



ผลของวิธีการลดความชื้นต่อคุณภาพน้ำผึ้งดอกลำไย

Effect of Dehydration Method on Quality of Longan Honey

วรลักษณ์ สุริวงษ์, สมเกียรติ จตุรงค์ล้ำเลิศ, พิรุฬห์รัชชย์ ไทยสมัค และ สกาวเดือน แก้วดำ

Voraluck Suriwong, Somkiat Jaturonglumert, Phirunrat Thaisamak and Sakawduan Kaewdam

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

Division of Food Engineering, Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University

Received : 26 October 2020

Revised : 25 December 2020

Accepted : 29 December 2020

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการลดความชื้นที่มีต่อสมบัติทางกายภาพ และเคมีของน้ำผึ้งดอกลำไย รวมถึงศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายปรากฏการณ์การลดความชื้นในน้ำผึ้งดอกลำไย ผลการศึกษาพบว่า เมื่อทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นน้ำผึ้งดอกลำไยได้ในร้อยละ 33.33 – 42.31 ในขณะที่เมื่อนำน้ำผึ้งดอกลำไยไปลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลมร้อนจะสามารถลดความชื้นได้ร้อยละ 7.69 – 17.95 ด้วยเวลา 6 ชั่วโมงหรือ 360 นาที ซึ่งมากกว่าการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดถึง 36 เท่า ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำผึ้งหลังการลดความชื้น พบว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นด้วยเครื่องอบระบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด โดยให้ค่า L^* , a^* และ b^* และค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ไม่แตกต่างจากน้ำผึ้งก่อนลดความชื้น ($p < 0.05$) อีกทั้งเป็นการปรับสัดส่วนกลูโคสต่อน้ำตาลในน้ำผึ้งเริ่มต้นให้เหมาะสมต่อการนำไปผลิตครีมน้ำผึ้งดอกลำไย ได้ และเมื่อใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์อธิบายปรากฏการณ์การลดความชื้นที่ 40 องศาเซลเซียส พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Newton's model และ Page's model สามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์การลดความชื้นน้ำผึ้งดอกลำไยได้ทั้งแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและแบบอบลมร้อน แต่ทั้งนี้สภาวะการลดความชื้นในน้ำผึ้งแต่ละชนิดย่อมแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำผึ้งเป็นหลัก

คำสำคัญ : น้ำผึ้งดอกลำไย ; การลดความชื้น ; เครื่องอบแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด ; เครื่องอบแบบลมร้อน



Abstract

This research aimed to study the effect of moisture dehydration on physicochemical properties of longan honey and try to explain the dehydration mechanism of longan honey by mathematical model. The results showed that the dehydration with vacuum - infrared drying at temperatures of 30, 40, 50 and 60°C removed the moisture content in by 33.33 – 42.31%. On the other hand, moisture content of honey was removed by 7.69 - 17.95% using the hot air drying with drying time up to 6 hours, more than dehydration with a vacuum - infrared drying up to 36 times. At 40°C, 20 mins dehydration with vacuum – infrared drying provided color (L^* , a^* , b^*) and water activity (a_w) not significantly different from honey sample before moisture dehydration ($p < 0.05$) and could adjust glucose/water ratio in raw material preparation for creamed honey production. The R^2 values indicates the Newton's and Page's models fit reasonably well with the experimental data, so it was to be a good model for describing the moisture reduction in longan honey with both method at 40°C. However, the conditions of dehydration in each type of honey differ, it depends on the physical and chemical properties of honey.

Keywords : longan honey ; dehydration ; vacuum-infrared drying ; hot air drying

บทนำ

น้ำผึ้ง (Honey) คือ ผลผลิตของน้ำหวานจากดอกไม้และจากแหล่งอื่น ๆ ที่ผึ้งงานนำมาเก็บสะสมไว้ ซึ่งปกติแล้วน้ำผึ้งจะมีกลิ่น รส สี ที่ต่างกันไปตามชนิดของพืชนั้น ๆ จึงทำให้สามารถระบุชนิดของน้ำผึ้งตามชนิดของพืชนั้น ๆ ได้ เช่น ดอก ลำไย ดอกทานตะวัน ก็จะแตกต่างกันออกไป ซึ่งนิยมนำมาใช้เป็นสารให้ความหวานในอาหารหรือเครื่องดื่ม น้ำผึ้งมีส่วนผสมของน้ำตาลและสารประกอบอื่น ๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นฟรุกโทสกับกลูโคส รวมทั้งวิตามินและแร่ธาตุผสมอยู่ด้วย (Singh & Singh, 2018) สำหรับสารประกอบอื่น ๆ ที่มีอยู่ในปริมาณเพียงน้อยนิดนั้นจะเป็นสารที่ทำหน้าที่ช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระเป็นหลัก ทำให้น้ำผึ้งถูกนำมาเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหารมากมายทั้งในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และเครื่องสำอาง นอกจากนี้ น้ำผึ้งที่ได้รับความนิยมบริโภคและทำรายได้ให้กับประเทศไทยมากที่สุด คือ น้ำผึ้งดอกลำไย โดยมีกำลังการผลิตมากถึง 10,000 ตันต่อปี และมีการเลี้ยงผึ้งมากที่สุดในภาคเหนือ สัดส่วนร้อยละ 89.38 ของปริมาณการเลี้ยงผึ้งทั้งหมด โดยจังหวัดที่มีการเลี้ยงมากที่สุด คือ จังหวัดเชียงใหม่ แต่ทั้งนี้พบว่าผู้ผลิตน้ำผึ้งยังต้องแบกรับต้นทุนการผลิตไว้สูง เมื่อเทียบกับราคาขายที่จำหน่ายได้ นอกจากนี้ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยังไม่มั่นใจในการซื้อน้ำผึ้งเพื่อบริโภคด้วยเหตุผลเรื่องของการปลอมปนของน้ำผึ้ง โดยทั่วไปการนำน้ำผึ้งมาบริโภคโดยตรงนั้น จะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ น้ำผึ้งเหลวที่มีความหนืดสูง และน้ำผึ้งที่มีลักษณะเป็นผลึก เรียกว่า ผลึกน้ำผึ้ง เนื่องจากน้ำผึ้งเป็นสารละลายที่อึดตัวไปด้วยกลูโคสและฟรุกโทส และผลึกที่เห็นในน้ำผึ้งจะเป็นผลึกของกลูโคสโมโนไฮเดรต ซึ่งมีความสามารถในการละลายต่ำกว่าน้ำตาลชนิดอื่นที่มีอยู่ในน้ำผึ้งจึงสามารถเกิดเป็นผลึกได้ก่อนน้ำตาลชนิดอื่น ดังนั้น เมื่ออัตราส่วนของน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำ (Glucose/Water ratio, G/W ratio) อัตราส่วนของฟรุกโทสต่อกลูโคส (Fructose/Glucose ratio, F/G ratio) สมบัติการดูดความชื้น ความหนืดของน้ำผึ้งเปลี่ยนแปลง และทำให้น้ำผึ้งดังกล่าวมีความเข้มข้นสูงซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณกลูโคสที่มีในน้ำผึ้งอยู่ในระดับของสารละลายอิ่มตัวพอดีจึงเกิดการตกผลึกขึ้นได้ โดยการตกผลึกของน้ำผึ้งนี้ไม่ได้หมายความว่าน้ำผึ้งเกิดการเสื่อมคุณภาพ เพียงแต่เปลี่ยนสภาพและลักษณะที่ปรากฏเท่านั้น (Assil *et al.*, 1991) ผลิตภัณฑ์จากน้ำผึ้งที่กำลังเป็นที่นิยมและยังขาดข้อมูลด้านการศึกษาวิจัยเป็นอย่างมาก คือ ครีมน้ำผึ้งพร้อมรับประทาน แต่การพัฒนาครีมน้ำผึ้งให้มีเนื้อสัมผัสที่ดียังเป็นไปได้อย่างยาก และบ่อยครั้งที่ผู้ประกอบการพยายามที่จะผลิตครีมน้ำผึ้งจากกระบวนการตกผลึกในรูปแบบต่าง ๆ แต่พบว่า เนื้อสัมผัสที่ได้เป็นเนื้อทราย มีผลึกน้ำผึ้งเป็นเกร็ด เกิดการแยกชั้นในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการให้ได้เนื้อครีมที่ดีนั้นมีหลากหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นสมบัติเริ่มต้นของน้ำผึ้ง อุณหภูมิในการตกผลึก อัตราการเกิดผลึก รวมถึงผลึกตั้งต้นที่เติมผสม โดยเฉพาะสมบัติเริ่มต้นของน้ำผึ้งที่ไม่เอื้อต่อการตกผลึกหรือทำให้เกิดการตกผลึกเป็นครีมน้ำผึ้งได้ยาก (Suriwong *et al.*, 2020) ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงเล็งเห็นแนวทางการผลิตครีมน้ำผึ้งจากน้ำผึ้งดอกลำไยเพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งดอกลำไย แต่เนื่องจากน้ำผึ้งดอกลำไยเป็นน้ำผึ้งที่จัดอยู่ในกลุ่มที่มีแนวโน้มในการตกผลึกช้าหรือไม่เกิดการตกผลึก แม้จะเก็บไว้ในที่เย็นเป็นระยะเวลาอันยาวนาน เนื่องจากมีปริมาณความชื้นสูงและกลูโคสต่ำ หรือมีปริมาณสัดส่วนกลูโคสต่อน้ำต่ำกว่า 1.70 (Bhandari *et al.*, 1999; White Jr, 1975; Conforti *et al.*, 2006) ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาหาแนวทางการลดปริมาณน้ำหรือความชื้นในน้ำผึ้งดอกลำไย เพื่อเร่งให้เกิดการตกผลึกได้ไวขึ้นและเพื่อพัฒนาต่อเป็นผลิตภัณฑ์ครีมน้ำผึ้งดอกลำไยต่อไปในอนาคต ซึ่งจะได้มีการศึกษาผลของการลดความชื้นต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำผึ้ง รวมถึงศึกษาการอธิบายปรากฏการณ์การลด

