

ผลของชนิดสารประสานและระยะเวลาการให้ความร้อนต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปจากใบตองกล้วยตานีดกเกรด

EFFECT OF BINDER TYPE AND HEATING TIME TO QUALITY OF CONTAINER FROM UNGRADED *MUSA BALBISIANA* COLLA LEAVES

วรลักษณ์ สุริวงษ์, สุรินทร์พร แสงงาม, พัชรภรณ์ อินริราย*

*Voraluck Suriwong, Surintraporn Swaeng-Ngam, Patcharaporn Inrirai**

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

Program in Food Engineering, Faculty of Agricultural and Food Technology, Pibulsongkram Rajabhat University.

*Corresponding author, e-mail: patcharaporn.in@psru.ac.th

Received: 6 December 2023; **Revised:** 20 March 2024; **Accepted:** 4 April 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารประสานที่ใช้และระยะเวลาในการให้ความร้อนในกระบวนการผลิตภาชนะขึ้นรูปจากใบตองตกรเกรด การเตรียมสารประสานโดยการนำแป้งสาลีมาผสมกับแป้ง 3 ชนิด คือ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร ในอัตราส่วน 3:1 ก่อนนำไปใช้ทาใบตองแห้ง และทำการขึ้นรูปภาชนะจากใบตองลักษณะถ้วยกลม ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร และมีความลึกของถ้วยเท่ากับ 4 เซนติเมตร ด้วยการอัดขึ้นรูปที่สภาวะอุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการให้ความร้อนแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 2 นาที, 2.5 นาที และ 3 นาที ผลการศึกษาค่าสีของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองหลังกระบวนการขึ้นรูปพบว่า ภาชนะขึ้นรูปที่ได้มีเจดสีเขียว-เหลือง โดยเป็นผลเนื่องมาจากการเตรียมวัตถุดิบก่อนขึ้นรูป รวมทั้งค่าความหนาและความหนาแน่นของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองไม่มีผลเนื่องมาจากสารประสานและระยะเวลาในการให้ความร้อน โดยมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกสภาวะการทดลอง ทั้งนี้มีผลต่อสมบัติเชิงกลและค่าร้อยละการดูดน้ำของภาชนะขึ้นรูป โดยภาชนะขึ้นรูปที่ใช้สารประสานสูตร C1 ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 2 นาที เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อรับแรงได้มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับการใช้สารประสานสูตร C2 และ C3 นอกจากนั้นการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้นเป็น 3 นาที ทำให้ภาชนะขึ้นรูปที่ได้สามารถแตกหักได้ง่ายจึงทำให้ค่าร้อยละการดูดน้ำมีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ทั้งนี้ภาชนะขึ้นรูปด้วยสารประสานสูตร C2 และ C3 ที่ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 2 นาที เป็นสภาวะในการขึ้นรูปที่เหมาะสม ซึ่งทำให้มีความต้านทานต่อแรงดึงที่ดีและค่าความเครียด ณ จุดที่มีแรงเค้นสูงสุดที่ต่ำ โดยภาชนะขึ้นรูปที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบรรจุและเป็นการยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปจากใบตองกล้วยตานีดกเกรด

คำสำคัญ: กล้วยตานี; การยกระดับ; ใบตอง; สารประสาน

Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of the binder and heating time on the production of containers made from ungraded banana leaves. Before applying it to dried banana leaves, prepare a binder by combining wheat flour with three varieties of starch: tapioca starch, corn starch, and modified tapioca starch in a 3:1 ratio. It was formed at a temperature of 165°C with three different heating times: 2 minutes, 2.5 minutes, and 3 minutes to form containers from banana leaves in the shape of round bowl with a diameter of 14 cm and a depth of 4 cm. The results of the investigation into the color properties of banana leaf containers following the molding procedure revealed that the molded containers showed hues of green-yellow. The variation in hue depends on the unprocessed materials prior to the molding process. Additionally, the binder and heating duration did not have any impact on the thickness and density measurements of containers made from banana leaves. There was not significantly difference ($p < 0.05$) seen in the data across all testing conditions. Further, this condition has an impact on the mechanical properties and water absorption of the formed container. The containers produced with the C1 binder at a heating time of 2 minutes showed a substantially higher percentage of shape deformation upon applying force ($p > 0.05$) compared to the containers made with the C2 and C3 binder formulations. Moreover, the extension of the heating time to 3 minutes resulted in a significant decrease in the elasticity of the container, becoming it less resistant to breakage. Consequently, this led to a substantial increase in the percentage of water absorption ($p < 0.05$). In this case, the utilization of containers made from binder formulae C2 and C3, accompanied by a heating time of 2 minutes, seems to be suitable for the molding process. This material shows good tensile strength properties and demonstrates low tensile strain at maximum tensile stress. The molded container that is obtained may be utilized for packaging purposes and enhances the quality of products produced from low-grade Tane banana leaves.

