน้ำเป็นไปด้วยความรวดเร็ว



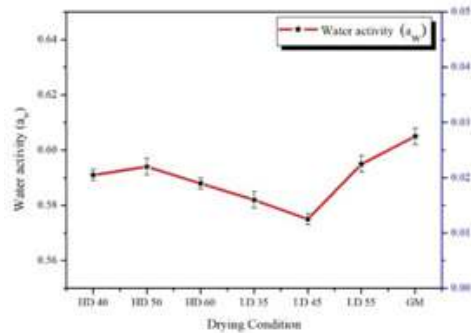
ภาพที่ 8 ความแข็งของกุ้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งในแต่ละเงื่อนไข

การวัดค่าน้ำในวัสดุ (Water Activity)

วอเตอร์แอคทิวิตี (Water activity) เป็นตัวบ่งชี้ปริมาณน้ำต่ำที่สุดในอาหารที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ได้ซึ่งหากมีค่าเกินมาตรฐานจะส่งผลต่อระยะเวลาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ตาม



มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.136/2558) ซึ่งกำหนดไว้ว่าต้องมีค่าไม่เกิน 0.6 จากผลการวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของกุ้งหลังจากที่ผ่านกระบวนการอบแห้งทั้ง 6 วิธีมาแล้วพบว่าค่า วอเตอร์แอกทิวิตีไม่เกิน 0.6 แต่อย่างไรก็ตามเราจะพบว่า กุ้งที่เรา นำมาทดสอบโดยเลือกซื้อมาจากตลาดจะมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่เกิน 0.6 ซึ่งอยู่ในสภาวะเสี่ยงต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังภาพที่ 9 แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าค่าวอเตอร์แอกทิวิตีจะเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานแต่ควรปรับค่าความชื้นสุดท้ายให้ต่ำกว่า 13% (d.b.) ซึ่งจะได้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่ต่ำกว่า 0.6 และปลอดภัยต่อการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 9 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของกุ้งหลังจากที่ผ่านกระบวนการอบแห้งในแต่ละเงื่อนไข

การวัดค่าการหดตัว (Shrinkage)

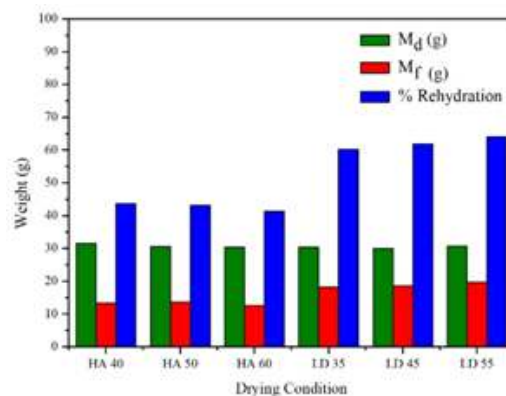
ตารางที่ 2 ค่าการหดตัวของการอบแห้งกุ้งที่เงื่อนไขต่างๆ

Drying condition	ค่าการหดตัว		
	Δ ความกว้าง (cm)	Δ ความยาว (cm)	Δ ความหนา (cm)
Hot air drying 40 °C	0.37±3.02	2.75±4.34	0.47±2.14
Hot air drying 50 °C	0.33±3.14	2.59±2.21	0.44±2.58
Hot air drying 60 °C	0.41±3.17	3.92±2.14	0.49±3.14
Low temp. Low hum. 35% Rh	0.25±2.51	2.17±0.21	0.31±2.12
Low temp. Low hum. 45% Rh	0.21±0.51	2.01±0.41	0.22±2.04
Low temp. Low hum. 55% Rh	0.19±2.18	2.31±3.59	0.23±2.31

สำหรับการวิเคราะห์การหดตัวของกุ้งหลังจากที่ผ่านกระบวนการอบแห้งทั้ง 6 วิธีมาแล้วพบว่า กุ้งมีการหดตัวซึ่งเป็นผลมาจากการที่น้ำในกุ้งมีการระเหยออกไปจนหมดจึงทำให้ขนาดของกุ้งนั้นลดลง ซึ่งสำหรับการอบแห้งแบบอากาศร้อนที่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 60 องศาเซลเซียสนั้น จะพบว่าขนาดความกว้างของกุ้งมีค่าเท่ากับ 0.41±3.14 เซนติเมตร ขนาดความยาวมีค่าเท่ากับ 3.92±2.14 เซนติเมตร และขนาดความหนามีค่าเท่ากับ 0.49±3.14 เซนติเมตร หากเปรียบเทียบการหดตัวกับวิธีการอบแห้งแบบอื่นพบว่าการอบแห้งแบบนี้จะมีอัตราการหดตัวมากกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากการอบแห้งในตู้อบแห้งแบบอากาศร้อนนั้นมีอุณหภูมิสูง ทำให้อัตราการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์มีค่ามาก