ความชื้นในน้ำผึ้งดอกกล้วยไม้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งสามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ในการออกแบบกระบวนการผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อเพิ่มมูลค่าต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างน้ำผึ้ง

น้ำผึ้งดอกกล้วยไม้ที่เก็บในช่วงเดือนสิงหาคม – ตุลาคม 2562 จากสุภาพาร์มผึ้ง อำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่ มีสีน้ำตาลคล้ายกับสีของน้ำผึ้งดอกกล้วยไม้จำหน่ายในท้องตลาดจึงถูกเลือกนำมาใช้เป็นตัวอย่างทดลองในงานวิจัยนี้ ซึ่งน้ำหนักและแบ่งบรรจุในขวดแก้วประมาณ 30 กรัม อย่างละ 3 ขวดต่อทรีทเมนท์ (ดังภาพที่ 1) ทำการลดความชื้นเปรียบเทียบด้วย 2 วิธีการ คือ แบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดที่ความดัน 5 กิโลปาสกาล (เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด มหาวิทยาลัยแม่โจ้) และแบบอบลมร้อน (ตู้อบลมร้อนยี่ห้อ Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส นำมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีตัวอย่างน้ำผึ้งทั้งก่อนและหลังทำการลดความชื้น

2. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมี

วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส โดยใช้เครื่องแยกของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ตามวิธี Official method 977.20 (AOAC, 2000)

วิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่อง a_w meter ยี่ห้อ Aqua Lab, series 3TE และวิเคราะห์หาค่าความชื้นด้วยวิธีการ Refractive index method (Bogdanov, 2009) โดยวัดค่า Refractive index ด้วยเครื่อง Digital Abbe refractometer (KRUSS, Germany)

วิเคราะห์หาค่าสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Hunter Lab, Mini Scan XE Plus) โดยตรวจสอบค่าสีด้วยระบบ CIE และวิเคราะห์ค่าสีเป็น L^* , a^* และ b^* พร้อมคำนวณหาค่า h° และ C^*

3. การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมของการลดความชื้น

วัดค่าความชื้นน้ำผึ้งที่เปลี่ยนไปตามเวลาการลดความชื้นจนกระทั่งค่าความชื้นคงที่หรือน้ำผึ้งเปลี่ยนสภาพไปจนไม่สามารถวัดค่าความชื้นได้ วัดออกมาเป็นค่าร้อยละฐานเปียก แล้วคำนวณค่าเป็นสัดส่วนความชื้น (Moisture Ratio, MR) ดังสมการที่ (1)

$$MR = \frac{M - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \quad (1)$$

เมื่อ M คือ ปริมาณความชื้นที่เวลาใดๆของน้ำผึ้ง (g_{water} / g_{solid}), M_{eq} คือ ปริมาณความชื้นสมดุลหรือคงที่ (Equilibrium moisture content), M_{in} คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น โดยในการทดลองกำหนดให้ M_{eq} มีค่าเมื่อความชื้นเข้าสู่จุดสมดุลหรือเมื่อน้ำผึ้งเปลี่ยนสภาพจนไม่สามารถวัดค่าความชื้นได้



ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความชื้นของน้ำผึ้งดอกกล้วยกับเวลาในการลดความชื้น ถูกนำมาใช้เปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายได้จากสมการทางคณิตศาสตร์การอบแห้งของ Newton's model, Page's model และ Modified Page's model (Basri *et al.*, 2012; Kaewdam *et al.*, 2013) ดังแสดงดังสมการที่ (2) - (4)

$$\text{Newton's model:} \quad MR = \exp(-kt) \quad (2)$$

$$\text{Page's model:} \quad MR = \exp(-kt^n) \quad (3)$$

$$\text{Modified Page's model} \quad MR = \exp((-kt)^n) \quad (4)$$

โดยนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear regression analysis) เพื่อเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด โดยให้ค่าการวิเคราะห์สมการถดถอย (R^2) สูงที่สุด และ Root Means Square Error (RMSE) และ Chi-square (χ^2) ต่ำที่สุด

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design แสดงข้อมูลการทดลองเป็นค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean \pm S.D.) จากการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS 17 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่าความแปรปรวนสมการถดถอย (R^2) ใช้คำนวณเพื่อประเมินความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการอธิบายการลดความชื้นในน้ำผึ้ง