Keywords: *Musa balbisiana* Colla; Enhancement; Banana Leaves; Binder

บทนำ

กล้วยตานีถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้กับชุมชนได้เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตต่ำ และวัตถุดิบหลักของการปลูกกล้วยตานี คือ เพื่อผลิตใบตองสำหรับการจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ซึ่งแต่เดิมใบตองจากกล้วยถูกใช้ในการห่อหรือรองอาหารได้หลายรูปแบบ เนื่องจากปลอดภัยจากสารปนเปื้อนและสารพิษ โดยประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกที่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เท่ากับ 18,408 ไร่ ในพื้นที่ 11 จังหวัด ซึ่งสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตใบตองได้เท่ากับ 27,458,450 กิโลกรัม ที่มีราคาขายเฉลี่ยตกต่อกิโลกรัมละ 9 บาท ซึ่งตลาดสำหรับใบตองมีทั้งในประเทศและต่างประเทศ สำหรับตลาดภายในประเทศส่วนใหญ่ ได้แก่ ตลาดจังหวัดเชียงใหม่ ปากคลองตลาด และตลาดไท เป็นต้น [1] สำหรับแหล่งผลิตใบตองที่สำคัญของประเทศไทย คือ พื้นที่ตำบลคลองกระเจง อำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดสุโขทัย โดยวิสาหกิจชุมชนใบตองคลองกระเจง ก่อตั้งเมื่อปี พ.ศ. 2561 ที่ตั้ง 17/1 หมู่ที่ 1 ตำบลคลองกระเจง มีพื้นที่เพาะปลูกกล้วยตานีทั้งหมด 354 ไร่ (200-250 ต้น/ไร่) มียอดจำหน่ายประมาณ 1,400 ใบ/ไร่/เดือน วิธีการเก็บเกี่ยวใบตองทำได้โดยการใช้ไม้สอยที่มีใบมีดหรือตะขอตัดใบที่ถัดจากยอดโดยจะตัดจำนวน 1-2 ใบ/ต้น จากนั้นเกษตรกรจะทำการแยกเกรดของใบตอง ซึ่งใบตองที่สามารถจำหน่ายในลักษณะใบสดได้นั้น ใบตองจะต้องมีขนาดใบที่ใหญ่และหนาที่ความกว้าง 10-12 นิ้ว ลักษณะแตกของใบตองได้ไม่เกิน 3 รอย ไม่มีริ้วรอยจุดด่างและปราศจากฝุ่น [1] และใบตองที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ถือว่าเป็นใบตองตกเกรด ซึ่งส่วนใหญ่จะมีลักษณะใบไหม้บางส่วน ทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของตลาดและมีราคาจำหน่ายใบสดที่ต่ำลง รวมถึงใบตองที่ตกเกรดยังนำไปสู่การก่อให้เกิดของเสีย

หรือของเหลือทิ้งทางการเกษตรเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ด้วยเหตุนี้ทางวิสาหกิจชุมชนไບตองคลองกระจงจึงมีแนวทางในการนำไບตองตากเกรดมาใช้ประโยชน์และทำให้มีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น โดยนำไບตองตากเกรดไปผ่านการตากแห้ง แล้วเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปด้วยการพิมพ์ขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงเป็นภาชนะขึ้นรูปจากไບตอง นอกจากนี้ไບตองกล้วยตานีที่มีอายุไပามากจะมีความแข็งแรงสูง จึงมีคุณสมบัติทางบรรจุสูง รวมถึงไပตองกล้วยตานีที่ผ่านกระบวนการตากแห้ง พบว่าจะมีความต้านทานแรงดึงขาดสูงสุด จึงจะเห็นได้ว่าไပตองกล้วยตานีนั้นมีความเหมาะสมที่จะสามารถนำมาพัฒนาเป็นภาชนะขึ้นรูปอย่างหนึ่งได้ นอกจากนี้จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการขึ้นรูปภาชนะบรรจุจากวัตถุดิบธรรมชาติจากวัตถุดิบที่หลากหลายชนิด อาทิ งานวิจัยของ Sutthiyapiwat & Phayoonpun [2] ที่ได้ศึกษาการทำภาชนะขึ้นรูปจากกาบหมาก ซึ่งช่วยลดของเสียที่เกิดขึ้น เนื่องจากเดิมจะพบว่า กาบหมากจะมีจุดดำเกิดขึ้นในช่วงฤดูฝนเนื่องจากความชื้น รวมทั้งกาบหมากหากแห้งสนิทจะมีลักษณะแข็งทนต่อแรงดึงสูง สามารถใช้ในการบรรจุอาหารได้ หรือในงานวิจัยของ Mueangklang et al. [3] ได้ทดลองขึ้นรูปภาชนะจากกาบกล้วยและกาบหมากที่อุณหภูมิขึ้นรูป 140 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 นาที และ 3 นาที ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า กระบวนการขึ้นรูปที่ใช้เป็นการใช้แรงกดอัดและความร้อนในการทำให้อัตุสรธรรมชาติสามารถคงรูปอยู่ตามลักษณะของแม่พิมพ์ได้ รวมทั้งวัสดุที่ใช้ได้แก่ กาบหมาก กาบกล้วยนั้น มีขนาดใหญ่ จึงสามารถใช้วัสดุเพียงชิ้นเดียวในการขึ้นรูปได้ แต่หากเป็นวัสดุที่ไม่ได้มีความหนาแน่นมาก จำเป็นต้องใช้วัสดุธรรมชาติวางมากกว่า 1 ชั้น ก่อนการขึ้นรูปการใช้สารประสานสามารถช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างชั้นได้ ซึ่งจากงานวิจัยของ Wongpoo & Jewpanya [4] ซึ่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอัดขึ้นรูปขึ้นงานจากไပบั่ว คือ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่แรงกด 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยจำนวนไပบั่วที่ใช้ในการขึ้นรูปจำนวน 4 ชั้น และใช้เวลา 5 นาที โดยใช้กาวแบ่งมันสำปะหลัง มีอัตราส่วนเท่ากับ 1:4 (แบ่ง:น้ำ) เป็นสารประสาน และจากงานวิจัยของ On-ai & Sonsaree [5] ที่ศึกษาการขึ้นรูปภาชนะจากไပตองโดยใช้กาวแบ่งมันสำปะหลังเป็นสารประสาน โดยแบ่งถือว่าเป็นวัสดุยึดติดตามธรรมชาติ ที่มีราคาต่ำและปลอดภัยสำหรับการนำมาใช้งานเพื่อบรรจุอาหาร ซึ่งแบ่งจากวัตถุดิบต่างชนิดกันจะมีปริมาณอะไมโลส (Amylose) และอะไมโลเพคติน (Amylopectin) ที่แตกต่างกัน ซึ่งสัดส่วนดังกล่าวส่งผลต่อสมบัติการยึดติด (Adhesive force) ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และความต้านทานน้ำ (Water resistance) [6] รวมถึงงานวิจัยของ Tratnik et al. [7] ซึ่งศึกษาผลของสัดส่วนอะไมโลสและอะไมโลเพคตินต่อคุณสมบัติการยึดเกาะของแป้งอิพอกซีไคซ์ พบว่าอะไมโลเพคตินมีปฏิกิริยาและประสิทธิภาพที่สูงกว่าสำหรับการใช้งานประเภทกาว แต่ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างอะไมโลสกับอะไมโลเพคตินนั้นมีความซับซ้อนต่อสมบัติความเป็นกาว โดยการแปรผันของปริมาณอะไมโลสในแป้งอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติขั้นสุดท้ายเช่นเดียวกัน ทั้งนี้แป้งสาลีเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งมีศักยภาพในอุตสาหกรรมไม้อัด รวมทั้งมีปริมาณการผลิตสูงและต้นทุนที่ต่ำ [9] โดยแป้งสาลีนอกจากประกอบด้วยสัดส่วนแป้งร้อยละ 70 – 75 ยังประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 6.5 – 13.5 [10] ที่สามารถช่วยในการปรับปรุงสมบัติความต้านทานการดูดซึม โดยจากงานวิจัยของ Nadhari et al. [11] การใช้สารประสานจากแป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพดและแป้งสาลี ในการขึ้นรูปไม้อัด กาวแป้งที่ได้มีคุณสมบัติที่สามารถใช้ทดแทนเรซินได้ ซึ่งมีการเพิ่มการปรับปรุงทางเคมีของสารประสานจากธรรมชาติดังกล่าวจะสามารถช่วยให้สารประสานกาวแป้งจากธรรมชาติมีความสามารถในการต้านทานการดูดซึมน้ำมากขึ้นจะสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม้อัดได้ นอกจากนี้งานวิจัยของ Bai et al. [10] ได้ศึกษาการใช้กาวที่มีส่วนผสมของแป้งสาลีที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนหรือกระบวนการทางเคมีเพื่อใช้เป็นสารเชื่อมประสานสำหรับการผลิตไม้อัดพบว่าสามารถพัฒนาคุณสมบัติความต้านทานน้ำของไม้อัดได้ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า สารประสานที่ใช้ในการยึดติดถือว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อความคงทนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เพื่อเป็นการยกระดับผลิตภัณฑ์ชุมชนให้เข้าสู่ระดับสากล และเป็นการนำวัสดุเหลือใช้หรือตกเกรดจากชุมชนมาเพิ่มมูลค่า ความพยายามพัฒนาองค์ความรู้ในกระบวนการขึ้นรูปภาชนะจากวัตถุดิบของชุมชนให้มีคุณภาพที่เหมาะสมและจำหน่ายได้ในเชิงพาณิชย์จึงเป็นเรื่องที่สำคัญ งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของการใช้สารประสานโดยเลือกใช้สารประสานจากแป้งธรรมชาติและระยะเวลาการให้ความร้อนที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปภาชนะ

บรรจุจากใบตองกล้วยตานีซึ่งเป็นวัตถุดิบตกเกรดจากวิสาหกิจชุมชนใบตองคลองกระเจง อำเภอสุวรรณภูมิ จังหวัดสุโขทัย เพื่อให้ได้ภาชนะบรรจุจากใบตองกล้วยตานีที่มีคุณภาพและความคงทนเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์และจัดจำหน่ายในท้องตลาดต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารประสานและระยะเวลาในการให้ความร้อนที่แตกต่างกันในกระบวนการผลิตภาชนะขึ้นรูปจากใบตองตกเกรด ที่จะสามารถช่วยยกระดับคุณภาพทางกายภาพ ทางกล และความต้านทานการดูดซึมน้ำของภาชนะขึ้นรูปจากใบตอง ทำให้ภาชนะขึ้นรูปจากใบตองตกเกรดมีคุณภาพเพิ่มขึ้น และสามารถคงรูปอยู่ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมสารประสาน

สารประสานที่ใช้ในการวิจัยนี้ประกอบด้วยวัตถุดิบแป้งสาลีผสมกับแป้ง 3 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร โดยทำการแบ่งสารประสานออกเป็น 3 ตัวอย่างทดลองคือ

C1 คือ แป้งสาลี: แป้งมันสำปะหลัง

C2 คือ แป้งสาลี: แป้งข้าวโพด

C3 คือ แป้งสาลี: แป้งมันสำปะหลังดัดแปร

สำหรับการเตรียมสารประสาน C1 ที่ใช้ในการศึกษาโดยเตรียมแป้งผสมระหว่างแป้งสาลี: แป้งมันสำปะหลัง ในอัตราส่วนเท่ากับ 3:1 หลังจากนั้นทำการเตรียมน้ำด้วยการเติมน้ำอุณหภูมิห้องลงในแป้งผสมในอัตราส่วนแป้งผสม:น้ำอุณหภูมิห้อง เท่ากับ 2:1 ทำการละลายให้ส่วนผสมเข้ากัน และทำการเติมน้ำอุณหภูมิ >90 องศาเซลเซียส ลงในน้ำแป้งในอัตราส่วน 1:1 อย่างช้า ๆ พร้อมทั้งกวนผสมให้เข้ากันจนมีลักษณะข้นเหนียวจะได้สารประสาน C1 สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัย ทั้งนี้ในการเตรียมสารประสาน C2 และ C3 ให้ใช้แป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลังดัดแปร ในการเตรียมตามลำดับ

2. การเตรียมใบตองแห้ง

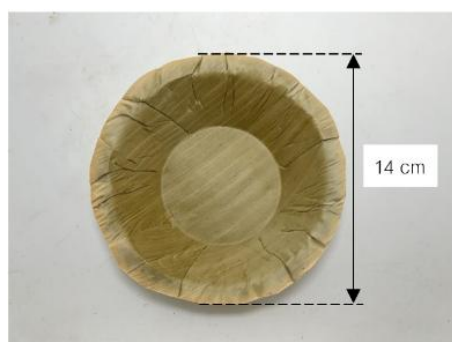
ใบตองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ใบตองกล้วยตานีตกเกรด โดยการนำใบตองสดไปลดความชื้นในโรงอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์หลังจากทำการเก็บเกี่ยวเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงอบแห้งอยู่ในช่วงระหว่าง 50 – 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทำการแบ่งใบตองตากแห้งให้มีขนาดความยาวเท่ากับ 20 – 30 เซนติเมตร และความกว้างมีขนาดตามความกว้างของใบตองที่เก็บเกี่ยว หลังจากนั้นบรรจุลงในถุงพลาสติกก่อนนำไปขึ้นรูป