คุณภาพด้านการคืนตัวของกุ้งหลังจากผ่านกระบวนการอบแห้ง (Rehydration)

สำหรับผลการวิเคราะห์การคืนตัวของกุ้งหลังจากที่ผ่านกระบวนการอบแห้งในแต่ละเงื่อนไขแล้วนั้น จะทำการทดสอบโดยการนำกุ้งหลังการอบแห้ง มาแช่ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 ± 3 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 15 นาที จากนั้นรินน้ำออกและทำการชั่งน้ำแล้วชั่งน้ำหนักของตัวอย่างหลังการคืนตัว พบว่าผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 10 จะเห็นได้ว่าเงื่อนไขการอบแห้งแบบอากาศร้อนที่ใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งมีน้ำหนักก่อนอบแห้งคือ 30.35 กรัม แต่เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งไปแล้วพบว่าน้ำหนักเหลือเพียง 12.56 กรัม จะมีค่าการคืนตัวที่น้อยที่สุดคือ 41.38% ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ในระหว่างกระบวนการอบแห้งนั้นใช้อุณหภูมิสูงจึงทำให้อัตราการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์สูง และสาเหตุนี้เองจึงทำให้เนื้อวัสดุนั้นมีการคืนตัวที่ค่อนข้างช้า หากเราพิจารณาโครงสร้างทางกายภาพที่เราสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าจะพบว่าขนาดของตัวกุ้งนั้นจะมีขนาดเล็กลงมาจากเดิมก่อนที่จะผ่านกระบวนการอบแห้ง อีกทั้งทางด้านประสาทสัมผัสพบว่า ลักษณะของกุ้งนั้นจะมีความแข็งและเปราะมากหากเปรียบเทียบกับเงื่อนไขการอบแห้งแบบความชื้นต่ำที่ใช้อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 55% นั้นพบว่าน้ำหนักของกุ้งก่อนการอบแห้งมีค่า 30.69 กรัม แต่เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งไปแล้วจะเหลือน้ำหนักเพียง 19.68 กรัม ซึ่งจะมีค่าการคืนตัวสูงที่สุดคือ 64.12% ซึ่งสาเหตุที่เงื่อนไขการอบแห้งนี้เมื่ออัตราการคืนตัวที่สูงที่สุดเป็นผลมาจากการที่อุณหภูมิที่ใช้อบแห้งภายในห้องอบแห้งไม่สูงมากนักจึงทำให้อัตราการระเหยของน้ำที่ออกจากผลิตภัณฑ์มีน้อย อีกทั้งโครงสร้างทางกายภาพที่เราสามารถมองเห็นได้จะพบว่าเนื้อของผลิตภัณฑ์นั้นมีความแข็งไม่มากนักหากเปรียบเทียบกับเงื่อนไขอื่น



ภาพที่ 10 อัตราการคืนตัวของกุ้งหลังจากที่ผ่านกระบวนการอบแห้งในแต่ละเงื่อนไข

อภิปรายผล

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและความชื้นนั้นสามารถอภิปรายได้ว่าหากความชื้นสัมพัทธ์ต่ำนั้นจะส่งผลทำให้ความชื้นภายในผลิตภัณฑ์เกิดการถ่ายเทมวลของผลิตภัณฑ์จนกระทั่งความชื้นภายในผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งแบบความชื้นต่ำ ซึ่งจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นถ้าพิจารณากระบวนการถ่ายเทความร้อนจากเนื้อวัสดุแล้วพบว่า การระเหยของน้ำออกจากเนื้อผลิตภัณฑ์จะต่ำเพราะความชื้นสัมพัทธ์ต่ำและอุณหภูมิต่ำ และเมื่อเวลาผ่านไปอัตราการอบแห้งจะค่อยๆลดลง จนในที่สุดการเปลี่ยนแปลงของความชื้นลดลงจนถึง 13 (%d.b.) ซึ่งพบว่าเงื่อนไขการอบแห้งแบบความชื้นต่ำที่ความชื้นสัมพัทธ์ 35% จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ 23 ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตามหากเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้งแบบความชื้นต่ำเงื่อนไขที่ใช้ความชื้นสัมพัทธ์ 55% แล้วนั้นจะใช้เวลาในการอบแห้งมากที่สุด เงื่อนไขการอบแห้งแบบอากาศร้อนที่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 60 องศาเซลเซียสนั้นจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ 150 นาที โดยพบว่า