ผลการวิจัย

1. คุณภาพทางกายภาพและเคมีของน้ำผึ้งดอกกล้วย

เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าตัวอย่างน้ำผึ้งดอกกล้วยมีสีน้ำตาลเข้ม มีความใส ไม่ขุ่น ไม่มีผลึกตกตะกอนในขวด เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำผึ้งดอกกล้วย แสดงผลดังตารางที่ 1 พบว่า น้ำผึ้งดอกกล้วยมีค่าความชื้นร้อยละ 19.50 ค่าปริมาณของแข็งคือร้อยละ 78.68 และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.562 ± 0.009 เมื่อพิจารณาค่าปริมาณน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในน้ำผึ้งดอกกล้วย พบว่า น้ำผึ้งดอกกล้วยมีปริมาณฟรุกโตสสูงกว่ากลูโคส โดยมีปริมาณฟรุกโตสร้อยละ 41.56 ส่วนปริมาณกลูโคสมีร้อยละ 33.31 โดยทั่วไปน้ำผึ้งจะเกิดการตกผลึกเนื่องจากมีปริมาณกลูโคสที่มากพอจนถึงจุดอิ่มตัว (Saturated solution of glucose) หรือความชื้นในน้ำผึ้งมีน้อย ในขณะที่น้ำผึ้งดอกกล้วยมีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสมากกว่ากลูโคสถึง 1.25 เท่า (Fructose per Glucose ratio, F/G ratio) และมีค่าอัตราส่วนกลูโคสต่อความชื้น (Glucose per Water ratio, G/W ratio) เท่ากับ 1.70 ± 0.001 จากงานวิจัยเกี่ยวกับน้ำผึ้งระบุว่า ถ้าน้ำผึ้งมีค่า F/G มากกว่า 1.14 (Bhandari *et al.*, 1999; Suriwong *et al.*, 2020; White, 1975) หรือมี G/W ratio น้อยกว่า 1.70 จัดเป็นน้ำผึ้งที่มีแนวโน้มการตกผลึกได้ยากหรือไม่เกิดการตกผลึก จึงทำให้น้ำผึ้งดอกกล้วยจัดเป็นน้ำผึ้งประเภทที่มีแนวโน้มที่จะไม่เกิดการตกผลึกหรือเกิดการตกผลึกได้ยาก



ในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งหากจะนำไปพัฒนาต่อเป็นครีมน้ำผึ้งจากการตกผลึกแบบควบคุม จำเป็นจะต้องปรับองค์ประกอบทางชีวเคมีให้น้ำผึ้งดอกกล้วยสามารถเกิดการตกผลึกได้ง่ายหรือเร็วขึ้น

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางชีวเคมีของน้ำผึ้งดอกกล้วย

คุณสมบัติ	ค่าที่วัดได้
ความชื้น (ร้อยละ)	19.50 ± 0.05
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	78.68 ± 0.05
ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w)	0.56 ± 0.01
กลูโคส (ร้อยละ)	33.31 ± 1.03
ฟรุกโตส (ร้อยละ)	41.56 ± 2.14
สัดส่วนฟรุกโตสต่อกลูโคส (F/G ratio)	1.25 ± 0.02
สัดส่วนกลูโคสต่อน้ำ (G/W ratio)	1.70 ± 0.01
L*	3.376 ± 0.152
a*	0.566 ± 0.235
b*	0.893 ± 0.405
Hue angle (h°)	125.229 ± 18.993
Chroma (C*)	1.099 ± 0.295

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.)

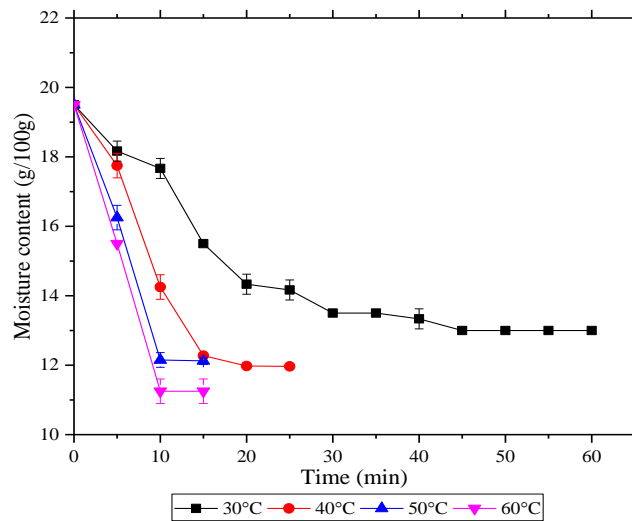
ผลการวิเคราะห์ค่าสี จะเห็นได้ว่า ค่า L* หรือค่าความสว่าง (brightness) ของน้ำผึ้งดอกกล้วยจากสุภาพาร์มผึ้งมีค่าเท่ากับ 3.376±0.152 ค่า a* เข้าใกล้สีแดง มีค่าเท่ากับ 0.566 ± 0.235 และค่า b* มีค่าเข้าใกล้สีเหลืองเท่ากับ 0.893 ± 0.405 ทำให้น้ำผึ้งดอกกล้วยมีลักษณะสีน้ำตาลแดงค่อนข้างดำเมื่อทำการคำนวณหาค่า h° และ C* แล้วพบว่าค่า h° (hue angle) เท่ากับ 125.229 ± 18.993 ซึ่งอยู่ในตำแหน่งระหว่าง 90° – 180° ให้ค่าสีอยู่ระหว่างสีเหลืองถึงสีเขียว และค่า C*(Chroma) เท่ากับ 1.099 ± 0.295 ที่เกิดจากความมันวาวของน้ำผึ้ง ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะภายนอกของน้ำมันดอกกล้วยก่อนทำการลดความชื้น

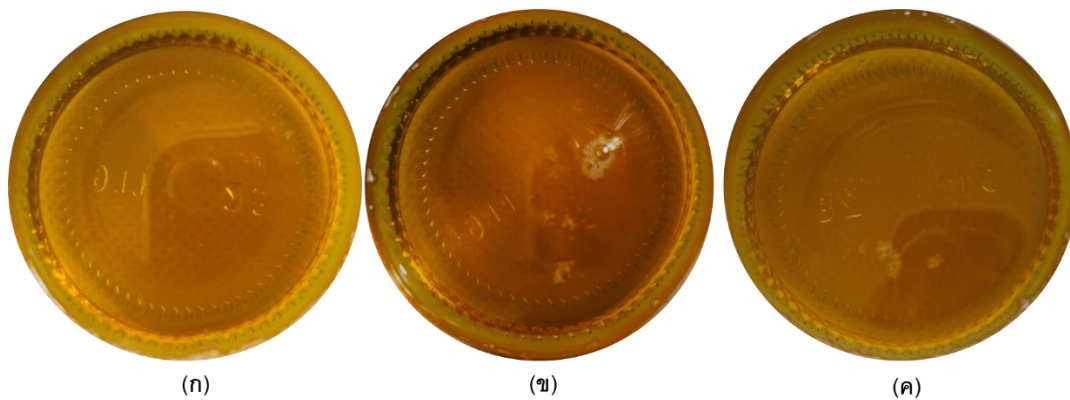
2. ผลการศึกษาจุลพลศาสตร์การลดความชื้นของน้ำมัน

จากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการลดความชื้นน้ำมันดอกกล้วยด้วยเครื่องอบแบบสูญญากาศร่วมกับอินฟราเรดที่ความดัน 5 กิโลปาสคาล จะสามารถลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ได้เพียง 10 – 15 นาทีเท่านั้น เนื่องจากผิวหน้าของน้ำมันมีความแห้งและเหนียวจนไม่สามารถวัดค่าความชื้นต่อได้ พบว่า ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที ค่าความชื้นลดลงจากเริ่มต้นเฉลี่ยร้อยละ 19.50 ± 0.25 เหลือเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 11.75 ± 0.35 และ 12.15 ± 0.21 และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นที่เวลา 20 นาที เหลือเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 12.00 ± 0.00 ในขณะที่เมื่อทำการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นในน้ำมันจะมีลักษณะค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องและใช้ระยะเวลานานถึง 60 นาที น้ำมันจึงปรากฏผิวหน้าแห้งและมีค่าความชื้นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 13.00 ± 0.24



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของน้ำมันดอกกล้วยด้วยเครื่องอบแบบสูญญากาศร่วมกับอินฟราเรด อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 5 กิโลปาสคาล

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นในน้ำผึ้งเมื่อผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด ที่ความดัน 5 กิโลปาสคาล พบว่า เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิการลดความชื้นในช่วงแรกที่เป็นช่วงของการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial adjustment period) น้ำในน้ำผึ้งยังมีอยู่มาก จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับน้ำผึ้ง ค่าความชื้น ในช่วงนี้จะมีค่าลดลง ต่อมาเป็นช่วงอัตราการลดความชื้นคงที่ (Constant rate period) ช่วงนี้น้ำในน้ำผึ้งจะมีการระเหยออกอย่างรวดเร็วภายในเวลาอันสั้น คือ 10 - 20 นาที จนกระทั่งผิวหน้าน้ำผึ้งเริ่มแห้ง จะเข้าสู่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง หรือ เติบโตกราฟความชื้นเริ่มคงที่หรือเข้าสู่สมดุล ซึ่งในการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ในช่วงนี้น้ำผึ้งเริ่ม มีลักษณะแห้ง และสีคล้ำ ในขณะที่เมื่อทำการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ยังคงสภาพคล้ายน้ำผึ้งก่อนลด ความชื้นแต่พบว่า ค่าความชื้นไม่สามารถลดลงได้อีก แม้จะเพิ่มระยะเวลาการลดความชื้นนานถึง 60 นาที



ภาพที่ 3 ลักษณะน้ำผึ้งดอกลำไย (ก) ก่อนทำการลดความชื้น (ข) ลดความชื้นแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด 40°C เวลา 20 นาที (ค) ลดความชื้นแบบอบลมร้อน 40°C เวลา 360 นาที

เมื่อพิจารณาจากค่าความชื้น ค่าสี และ ค่าปริมาณน้ำอิสระของเปรียบเทียบก่อนลดความชื้นและสิ้นสุดการลด ความชื้นของแต่ละอุณหภูมิ (ตารางที่ 2) พบว่า ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 60 นาที มีปริมาณน้ำอิสระ (0.514 ± 0.002) ไม่แตกต่างจากน้ำผึ้งก่อนลดความชื้น แต่แตกต่างกับการลดความชื้นที่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ($p < 0.05$) โดยมีค่า ลดลงเท่ากับ 0.372 ± 0.003 , 0.380 ± 0.004 และ 0.352 ± 0.002 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการลดความชื้น ให้สูงขึ้นที่ 50 และ 60 องศาเซลเซียส จะทำให้น้ำผึ้งมีสีคล้ำหรือมีค่าความสว่าง (L^*) ลดลงและแตกต่างกับก่อนลดความชื้น ($p < 0.05$) เท่ากับ 1.51 ± 0.32 และ 1.33 ± 0.03 ตามลำดับ เช่นเดียวกับการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสที่ทำให้น้ำผึ้งมีสีคล้ำมากขึ้นเช่นกัน โดยมีค่า L^* เท่ากับ 1.87 ± 0.16 เนื่องจากการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำเวลานานจะส่งผลให้น้ำผึ้ง มีสีคล้ำมากขึ้นได้ ในขณะที่การลดความชื้นที่ 40 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที มีค่า L^* ไม่แตกต่างกับน้ำผึ้งก่อนลดความชื้น ($p > 0.05$) มีค่าเท่ากับ 2.85 ± 0.14



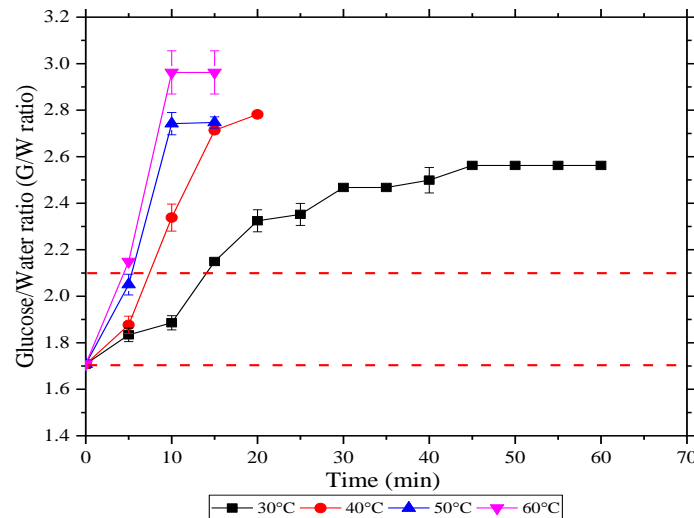
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำผึ้งเปรียบเทียบก่อนและหลังสิ้นสุดการลดความชื้น แบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดที่ความดัน 5 กิโลปาสคาล และแบบอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส

ระบบการลดความชื้น	อุณหภูมิ (°C)	ค่าสี			ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a _w)
		L*	a*	b*	
Control		3.56±0.17 ^c	0.71±0.84 ^b	-0.77±0.39 ^c	0.562±0.009 ^c
Vacuum Infrared Dehydration	30°C, 60 นาที	1.87±0.16 ^b	-0.79±0.82 ^a	0.69±0.87 ^d	0.514±0.002 ^c
	40°C, 20 นาที	2.85±0.14 ^c	-0.31±0.27 ^a	-1.14±0.47 ^c	0.372±0.003 ^b
	50°C, 10 นาที	1.51±0.32 ^a	-0.56±0.22 ^a	-3.45±0.56 ^b	0.380±0.004 ^b
	60°C, 10 นาที	1.33±0.03 ^a	-0.40±0.28 ^a	-7.21±0.07 ^a	0.352±0.002 ^a
Hot Air Oven	30°C, 360 นาที	3.47±0.05 ^c	1.17±0.62 ^b	1.57±0.35 ^a	0.365±0.001 ^d
	40°C, 360 นาที	3.04±0.02 ^a	1.21±0.72 ^b	1.46±0.23 ^a	0.352±0.001 ^b
	50°C, 360 นาที	3.17±0.09 ^{ab}	1.18±0.40 ^b	0.44±0.23 ^b	0.348±0.001 ^a
	60°C, 360 นาที	3.27±0.21 ^b	0.78±0.51 ^b	1.23±0.61 ^a	0.351±0.002 ^b

หมายเหตุ :- ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.) ตัวเลขในแนวตั้งที่มีตัวอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05)