3. การขึ้นรูปภาชนะจากใบตอง

นำตัวอย่างสารประสานที่เตรียมไว้ทาลงใบตองตากแห้งก่อนนำไปทำการขึ้นรูปภาชนะจากใบตอง โดยใบตองตากแห้งถูกนำมาวางเรียงกันจำนวน 4 ชั้น ซึ่งในแต่ละชั้นจะวางในเส้นใยของใบตองตามแนวนอนมีลักษณะตั้งฉาก จากนั้นทิ้งไว้จนกระทั่งสารประสานแห้ง ซึ่งการอัดขึ้นรูปใช้วิธีการกดอัด (Press forming) ที่สภาวะอุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการให้ความร้อนแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 2 นาที, 2.5 นาที และ 3 นาที ด้วยเครื่องขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติแบบใช้คันโยกซึ่งมีการควบคุมแรงในการกดทับจากน้ำหนักของหัวพิมพ์ด้วยระยะล้อของคันโยกที่ตำแหน่งคงที่ ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยรูปทรงที่ทำการขึ้นรูปคือ ถ้วยกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร และมีความลึกของถ้วยเท่ากับ 4 เซนติเมตร ดังแสดงใน ภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการขึ้นรูปภาชนะจากใบตอง



(a) มุมมองด้านบน



(b) มุมมองด้านข้าง

ภาพที่ 2 เส้นผ่านศูนย์กลางปากภาชนะและความสูงของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองตกรัด

4. การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปจากใบตอง

ในการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ในงานวิจัยได้ทำการศึกษาคูณภาพของภาชนะขึ้นรูปจากใบตอง จำนวน 5 ปัจจัย ได้แก่

- ค่าสี โดยนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขึ้นรูป จำนวน 3 ตัวอย่าง วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี รุ่น Chroma meter CR-400/410 โหมดที่ใช้คือ CIE $L^* a^* b^*$ โดยทำการวัดค่าสีบริเวณด้านใน และด้านนอกของภาชนะขึ้นรูป และคำนวณค่าเจดสี (Hue angle) ดังสมการที่ (1) เพื่อดูค่าเจดสีของภาชนะขึ้นรูปและค่าโครมาของสี (Chroma) บ่งบอกถึงความเข้มของสีใช้เปรียบเทียบความแตกต่างเรื่องความเข้มของสีในเจดเดียวกัน ดังสมการที่ (2)

$$\text{Hue angle } (h) = \tan^{-1}(b/a) \quad (1)$$

$$\text{Chroma} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2)$$

- ความหนาของผลิตภัณฑ์ ทำการวัดความหนาด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier calipers) ยี่ห้อ Moore & wright รุ่น Mc mw110-15i วัดได้ 0 - 150 มิลลิเมตร ค่าความละเอียด 0.02 มิลลิเมตร โดยทำการวัดบริเวณความหนา ด้านข้างของภาชนะขึ้นรูป วัดค่าจำนวน 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

- ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ขึ้นรูป โดยหาปริมาตรของภาชนะขึ้นรูปด้วยการทดแทนปริมาตรเมล็ดงา ทำการชั่งน้ำหนักของภาชนะขึ้นรูปที่จะตรวจสอบปริมาตร นำภาชนะขึ้นรูปใส่ลงในภาชนะที่ทราบปริมาตร และเติม

เมื่อดำเนินการวัดปริมาตรเมล็ดงาที่เต็มลงไปทั้งหมดด้วยกระบอกตวงและคำนวณหาปริมาตรของภาชนะขึ้นรูป ซึ่งความหนาแน่นของภาชนะขึ้นรูป แสดงดังสมการที่ (3)

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (3)$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นของภาชนะขึ้นรูป (กรัมต่อมิลลิลิตร)
 M คือ น้ำหนักของภาชนะขึ้นรูป (กรัม)
 V คือ ปริมาตรของภาชนะขึ้นรูป (มิลลิลิตร)

- การทดสอบแรงดึง (Tensile test) ด้วยเครื่องวัดแรงดึง (Universal testing machine) รุ่น 4411 ยี่ห้อ Instron เพื่อศึกษาพฤติกรรมเชิงกลของภาชนะขึ้นรูปจากใบตอง โดยการทดสอบแรงดึงของวัสดุภายใต้แรงดึงหรือการยืดในแนวนอน ดำเนินการทดสอบโดยการเตรียมขนาดตัวอย่าง 4x1 เซนติเมตร ดังแสดงใน ภาพที่ 3 โดยสภาวะในการทดสอบคือ โหลดเซลล์ 5 กิโลนิวตัน ที่ความเร็ว 100 เมตรต่อวินาที จากผลการทดสอบนำไปวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของภาชนะขึ้นรูปในเทอมของค่าความต้านทานแรงดึงและค่าความเครียด (Tensile strain) ณ จุดที่มีแรงเค้นสูงสุด



ภาพที่ 3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบแรงดึง

- การทดสอบค่าแรงในการเจาะทะลุ (Puncture force) ของภาชนะขึ้นรูปจากใบตอง ด้วยเครื่อง Texture Analyzer CT2 ด้วยหัววัดทรงกระบอกสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร (TA39 Cylinder) ที่ความเร็วในการวัด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที Trigger Load เท่ากับ 2 กรัม และระยะกด (Distance) เท่ากับ 15 มิลลิเมตร

- การทดสอบการซึมผ่านของน้ำ (Water Absorption) ของชิ้นงานอ้างอิงตามมาตรฐาน ABNT NM ISO 535,1999 ซึ่งจะตัดชิ้นงานให้ได้ขนาดกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร จำนวน 5 ชิ้นต่อตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยทำการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างก่อนทดสอบ หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปแช่ในน้ำเป็นระยะเวลา 1 นาที ดังแสดงในภาพที่ 5 และทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังจากแช่น้ำ ทำการคำนวณค่าร้อยละการดูดน้ำตามสมการที่ (4)



ภาพที่ 4 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบการซึมผ่านของน้ำ



ภาพที่ 5 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองตากแดด

$$\%Water\ absorption = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่ M_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนทดสอบ (กรัม)