ความชื้นเริ่มต้นของกุ้งอยู่ที่ 230 (%d.b.) ซึ่งหลังจากที่ผ่านกระบวนการอบแห้งไปแล้วนั้นพบว่าความชื้นสุดท้ายของกุ้งจะมีค่า 13 (%d.b.) สำหรับคุณภาพด้านสีของกรอบแห้งกุ้งแบบต่างๆ พบว่าค่าสีของกุ้งที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างกระบวนการอบแห้งนั้นเริ่มมีสีที่เข้มขึ้น หากสังเกตจากวิธีการที่ใช้อบแห้งนั้นพบว่ากระบวนการอบแห้งแบบอากาศร้อนสีของกุ้งนั้นจะเข้มมากเป็นผลมาจากความร้อนที่สัมผัสกับผิวกุ้งมีค่าสูง ค่าความแข็งตัวจะพบว่ากรอบแห้งกุ้งแบบอากาศร้อนที่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 60 องศาเซลเซียสจะมีความแข็งมากที่สุดหากเปรียบเทียบกับเงื่อนไขการอบแห้งแบบความชื้นสัมพัทธ์ต่ำนั้น เพราะว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งสูงจึงทำให้เนื้อสัมผัสมีความแข็ง ค่าวอเตอร์แอกทีวิตีตามมาตรฐานนั้นจะอยู่ในช่วง 0.5-0.6 ตามหลักเกณฑ์สำหรับการอบแห้งแบบอากาศร้อนที่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 60 องศาเซลเซียสนั้น จะพบว่ามียุทธการหดตัวมากกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากการอบแห้งในตู้อบแห้งแบบอากาศร้อนนั้นมีอุณหภูมิสูง ทำให้อุณหภูมิของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์มีค่ามาก

สรุป

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการอบแห้งกุ้งแบบ 2 วิธีการ คือ การอบแห้งด้วยความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเพื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้งแบบอากาศร้อน ซึ่งผลพบว่า

1. สีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งของทั้ง 2 วิธีการนั้นมีความแตกต่างกัน เพราะปริมาณที่เราใช้ในการอบแห้งแตกต่างกัน โดยที่การอบแห้งแบบอากาศร้อนสีของผลิตภัณฑ์จะมีค่ามากกว่าการอบแห้งแบบความชื้นสัมพัทธ์ เพราะว่าอุณหภูมิที่สูง
2. การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งแบบความชื้นต่ำนั้นเป็นไปตามหลักการทำงานของเครื่อง MCU เครื่องนั้นจะทำงานไปในขณะที่ความชื้นและอุณหภูมิเป็นไปตามค่าที่กำหนดไว้
3. ปริมาณความชื้นของการอบแห้งแต่ละวิธีการค่อนข้างลดลงไปเรื่อยๆ โดยที่การอบแห้งแบบอากาศร้อนจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่น้อยที่สุด เพราะว่ากรอบแห้งแบบอากาศร้อนนั้นใช้อุณหภูมิที่สูง
4. ความแข็งตัวของกรอบแห้ง 2 วิธีการพบว่ากรอบแห้งแบบอากาศร้อนเนื้อสัมผัสของกุ้งจะแข็งกว่าเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่ทำให้เกร็ดบดตลอดการอบแห้ง
5. water activity เป็นไปตามมาตรฐานสากลของกรอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารทะเล คืออยู่ในช่วง 0.5-0.6
6. กุ้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบอากาศร้อนจะมีการหดตัวมากกว่ากุ้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบความชื้นต่ำ เพราะว่าอุณหภูมิที่ทำให้ตลอดกระบวนการนั้นสูง