- Control หมายถึง ตัวอย่างน้ำผึ้งดอกกล้วยที่ไม่ผ่านการลดความชื้น

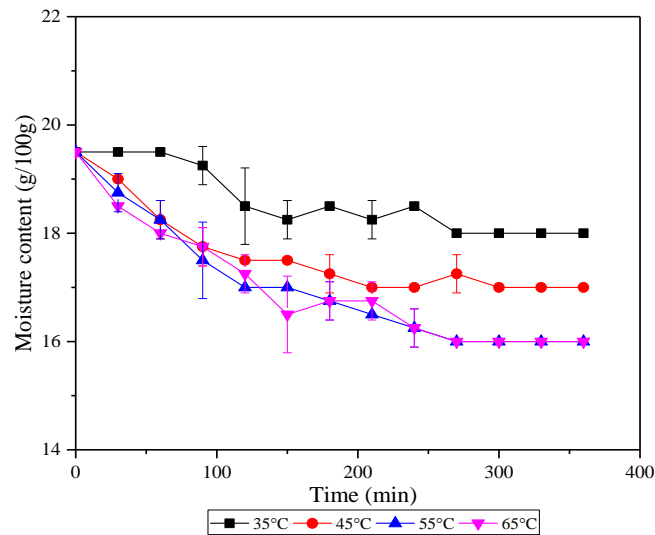
นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่า แม้ทำการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส จะทำให้ความชื้นลดลงได้มากในเวลาอันสั้นที่ 10 นาที แต่เมื่อทำการลดความชื้นต่อไปจนค่าความชื้นคงที่พบว่า น้ำผึ้งได้เกิดการเสียสภาพ คือ น้ำผึ้งมีลักษณะแห้ง เหนียวข้นและลักษณะภายนอกเป็นสีน้ำตาลคล้ำ ซึ่งไม่เหมาะต่อการนำไปพัฒนาเป็นครีมน้ำผึ้งดอกกล้วยต่อได้



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำ (G/W ratio) กับเวลา ด้วยเครื่องอบแบบสูญญากาศร่วมกับอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส

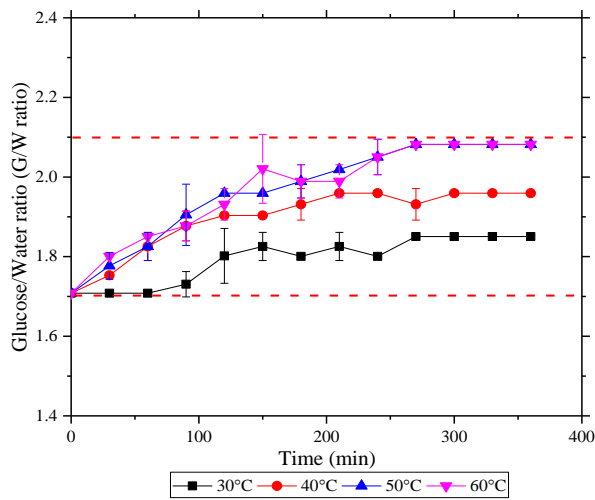
เมื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำ (Glucose/Water ratio, G/W ratio) กับเวลาการลดความชื้น (ภาพที่ 4) พบว่า ค่า G/W ratio มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.708 ± 0.007 หรืออยู่ในช่วงการตกผลึกได้ยาก เมื่อความชื้นลดลง ทำให้ค่า G/W ratio เพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่า 2.10 ที่ทำให้น้ำผึ้งมีแนวโน้มที่จะเกิดการตกผลึกขึ้นได้ (เส้นประสีแดง) โดยพบว่า เมื่อทำการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่า G/W ratio จะเพิ่มขึ้นถึงจุดที่เหมาะสมที่เวลา 30 นาที ในขณะที่เมื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส จะทำให้น้ำผึ้งมีค่า G/W ratio เพิ่มถึงจุดที่เหมาะสมต่อการตกผลึกได้ที่เวลา 10, 10 และ 5 นาที ตามลำดับ

ต่อมาได้ศึกษาเปรียบเทียบการลดความชื้นน้ำผึ้งดอกลำไยด้วยเครื่องอบแบบลมร้อนที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน (ภาพที่ 5) พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นเป็นไปอย่างช้า ๆ และต่อเนื่องเมื่อเวลาการลดความชื้นเพิ่มขึ้น ค่าความชื้นลดลงจากเริ่มต้น (19.50 ± 0.00) เหลือเท่ากับร้อยละ 18.00 ± 0.01 , 17.00 ± 0.00 , 16.00 ± 0.01 และ 16.00 ± 0.01 ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส นาน 360 นาที ตามลำดับ (ภาพที่ 2) จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบลมร้อนจะลดความชื้นน้ำผึ้งลงได้มากที่สุด ร้อยละ 3.50 ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส แต่ทั้งนี้พบว่า ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) และค่า a_w ภายหลังจากการลดความชื้นที่ทุกสภาวะอุณหภูมิแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบกับน้ำผึ้งดอกลำไยก่อนทำการลดความชื้น (ตารางที่ 2)



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของน้ำผึ้งดอกกล้วยไม้ด้วยเครื่องอบแบบลมร้อน อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส

และเมื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง G/W ratio ที่เปลี่ยนไปตามเวลาที่ทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลมร้อน จะให้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังแสดงภาพที่ 6 ผลการสร้างความสัมพันธ์พบว่า เมื่อทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลมร้อน จะทำให้ค่า G/W ratio เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นไปอย่างช้า ๆ และแม้จะทำการลดความชื้นด้วยระยะเวลาที่นานถึง 360 นาที ก็ยังไม่สามารถทำให้สัดส่วน G/W ratio เพิ่มขึ้นถึงระดับ 2.10 (เส้นประสีแดง) ที่จะทำให้น้ำผึ้งมีสมบัติที่จะเกิดการตกผลึกได้อย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาในระยะเวลาที่นานขึ้นได้ (White, 1974) หรือมีสมบัติที่ไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งตั้งต้นในการผลิตครีมน้ำผึ้งดอกกล้วยไม้ในอนาคตได้



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำ (G/W ratio) กับเวลา ด้วยเครื่องอบแบบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส

เมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการลดความชื้นระหว่างการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด และเครื่องอบแบบลมร้อน (ตารางที่ 3) จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด ความดัน 5 กิโลปาสคาล ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส จะสามารถลดความชื้นน้ำผึ้งดอกกล้วยได้ในสัดส่วน ร้อยละ 33.33 – 42.31 ในขณะที่เมื่อนำน้ำผึ้งดอกกล้วยไปผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลมร้อนจะสามารถลดความชื้นลงได้เพียงร้อยละ 7.69 – 17.95 รวมถึงต้องใช้เวลาในการลดความชื้นนานถึง 6 ชั่วโมงหรือ 360 นาที ซึ่งมากกว่า การลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดถึง 36 เท่า

ตารางที่ 3 ค่าความชื้น (ร้อยละ) เปรียบเทียบที่แต่ละระดับอุณหภูมิระหว่างการลดความชื้นแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด (Vacuum Infrared Dehydration) และแบบลมร้อน (Hot Air Oven)

ระบบการลดความชื้น	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าความชื้น (ร้อยละ)		ร้อยละความชื้นที่ลดได้
			ก่อน	หลัง	
Vacuum Infrared Dehydration	30	60	19.50±0.00	13.00±0.00	33.33±0.02
	40	15	19.50±0.00	11.96±0.02	38.64±0.02
	50	10	19.50±0.00	12.13±0.11	37.79±0.02
	60	10	19.50±0.00	11.25±0.35	42.31±0.02
Hot Air Oven	30	360	19.50±0.00	18.00±0.00	7.69±0.02
	40	360	19.50±0.00	17.00±0.01	12.82±0.02
	50	360	19.50±0.00	16.00±0.00	17.95±0.02
	60	360	19.50±0.00	16.00±0.00	17.95±0.02

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± S.D.)