M_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังทดสอบ (กรัม)

โดยทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ($p \leq 0.05$)

ผลการวิจัย

จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารประสาน โดยสารประสานที่ใช้ในการวิจัยมีจำนวน 3 สูตร ซึ่งนำแป้งสาลีมาผสมกับแป้งแตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และแป้งดัดแปร สารประสานที่เตรียมถูกหาลงใบตองตากแห้งที่วางเรียงกัน จำนวน 4 ชั้น ก่อนนำไปทำการขึ้นรูปภาชนะด้วยการอัดขึ้นรูปในสถานะอุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการให้ความร้อนแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 2 นาที, 2.5 นาที และ 3 นาที ซึ่งลักษณะของภาชนะจากใบตองที่ได้ในแต่ละสภาวะการขึ้นรูปดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าในทุกสภาวะขึ้นรูปของสารประสานทั้ง 3 สูตร สามารถทำให้ภาชนะขึ้นรูปจากใบตองสามารถขึ้นรูปเป็นรูปทรงได้ โดยรูปทรงที่ทำการขึ้นรูป คือ ถ้วยกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร และมีความลึกของถ้วยเท่ากับ 4 เซนติเมตร ซึ่งลักษณะของภาชนะขึ้นรูปที่ได้มีขอบของภาชนะภายในบริเวณก้นและปากถ้วยชัดเจนตามแม่พิมพ์ที่ใช้ รวมทั้งภาชนะที่ได้ไม่มีรอยแตกภายหลังการขึ้นรูป และสีของภาชนะขึ้นรูปที่ได้ในแต่ละสภาวะขึ้นรูปมีสีออกไปทางเขียวเหลือง เช่นเดียวกับสีของใบตองตากแห้ง

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองหลังจากกระบวนการขึ้นรูปที่มีการใช้สูตรสารประสานและระยะเวลาให้ความร้อนต่าง ๆ

Heating time Binder	Sample		
	T ₁ (2 min)	T ₂ (2.5 min)	T ₃ (3 min)
C1			
C2			
C3			

จากการทดสอบค่าความสว่าง (Lightness, L*) ของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองหลังจากกระบวนการขึ้นรูป ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2 จากตัวอย่างหลังจากขึ้นรูปการเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อนใบตองในแม่พิมพ์ สำหรับสูตรสารประสาน C2 และสูตรสารประสาน C3 พบว่า ค่าความสว่างของภาชนะขึ้นรูปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่สำหรับสูตรสารประสาน C1 พบว่า การใช้เวลาในการให้ความร้อนเท่ากับ 3 นาที ทำให้ค่าความสว่างของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองมีค่ามากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับระยะเวลาในการให้ความร้อนเท่ากับ 2 นาที และ 2.5 นาที สำหรับการศึกษาค่าผลของสูตรของสารประสานต่อค่าความสว่างของภาชนะขึ้นรูป พบว่า สูตรของสารประสานที่ใช้ในการขึ้นรูปทั้ง 3 สูตร ทำให้ค่าความสว่างของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกระยะเวลาในการให้ความร้อน

ตารางที่ 2 ค่าความสว่างของภาชนะขึ้นรูปจากไบตองหลังจากกระบวนการขึ้นรูปที่มีการใช้สูตรสารประสานและระยะเวลาให้ความร้อนต่าง ๆ

Heating time Binder	Lightless (L*)		
	T ₁ (2 นาที)	T ₂ (2.5 นาที)	T ₃ (3 นาที)
C1	55.27±3.87 ^{ns_b}	56.62±0.12 ^{ns_b}	61.78±1.45 ^{ns_a}
C2	54.21±3.00 ^{ns_{ns}}	55.60±2.27 ^{ns_{ns}}	55.51±3.30 ^{ns_{ns}}
C3	60.08±2.97 ^{ns_{ns}}	53.87±2.78 ^{ns_{ns}}	54.97±5.09 ^{ns_{ns}}

Note: 1) All values are mean $\pm$ standard deviation (n=3)
 2) Different superscripts in the same column indicates significant difference (p<0.05)
 3) Different subscripts in the same row indicates significant difference (p<0.05)
 4) ns is no significant difference (p>0.05)

จากการทดสอบค่าเฉดสี (Hue angle, h) ของภาชนะขึ้นรูปจากไบตองหลังจากกระบวนการขึ้นรูปดังแสดงใน ตารางที่ 3 จากตัวอย่างหลังจากขึ้นรูปผลของระยะเวลาในการให้ความร้อนภาชนะขึ้นรูปจากไบตอง สำหรับสูตรสารประสาน C1 และสูตรสารประสาน C2 พบว่า ที่เวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 3 นาที ทำให้ค่าเฉดสีของภาชนะขึ้นรูปจากไบตองมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับระยะเวลาในการให้ความร้อนเท่ากับ 2.5 นาที แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับระยะเวลาในการให้ความร้อนเท่ากับ 2 นาที สำหรับผลของสูตรของสารประสาน C3 พบว่า ที่เวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 2 นาที ค่าเฉดสีของภาชนะขึ้นรูปจากไบตองมีค่ามากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับระยะเวลาในการให้ความร้อน 3 นาที ทั้งนี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับที่ระยะเวลา 2.5 นาที สำหรับผลของสูตรของสารประสาน พบว่า ที่ระยะเวลาในการให้ความร้อน 2 นาที และ 3 นาที การใช้สารประสานทั้ง 3 สูตร ค่าเฉดสีของภาชนะขึ้นรูปไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ในขณะที่ระยะเวลาในการให้ความร้อนเท่ากับ 2.5 นาที พบว่า การใช้สูตรสารประสานคือ C2 และ C3 ทำให้ค่าเฉดสีของภาชนะขึ้นรูปจากไบตองมีค่ามากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับการใช้สูตรสารประสาน C1 ทั้งนี้เฉดสีของภาชนะขึ้นรูปจากไบตองมีเฉดสีเหลือง-เขียวในทุกสูตรการทดลองที่มีค่าเฉดสีอยู่ระหว่าง 85.28±3.04 ถึง 85.28±3.04 ซึ่งเป็นเฉดสีของไบตองที่ผ่านการตากแห้ง