จากการศึกษากระบวนการอบแห้งของทั้ง 2 วิธีการนั้นข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป กล่าวคือ เช่น คุณภาพด้านสีนั้น หากเป็นการอบแห้งแบบความชื้นสัมพัทธ์นั้นสีจะยังคงสดใหม่ไม่คล้ำมาก ความแข็งตัวน้อย การหดตัวน้อย หากเปรียบเทียบกับกรอบแห้งแบบอากาศร้อน แต่การอบแห้งแบบอากาศร้อนนั้นจะประหยัดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้มากกว่าการอบแห้งแบบความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

ข้อเสนอแนะ

1. การเลือกขนาดของกุ้งจะต้องเลือกขนาดที่ใกล้เคียงกันเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาของผลกระทบที่ส่งผลต่อกระบวนการอบแห้ง
2. การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งแบบความชื้นต่ำเป็นไปได้อย่างเพราะขนาดของห้องมีขนาดใหญ่จึงจำเป็นต้องใช้เวลานานกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุล ดังนั้นหากต้องการให้ระบบเข้าสู่สมดุลได้เร็วกว่าที่ควรมีการเพิ่มจำนวนของเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์



รายการอ้างอิง (References)

- Anusara, N., Yutthana, T. & Supawan, T. (2012) Drying Kinetics of Pandanus Leaf by Infrared Radiation Combine Hot Air and Hot Air. *Burapha Science Journal*, 17, 130-138.
- Chen, H.E. & Peng, H.Y. (1995). Changes of carotenoids, color and vitamin A contents during processing of carrot juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 1912-1918.
- Chungcharoen T., Prachayawarakorn S., Tungtrakul P. & Soponronnarit S., (2015). Effects of germination time and drying temperature on drying characteristics and quality of germinationpaddy. *Food and Bioproducts Processing*, 94, 707-716.
- Janjai, S., Lamler, N., Intawee, P., Mahayothee, B., Bala, B.K., Nagle, M. & Muller, L. (2009). Solar drying of peeled longan using a side loading type solar tunnel dryer: Experimental and simulated performance. *Drying Technology*, 27, 595-605.
- Kasikorn research center. (2017). *Trends, Opportunities and Strategies for Businesses under Global Fisheries Law with Thailand 4.0*. (in Thai)
- Moungthong, G., Klamkam, P., Mahakit, P., Chalermwatanachai, T., Sudaluk, T. & Monyakul, V. (2014). *Efficacy of the Precise Climate Controller on the reduction of indoor microorganism*. Asia Pacific Allergy.
- Nagaya, K., Li, Y., Jin, Z., Fukumuro, M., Ando, Y. & Akaishi, A. (2006). Low-temperature desiccant based food drying system with airflow and temperature control. *Journal of Food Engineering*, 75, 74-77.
- Nathakaranakule A., Jaiboon P. & Soponronnarit S. (2010). Far-infrared radiation assisted Drying of longan fruit. *Journal of Food Engineering*, 100, 662-668.
- Office of Commercial Affairs, Royal Thai Embassy WTC The Hague. (2014). *Thai seafood and Thai seafood market in European market*.
- Rodpraphat, W., Jaekham, S., Vinitnanthakit, K. & Nunchai, W. (2010). *Seafood drying using superheated steam Energy Technology*. Faculty of Science and Technology Rajamangala University of Technology Tawan-ok. (in Thai)
- Scott, W. J. (1957). Water relations of food spoilage microorganisms. *Advances in Food Research*, 7, 83-127
- Smith, K.L. & Guentzel, J.L. (2010). Mercury concentrations and omega-3 fatty acids in fish and shrimp: preferential consumption for maximum health benefits. *Marine Pollution Bulletin*, 60(9), 1615-1618.
- Sookchaiya, T., Monyakul, V. & Thepa, S. (2010). Assessment of the thermal environment effects on human comfort and health for the development of novel air Conditioning system in tropical regions. *Energy and Buildings*, 42, 1692-1702.
- Thai Frozen Foods Association. (2016). *Thailand Seafood Industry Overview*. Bangkok: Thai Frozen Foods Association.
- Tirawanichakul, S., Naphatthalung, W., & Tirawanichakul, Y. (2008). Drying strategy of shrimp using hot air convection and hybrid infrared radiation/hot air convection. *Walailak Journal of Science and Technology*, 5, 77-100.