และเมื่อพิจารณาจากค่าสัดส่วน G/W ratio ในน้ำผึ้งดอกกล้วยเปรียบเทียบกับระหว่างการลดความชื้นแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดที่ความดัน 5 กิโลปาสคาลและแบบอบลมร้อน พบว่า ที่การลดความชื้นแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดความดัน 5 กิโลปาสคาล ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที จะทำให้ได้ค่า G/W ratio ในน้ำผึ้งมากกว่า 2.10 ซึ่งจะทำให้ น้ำผึ้งปรับสภาพทำให้เกิดการตกผลึกได้เร็วขึ้น ในขณะที่เมื่อลดความชื้นแบบอบลมร้อนทุกอุณหภูมิเป็นเวลา 6 ชั่วโมงหรือ 360 นาที ไม่สามารถทำให้ค่า G/W ratio เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าค่าการตกผลึกได้ ผู้วิจัยจึงเห็นว่า เพื่อสามารถอธิบายปรากฏการณ์การลดความชื้นในน้ำผึ้ง ทางผู้วิจัยจึงได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบกระบวนการผลิตครีมน้ำผึ้งต่อไปได้

3. แบบจำลองการลดความชื้นของน้ำผึ้งดอกกล้วย

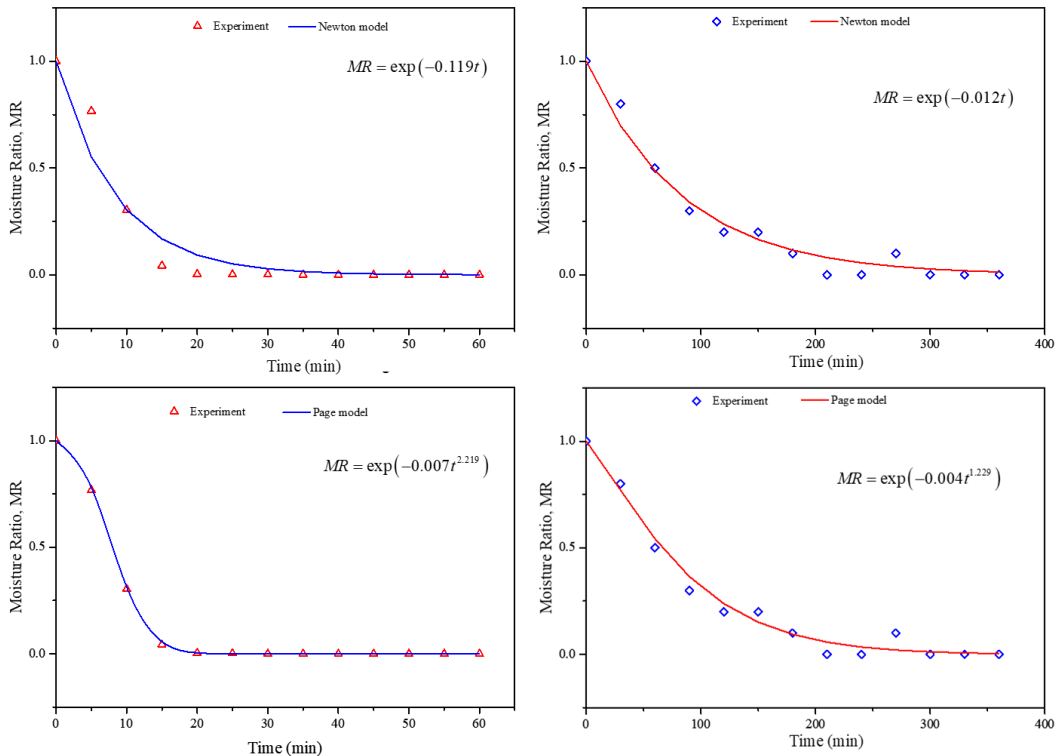
เมื่อพิจารณาจากแนวโน้มการลดลงของความชื้นในน้ำผึ้งดอกกล้วยที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ 40 องศาเซลเซียส (เปรียบเทียบระหว่างแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดที่ความดัน 5 กิโลปาสคาล และแบบอบลมร้อน) จึงได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 3 แบบจำลอง ได้แก่ Newton, Page และ Modified Page model มาเปรียบเทียบค่าที่ทำนายกับค่าที่ได้จากการทดลอง จะได้พารามิเตอร์ (k และ n) ดังแสดงตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าคงที่ของสมการการลดความชื้นของน้ำผึ้งดอกกล้วยที่ได้จากแบบจำลอง Newton's, Page's และ Modified Page's model เปรียบเทียบระหว่างการลดความชื้นแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและแบบอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

Dehydration method	Model	Equation	k	n	R ²	RMSE	χ ²
Vacuum	Newton	$\exp(-0.119t)$	0.119	-	0.945	0.005674	3.40×10^{-5}
	Infrared	$\exp(-0.007t^{2.219})$	0.007	2.219	1.000	0.000035	0.0000
Dehydration	Modified Page	$\exp(-0.024t)$	0.024	1.0	0.455	0.173533	0.0010
Hot Air Oven	Newton	$\exp(-0.012t)$	0.012	-	0.977	0.002279	1.30×10^{-5}
	Page	$\exp(-0.004t^{1.229})$	0.004	1.229	0.985	0.001669	1.00×10^{-5}
	Modified Page	$\exp(-0.01t)$	0.010	1.0	0.825	0.004705	2.80×10^{-5}

ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Newton's model มีค่า R² สูงสุด เท่ากับ 1.000 และ 0.985 เมื่อทำการลดความชื้นแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและแบบอบลมร้อน ตามลำดับ และมีค่า R² เท่ากับ 0.945 และ 0.977 เมื่อทำนายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Page's model ในขณะที่แบบจำลองของ Modified Page ให้ค่า R² ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.455 และ 0.825 (ภาพที่ 7)

ดังนั้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Newton's และ Page's model มีความเหมาะสมในการอธิบายปรากฏการณ์การลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อลดความชื้นด้วยเครื่องสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและเครื่องอบลมร้อน ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ทำนายลักษณะการลดความชื้นของน้ำผึ้งดอกกล้วย และเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการในอนาคตได้



ก) ลดความชื้นแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด

ข) ลดความชื้นแบบอบลมร้อน

ภาพที่ 7 ผลของการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Newton's model และ Page's model ในการลดความชื้น