ตารางที่ 3 ค่าเฉดสีของภาชนะขึ้นรูปจากไบตองหลังจากกระบวนการขึ้นรูปที่มีการใช้สูตรสารประสานและระยะเวลาให้ความร้อนต่าง ๆ

Heating time Binder	Hue angle (h)		
	T ₁ (2 นาที)	T ₂ (2.5 นาที)	T ₃ (3 นาที)
C1	90.15±2.42 ^{ns_{ab}}	85.28±3.04 ^b	93.41±4.25 ^{ns_a}
C2	90.37±2.54 ^{ns_{ab}}	92.43±0.61 ^a	85.83±3.70 ^{ns_b}
C3	85.28±3.04 ^{ns_a}	91.93±1.83 ^{a_{ab}}	86.86±3.45 ^{ns_b}

Note: 1) All values are mean $\pm$ standard deviation (n=3)
 2) Different superscripts in the same column indicates significant difference (p<0.05)
 3) Different subscripts in the same row indicates significant difference (p<0.05)
 4) ns is no significant difference (p>0.05)

จากการทดสอบค่าโครมา (Chroma, C) ของภาษาเขียนรูปจากใบตองหลังจากกระบวนการขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4 จากตัวอย่างหลังจากขึ้นรูปผลของระยะเวลาในการให้ความร้อนภาษาเขียนรูปจากใบตอง พบว่า ระยะเวลาในการให้ความร้อนไม่มีผลต่อค่าโครมาของภาษาเขียนรูปจากใบตองในการใช้สารประสานทั้ง 3 สูตร โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ตามระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้น สำหรับผลของสูตรของสารประสาน พบว่าที่ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 2 นาที การใช้สูตรสารประสาน C2 ทำให้ค่าโครมาของภาษาเขียนรูปจากใบตองมีค่ามากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับการใช้สูตรสารประสาน C3 แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) กับการใช้สูตรสารประสาน C1 สำหรับที่ระยะเวลาในการให้ความร้อนเท่ากับ 2.5 นาที พบว่า การใช้สูตรสารประสาน C2 ทำให้ค่าโครมาของภาษาเขียนรูปจากใบตองมีค่ามากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับการใช้สูตรสารประสาน C3 เช่นเดียวกัน รวมทั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับการใช้สูตรสารประสาน C1 ในขณะที่ระยะเวลาในการให้ความร้อนเท่ากับ 3 นาที พบว่า ค่าโครมาของภาษาเขียนรูปจากใบตองไม่มีผลเนื่องมาจากสูตรสารประสาน โดยมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4 ค่าโครมาของภาษาเขียนรูปจากใบตองหลังจากกระบวนการขึ้นรูปที่มีการใช้สูตรสารประสานและระยะเวลาให้ความร้อนต่าง ๆ

Heating time Binder	Chroma (C)		
	T ₁ (2 นาที)	T ₂ (2.5 นาที)	T ₃ (3 นาที)
C1	20.68±2.04 ^{ab} _{ns}	19.08±0.66 ^c _{ns}	18.56±0.75 ^{ns} _{ns}
C2	24.59±3.67 ^a _{ns}	22.26±0.33 ^a _{ns}	20.10±2.73 ^{ns} _{ns}
C3	18.88±1.90 ^b _{ns}	20.86±0.42 ^b _{ns}	20.98±0.79 ^{ns} _{ns}

Note: 1) All values are mean $\pm$ standard deviation (n=3)

2) Different superscripts in the same column indicates significant difference ($p<0.05$)

3) Different subscripts in the same row indicates significant difference ($p<0.05$)

4) ns is no significant difference ($p>0.05$)

จากการทดสอบค่าความหนา (Thickness) ของภาษาเขียนรูปจากใบตองหลังจากกระบวนการขึ้นดังแสดงใน ตารางที่ 5 จากตัวอย่างหลังจากขึ้นรูป พบว่า สูตรสารประสานที่ใช้และระยะเวลาในการให้ความร้อนไม่มีผลต่อความหนาของภาษาเขียนรูปจากใบตอง โดยค่าความหนาของของภาษาเขียนรูปจากใบตองที่สภาวะการขึ้นรูปต่างๆ หลังจากกระบวนการขึ้นรูป ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 5 ค่าความหนาของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองหลังจากกระบวนการขึ้นรูปที่มีการใช้สูตรสารประสานและระยะเวลาให้ความร้อนต่าง ๆ

Heating time Binder	Thickness (มิลลิเมตร)		
	T ₁ (2 นาที)	T ₂ (2.5 นาที)	T ₃ (3 นาที)
C1	1.49±0.18 ^{ns}	1.38±0.00 ^{ns}	1.28±0.10 ^{ns}
C2	1.33±0.12 ^{ns}	1.39±0.10 ^{ns}	1.29±0.01 ^{ns}
C3	1.29±0.09 ^{ns}	1.25±0.06 ^{ns}	1.25±0.15 ^{ns}

Note: 1) All values are mean $\pm$ standard deviation (n=3)

2) ns is no significant difference (p>0.05)

จากการทดสอบค่าความหนาแน่น (Density) ของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองหลังจากกระบวนการขึ้นรูปดังแสดงในตารางที่ 6 จากตัวอย่างหลังจากขึ้นรูป พบว่า สูตรสารประสานที่ใช้และระยะเวลาในการให้ความร้อนไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่นของภาชนะขึ้นรูปจากใบตอง โดยค่าความหนาแน่นของของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองที่สภาวะการขึ้นรูปต่าง ๆ หลังจากกระบวนการขึ้นรูป ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 6 ค่าความหนาแน่นของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองหลังจากกระบวนการขึ้นรูปที่มีการใช้สูตรสารประสานและระยะเวลาให้ความร้อนต่าง ๆ

Heating time Binder	Density (g/ml)		
	T ₁ (2 นาที)	T ₂ (2.5 นาที)	T ₃ (3 นาที)
C1	0.072±0.012 ^{ns}	0.076±0.008 ^{ns}	0.077±0.013 ^{ns}
C2	0.063±0.008 ^{ns}	0.065±0.009 ^{ns}	0.065±0.011 ^{ns}
C3	0.079±0.022 ^{ns}	0.075±0.011 ^{ns}	0.072±0.009 ^{ns}

Note: 1) All values are mean $\pm$ standard deviation (n=3)

2) ns is no significant difference (p>0.05)

จากการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) ของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองหลังจากกระบวนการขึ้นรูปดังแสดงในตารางที่ 7 จากตัวอย่างหลังจากขึ้นรูปผลของระยะเวลาในการให้ความร้อนภาชนะขึ้นรูปจากใบตอง พบว่า สำหรับการใส่สูตรสารประสาน C1 และ สูตรสารประสาน C2 พบว่า ระยะเวลาในการให้ความร้อนไม่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของภาชนะขึ้นรูปจากใบตอง โดยมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ตามระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่สูตรสารประสาน C3 พบว่า ที่ระยะเวลาในการให้ความร้อน 2 นาที ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่ามากกว่าและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับที่ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 2.5 นาที แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) กับที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 3 min สำหรับผลของสูตรของสารประสาน พบว่า ที่ระยะเวลาในการให้ความร้อน 3 ระยะเวลา สูตรของสารประสานที่ใช้ในการขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึง โดยทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 7 ค่าความต้านทานแรงดึงของภาชนะขึ้นรูปจากไบโตนงหลังจากกระบวนการขึ้นรูปที่มีการใช้สูตรสารประสานและระยะเวลาให้ความร้อนต่างๆ

Heating time Binder	Tensile strength (เมกะปาสกาล)		
	T ₁ (2 นาที)	T ₂ (2.5 นาที)	T ₃ (3 นาที)
C1	3.66±1.52 ^{ns} _a	2.30±0.59 ^{ns} _b	2.60±1.34 ^{ns} _c
C2	3.05±1.11 ^{ns} _a	1.96±0.99 ^{ns} _b	2.74±0.64 ^{ns} _c
C3	2.94±0.88 ^{ns} _a	1.67±0.64 ^{ns} _b	2.66±0.96 ^{ns} _{ab}

Note: 1) All values are mean $\pm$ standard deviation (n=5)
 2) Different superscripts in the same column indicates significant difference (p<0.05)
 3) Different subscripts in the same row indicates significant difference (p<0.05)
 4) ns is no significant difference (p>0.05)

จากการผลการวิเคราะห์ค่าความเครียด (Tensile strain) ณ จุดที่มีแรงเค้นสูงสุดของภาชนะขึ้นรูปจากไบโตนงหลังจากกระบวนการขึ้นรูปดังแสดงในตารางที่ 8 จากตัวอย่างหลังจากขึ้นรูปผลของระยะเวลาในการให้ความร้อนของภาชนะขึ้นรูปจากไบโตนง สำหรับการใช้สูตรสารประสาน C1 พบว่า ที่ระยะเวลาในการให้ความร้อนเท่ากับ 2 นาที ค่าความเครียด ณ จุดที่มีแรงเค้นสูงสุดของภาชนะขึ้นรูปจากไบโตนงมีค่ามากกว่าและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับที่ระยะเวลาในการให้ความร้อน 2.5 นาที และ 3 นาที สำหรับผลของสูตรของสารประสาน พบว่า ระยะเวลาในการให้ความร้อนเท่ากับ 2 นาที การใช้สูตรสารประสาน C1 ทำให้ค่าความเครียด ณ จุดที่มีแรงเค้นสูงสุดของภาชนะขึ้นรูปจากไบโตนงมีค่ามากที่สุดและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับการใช้สูตรสารประสาน C2 และสูตรสารประสาน C3 ในขณะที่ระยะเวลาในการให้ความร้อนเท่ากับ 2.5 นาที และ 3 นาที พบว่าการใช้สูตรสารประสานที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าความเครียด ณ จุดที่มีแรงเค้นสูงสุดของภาชนะขึ้นรูปจากไบโตนง โดยค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 8 ค่าความเครียด ณ จุดที่มีแรงเค้นสูงสุดของภาชนะขึ้นรูปจากไบโตนงหลังจากกระบวนการขึ้นรูปที่มีการใช้สูตรสารประสานและระยะเวลาให้ความร้อนต่าง ๆ

Heating time Binder	Tensile strain (%)		
	T ₁ (2 นาที)	T ₂ (2.5 นาที)	T ₃ (3 นาที)
C1	22.99±11.45 ^a _a	2.58±0.23 ^{ns} _b	2.82±0.50 ^{ns} _b
C2	3.08±0.39 ^b _{ns}	2.90±0.64 ^{ns} _{ns}	3.18±0.18 ^{ns} _{ns}
C3	2.97±0.33 ^b _{ns}	2.78±0.20 ^{ns} _{ns}	2.86±0.59 ^{ns} _{ns}

Note: 1) All values are mean $\pm$ standard deviation (n=5)
 2) Different superscripts in the same column indicates significant difference (p<0.05)
 3) Different subscripts in the same row indicates significant difference (p<0.05)
 4) ns is no significant difference (p>0.05)

จากการทดสอบค่าแรงเจาะทะลุ (Puncture force) ของภาชนะขึ้นรูปจากไบโตนงหลังจากกระบวนการขึ้นรูปซึ่งผลการทดสอบค่าแรงเจาะทะลุแสดงดังตารางที่ 9 จากตัวอย่างหลังจากขึ้นรูป พบว่า สูตรสารประสานที่ใช้

และระยะเวลาในการขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าแรงเจาะทะลุของภาชนะขึ้นรูปจากไบตอง โดยค่าแรงเจาะทะลุของของภาชนะขึ้นรูปจากไบตองที่สภาวะการขึ้นรูปต่าง ๆ หลังจากกระบวนการขึ้นรูป ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 9 ค่าแรงเจาะทะลุของภาชนะขึ้นรูปจากไบตองหลังจากกระบวนการขึ้นรูปที่มีการใช้สูตรสารประสาน และระยะเวลาให้ความร้อนต่าง ๆ