(ก) แบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด (ข) แบบอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำผึ้งดอกกล้วย พบว่า ค่าปริมาณของแข็งในน้ำผึ้งจะแปรผกผันกับความชื้น แต่ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) จะแปรผันตามปริมาณความชื้น โดยเมื่อน้ำผึ้งมีปริมาณความชื้นมาก ค่า a_w จะมากตามไปด้วย ซึ่งค่าที่ได้มีความสอดคล้องกับค่า a_w ของน้ำผึ้งดอกกล้วยที่ตรวจวัดได้ในรายงานของ Hempattarasuwan *et al.* (2019) ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.59 – 0.63 เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นว่า น้ำผึ้งดอกกล้วยมีสีน้ำตาลค่อนข้างเข้ม เมื่อพิจารณาค่า L^* หรือค่าความสว่าง (brightness) มีค่าเท่ากับ 3.376 ± 0.152 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำผึ้งดอกทานตะวันจากจังหวัดลพบุรีในงานวิจัยของ Prissawong (2005) น้ำผึ้งดอกทานตะวันจะมีสีเหลืองค่อนข้างอ่อนไปทางสีเหลืองทอง มีค่า L^* ที่มากกว่า (4.17

± 0.02) นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า ค่า a^* และ b^* มีค่าเป็นบวก แสดงว่า น้ำผึ้งมีสีออกแดงและเหลือง จึงสอดคล้องกับงานวิจัยที่เคยศึกษามา ที่ให้ค่า a^* และ b^* เป็นค่าบวกเช่นกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 7.11 – 10.08 และ 4.87 – 5.11 ตามลำดับ (Hempattarasuwan *et al.*; 2019, Prissawong, 2005) รวมถึงเมื่อดูจากลักษณะภายนอกพบว่า น้ำผึ้งดอกลำไยจากจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลพบุรี มีลักษณะสีน้ำตาลแดงค่อนข้างมาทางสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับน้ำผึ้งดอกลำไยจากสุภาพาร์มผึ้งที่ทำการศึกษานี้

นอกจากนี้โดยทั่วไปน้ำตาลที่พบในน้ำผึ้งมาก คือ กลูโคสและฟรุกโตส และอาจพบมอลโตส หรือซูโครสได้เพียงเล็กน้อย โดยองค์การอาหารและยาในประเทศไทยได้กำหนดไว้ว่า น้ำผึ้งแท้ควรมีซูโครสเจือปนอยู่ไม่เกินร้อยละ 5 และมาตรฐานฟาร์มโดยทั่วไปกำหนดไม่เกินร้อยละ 1.0 – 1.5 (Ministry of Public Health, 2000) ซึ่งจากผลวิเคราะห์ปริมาณกลูโคสและฟรุกโตสในน้ำผึ้งดอกลำไย พบว่า น้ำผึ้งดอกลำไยมีปริมาณฟรุกโตสสูงกว่ากลูโคส โดยมีปริมาณฟรุกโตสร้อยละ 41.56 ส่วนปริมาณกลูโคสมีร้อยละ 33.31 ทั้งนี้ปริมาณน้ำตาลอาจมีความแตกต่างกันไปแม้จะเป็นน้ำผึ้งชนิดเดียวกัน แต่เก็บเกี่ยวในช่วงฤดูกาลที่ต่างกัน หรือเป็นสายพันธุ์ดอกไม้ที่ต่างกัน ดังจะเห็นได้จากรายงานของ Hempattarasuwan *et al.* (2019) ที่พบว่า น้ำผึ้งดอกลำไยจากสุภาพาร์มผึ้ง จังหวัดเชียงใหม่กับน้ำผึ้งดอกลำไยที่เก็บเกี่ยวโดยตรงจากอำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน มีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสและกลูโคสอยู่ในช่วงร้อยละ 21.13 – 22.56 และร้อยละ 30.26 – 31.24 ตามลำดับ ซึ่งต่างจากค่าที่วิเคราะห์ได้ในรายงานวิจัยนี้ แต่ไม่ว่าจะเป็นค่าความชื้น ปริมาณฟรุกโตสและปริมาณกลูโคสที่มีในน้ำผึ้ง ทุกปัจจัยล้วนส่งผลต่อการตกผลึกในน้ำผึ้งได้ในลักษณะที่แตกต่างกัน

น้ำผึ้งที่มีปริมาณกลูโคสมากจะเกิดการตกผลึกได้เร็ว เนื่องจากกลูโคสมีความสามารถในการละลายต่ำกว่าฟรุกโตส (Zamora & Chirife, 2006) และผลึกที่เกิดขึ้นคือผลึกของกลูโคสบริสุทธิ์ (Escobedo *et al.* 2006) จากรายงานการวิจัยในต่างประเทศพบว่า มีหลายปัจจัยที่เป็นสาเหตุให้น้ำผึ้งเกิดการตกผลึก เช่น เมื่อมีอัตราส่วนฟรุกโตสต่อกลูโคส (F/G ratio) น้อยกว่า 1.14 และมีอัตราส่วนกลูโคสต่อความชื้น (G/W ratio) มากกว่าหรือเท่ากับ 2.10 (White Jr., 1974) จากผลวิเคราะห์ที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 พบว่า น้ำผึ้งดอกลำไยมีอัตราส่วน F/G และมีอัตราส่วน G/W มีค่าเท่ากับ 1.25 ± 0.02 และ 1.70 ± 0.01 ตามลำดับ จึงทำให้น้ำผึ้งดอกลำไยจัดเป็นน้ำผึ้งที่มีโอกาสการตกผลึกได้ยากหรือไม่เกิดการตกผลึกในระหว่างการเก็บรักษาได้ทางผู้วิจัยจึงเลือกที่จะทำการศึกษานาแนวทางการลดความชื้นน้ำผึ้งดอกลำไยด้วยเครื่องอบแห้งแบบสูญญากาศร่วมกับอินฟราเรดที่ความดัน 5 กิโลปาสคาล เปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียสเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ครีมน้ำผึ้งต่อไป

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นของน้ำผึ้งดอกลำไยด้วยเครื่องอบแบบสูญญากาศร่วมกับอินฟราเรดที่ความดัน 5 กิโลปาสคาล พบมีการลดลงในช่วงการปรับสถานะเบื้องต้น และต่อมาจะลดลงอย่างรวดเร็วในระยะเวลา 10 – 20 นาที คือเป็นช่วงอัตราการลดความชื้นคงที่ ลักษณะดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shu Khang Yap *et al.* (2019) ที่ทำการศึกษาลดความชื้นในน้ำผึ้ง Kelulut ที่อุณหภูมิ 40, 55 และ 70 องศาเซลเซียส โดยค่าความชื้นในน้ำผึ้งจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จนกระทั่งค่าความชื้นลดลงถึงค่าวิกฤติ คือ มีค่าเท่ากับร้อยละ 18 หรือภายหลังทำการลดความชื้นลง 12 ชั่วโมง กราฟความสัมพันธ์จะค่อนข้างลดลงอย่างคงที่และเป็นไปในอัตราที่ช้าลง นั่นเกิดจากผลของกลไกของ

การดึงน้ำออกจากรากน้ำผึ้งในช่วงแรกที่มีผิวหน้าของน้ำผึ้งยังมีความชื้นสูง หรือพื้นผิวยังชื้นมากอยู่ ทำให้น้ำที่ถูกดึงออกในช่วงแรกเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อถึงจุดค่าความชื้นวิกฤติ (Critical moisture content) การดึงความชื้นออกจากตัวน้ำผึ้งจะเป็นไปได้ค่อนข้างยาก ทำให้อัตราการลดความชื้นเป็นไปอย่างช้า ๆ ในช่วงต่อมา แต่ทั้งนี้พบว่า เมื่อทำการลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส นั้น น้ำผึ้งจะมีความชื้นเหนียวและผิวหน้าค่อนข้างแห้ง ให้ลักษณะภายนอกเป็นสีน้ำตาลคล้ำ ซึ่งไม่สามารถนำไปพัฒนาเป็นครีมน้ำผึ้งต่อไปได้ ทางผู้วิจัยจึงเห็นว่า ที่การลดความชื้นด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 5 กิโลปาสคาล นาน 20 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นน้ำผึ้งดอกกล้วยด้วยเครื่องอบแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด เนื่องจากสามารถลดความชื้นได้มากที่สุดและให้ค่าสีใกล้เคียงกับน้ำผึ้งก่อนการลดความชื้น (ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, $p>0.05$) และเมื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง GW ratio กับเวลา พบว่า เมื่อทำการลดความชื้นน้ำผึ้งดอกกล้วยด้วยเครื่องอบระบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดที่แต่ละอุณหภูมิ ในเวลาที่นานขึ้น สัดส่วน GW จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีค่ามากกว่า 2.10 เมื่อทำการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้น้ำผึ้งเปลี่ยนสมบัติมีลักษณะเกิดการตกผลึกได้ (White, 1974) รวมถึงจัดเป็นสมบัติที่ดีสำหรับใช้เป็นผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งตั้งต้นในการนำไปผลิตครีมน้ำผึ้งได้ในอนาคตได้ (Suriwong *et al.*, 2020)

แต่ทั้งนี้ ลักษณะการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบลมร้อน กลับให้ผลที่แตกต่างกับการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด โดยน้ำในน้ำผึ้งจะค่อย ๆ ระเหยออกในทุกสภาวะอุณหภูมิ จึงทำให้ใช้เวลามากกว่าการลดความชื้นด้วยเครื่องลดความชื้นแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด คือ 6 ชั่วโมง ผลเกิดจากการที่ความชื้นไม่สามารถลดลงถึงค่าวิกฤติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Shu Khang Yap *et al.* (2019) ที่ทำการศึกษาผลของการลดความชื้นในน้ำผึ้ง Kelulut ที่อุณหภูมิ 55 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง พบว่า ค่าความชื้นยังสามารถลดลงได้อีก หรือเมื่อเพิ่มเวลานานถึง 84 ชั่วโมง ยังสามารถดึงน้ำออกจากรากน้ำผึ้งได้อีก ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายลักษณะการลดความชื้นของน้ำผึ้งดอกกล้วยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ทั้งแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด และแบบอบลมร้อน ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้ง 3 แบบ คือ Newton's, Page's และ Modified Page's model ผลจากการพิจารณาค่า R^2 ที่สูงและค่า RMSE และ χ^2 ที่ต่ำที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaewdam *et al.* (2013) จึงสามารถนำแบบจำลองของ Newton's และ Page's มาประยุกต์ใช้เพื่ออธิบายปรากฏการณ์การลดความชื้นของน้ำผึ้งดอกกล้วย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการน้ำผึ้งเพื่อนำไปพัฒนาต่อยอดในเตรียมวัตถุดิบน้ำผึ้งในการผลิตผลิตภัณฑ์ครีมน้ำผึ้งดอกกล้วยในอนาคตได้

สรุปผลการวิจัย

เมื่อทำการลดความชื้นน้ำผึ้งดอกกล้วยแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดัน 5 กิโลปาสคาล นาน 20 นาที ผลการศึกษาพบว่า เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นน้ำผึ้งดอกกล้วยโดยให้ค่าสี (L^* , a^* , b^*) และค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ไม่แตกต่างจากน้ำผึ้งก่อนนำมาลดความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และจะสามารถปรับสัดส่วนน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำ (GW ratio) ได้มากขึ้นจาก 1.70 เป็น 2.34 ซึ่งจะส่งผลให้น้ำผึ้งดอกกล้วยเกิดการตกผลึกได้เร็วขึ้นและมีสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตครีมน้ำผึ้งต่อไปได้ ทั้งนี้การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์



ของ Newton's และ Page's model ยังสามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์การลดความชื้นน้ำผึ้งดอกลำไย เมื่อต้องการลดความชื้นทั้งแบบสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด และแบบอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการอุตสาหกรรมน้ำผึ้งต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนรัฐบาลกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ทุนพัฒนาบุคลากรภาครัฐ) ประจำปี 2559 ภายใต้สังกัดคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่สนับสนุนทุนวิจัยตลอดการศึกษา และ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เชื้อเพื่อสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Assil, H. I., Sterling, R. & Sporns, P. (1991). Crystal control in processed liquid honey. *Journal of Food Science*, 56(4), 1034-1034.
- Basri, D., Fudholi, A. & Ruslan, M. H. (2012). Drying characteristics of the borneo *Canarium odontophyllum* (dabai) fruit. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 7, 347-356.
- Bhandari, B., D'Arcy, B. & Kelly, C. (1999). Rheology and crystallization kinetics of honey: Present status. *International Journal of Food Properties*, 2(3), 217-226.
- Bogdanov, S. (2009). *Harmonised methods of the International Honey Commission*. Bee Product Science, International Honey Commission. Retrieved Jan 9, 2018, from <http://www.bee-hexagon.net/en/network.htm>.
- Conforti, P. A., Lupano, C. E., Malacalza, N. H., Arias, V. & Castells, C. B. (2006). Crystallization of Honey at -20°C. *International Journal of Food Properties*, 9(1), 99-107.
- Hempattarasuwan, P., Settachaimongkon, S. & Duangmal, K. (2019). Impact of botanical source and processing conditions on physicochemical properties and antioxidant activity of honey in the northern part of Thailand. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(12), 3185-3195.



- Ministry of Public Health. (2000). *Honey*. Notification of the Ministry of Public Health (No. 211) B.E. 2543 (2000). Retrieved Dec 5, 2017, from http://food.fda.moph.go.th/law/data/announ_moph/V.English/No.211-43%20Honey.pdf
- Kaewdam, S., Nitatwichit, C., Varith, J. & Jaturonglumert, S. (2013). Mathematical model of freeze drying on mango. *Journal of Agricultural Research and Extension*, 30(3, Suppl.), 56-67.
- Prissawong, S. (2005). Effect of Biochemical Composition on the Crystallization in Honey. Retrieved Nov 19, 2018, from https://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/2389/9/275795_ab.pdf
- Singh, I. & Singh, S. (2018). Honey moisture reduction and its quality. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 1-11.
- Shu Khang Yap, Nyuk Ling Chin, Yus Aniza Yusof and Yeen Chong. (2019). Quality characteristics of dehydrated raw Kelulut honey. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 556–571.
- Suriwong, V., Jaturonglumert, S., Varith, J., Narkprasom, K. & Nitatwichit, C. (2020). Crystallisation behaviour of sunflower and longan honey with glucose addition by absorbance measurement. *International Food Research Journal*, 27(4), 727-734.
- White Jr., J.W. (1974). Beekeeping: honey and honey products. In Johnson, A.H.; Peterson, M.S. (Eds.), *Encyclomedia of food technology*. (pp. 103-108). The Avi Publishing Company: Westport, Connecticut.
- White Jr., J. W. (1975). Physical characteristics of honey. In E. Crane (Ed), *Honey: A Comprehensive Survey*. (pp. 207-239). Heinemann, London.