Heating time Binder	Puncture force (นิวตัน)		
	T ₁ (2 นาที)	T ₂ (2.5 นาที)	T ₃ (3 นาที)
C1	10.87±3.05 ^{ns}	10.88±1.79 ^{ns}	9.50±2.64 ^{ns}
C2	10.36±3.67 ^{ns}	10.70±2.37 ^{ns}	11.55±4.97 ^{ns}
C3	12.84±2.49 ^{ns}	9.57±1.58 ^{ns}	10.66±1.83 ^{ns}

Note: 1) All values are mean $\pm$ standard deviation (n=3)

2) ns is no significant difference ($p>0.05$)

จากการทดสอบค่าร้อยละการดูดน้ำ (Water Absorption) ของภาชนะขึ้นรูปจากไบตองหลังจากกระบวนการขึ้นรูปดังแสดงในตารางที่ 10 จากตัวอย่างหลังจากขึ้นรูปผลของระยะเวลาในการให้ความร้อนภาชนะขึ้นรูปจากไบตองสำหรับการใช้สูตรสารประสาน C1 พบว่า ที่ระยะเวลาในการให้ความร้อนเท่ากับ 3 นาที ค่าร้อยละการดูดน้ำมีค่ามากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับที่ระยะเวลาในการให้ความร้อน 2 นาที และ 2.5 นาที ในขณะที่การใช้สูตรสารประสาน C2 และสูตรสารประสาน C3 พบว่า ระยะเวลาในการให้ความร้อนไม่มีผลต่อค่าร้อยละการดูดน้ำของภาชนะขึ้นรูปจากไบตอง โดยค่าร้อยละการดูดน้ำมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ตามระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้น สำหรับผลของสูตรของสารประสาน พบว่า ที่ระยะเวลาในการให้ความร้อนทั้ง 3 ระยะเวลาสูตรของสารประสานที่ใช้ในการขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าร้อยละการดูดน้ำ โดยทำให้ค่าร้อยละการดูดน้ำของภาชนะขึ้นรูปจากไบตองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 9 ค่าร้อยละการดูดน้ำของภาชนะขึ้นรูปจากไบตองหลังจากกระบวนการขึ้นรูปที่มีการใช้สูตรสารประสาน และระยะเวลาให้ความร้อนต่าง ๆ

Heating time Binder	Water absorption (%)		
	T ₁ (2 นาที)	T ₂ (2.5 นาที)	T ₃ (3 นาที)
C1	59.12±7.63 ^{ns_b}	62.96±19.47 ^{ns_b}	89.08±12.92 ^{ns_a}
C2	70.38±20.28 ^{ns}	61.32±25.38 ^{ns}	86.76±15.54 ^{ns}
C3	71.86±18.66 ^{ns}	68.20±17.87 ^{ns}	82.74±17.15 ^{ns}

Note: 1) All values are mean $\pm$ standard deviation (n=5)

2) Different superscripts in the same column indicates significant difference ($p<0.05$)

3) Different subscripts in the same row indicates significant difference ($p<0.05$)

4) ns is no significant difference ($p>0.05$)

สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาการขึ้นรูปภาชนะขึ้นรูปจากใบตองตกรัด โดยการจัดขึ้นรูปใบตองถูกนำมาวางซ้อนเป็นชั้น ๆ ตั้งฉากกันตามแนวเส้นใบตอง จำนวน 4 ชั้น ที่จะสามารถช่วยให้ภาชนะขึ้นรูปมีความคงทนหลังจากการขึ้นรูป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ On-ai & Sonsaree [5] ที่ศึกษาคุณภาพของภาชนะขึ้นรูปจากใบตอง พบว่าการเพิ่มจำนวนชั้นของใบตองโดยใช้เส้นใยวางตั้งฉากตามแนวนอนในแต่ละชั้นจะช่วยเพิ่มความทนทานในการใช้งานให้กับภาชนะ ซึ่งการใช้ใบตอง 4 ชั้น ทำให้ได้มีรูปร่างที่สวยงามตรงตามแบบที่ต้องการได้ โดยทำการศึกษาผลของสภาวะในการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการให้ความร้อนแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 2 นาที, 2.5 นาที และ 3 นาที และศึกษาปัจจัยของสารประสานโดยการนำแป้งสาลีมาผสมกับแป้งแตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร ในอัตราส่วน 3:1 จากผลการศึกษาการขึ้นรูปพบว่า สำหรับค่าความสว่าง (L^*) ระยะเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อค่าความสว่างของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองที่ใช้สูตรสารประสาน C1 นอกจากนั้นสมบัติด้านสี ได้แก่ ค่าเฉดสี (h) และค่าโครมา (C) พบว่า การใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนและสูตรสารประสานที่แตกต่างกันทำให้ค่าสีของภาชนะขึ้นรูปที่ได้มีความแตกต่างกัน แต่ไม่ได้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันในทุกสูตรการทดลอง ซึ่งผลของสีภาชนะขึ้นรูปที่แตกต่างกันนั้นเป็นผลเนื่องมาจากวัตถุดิบใบตองเริ่มต้นที่ใช้ที่มีผลต่อสีภาชนะขึ้นรูปที่ได้มากกว่า ทั้งนี้ใบตองที่ใช้ในการทำภาชนะขึ้นรูปนั้นนำมาจากใบตองตกรัดที่มีการเก็บเกี่ยวที่อายุของใบตองไม่เท่ากัน ซึ่งส่งผลต่อค่าสีของใบตองสดเริ่มต้น รวมทั้งสภาวะในการเก็บรักษาและกระบวนการตากแห้งใบตองในแต่ละวันมีความแตกต่างกันไปตามสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติซึ่งอาจส่งผลต่อสีของวัตถุดิบใบตองเริ่มต้นก่อนใช้ในการกระบวนการขึ้นรูปได้ ซึ่งจากงานวิจัยของ Kwanhong et al. [8] พบว่า ฤดูเก็บเกี่ยวและอุณหภูมิการเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของใบตอง ซึ่งอุณหภูมิมีผลต่อค่าสีของใบตอง โดยที่การเก็บที่อุณหภูมิห้องใบตองมีการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเหี่ยวเฉาหลังจากผ่านไป 2 วัน และการเก็บที่อุณหภูมิต่ำนั้นจะช่วยคงความเป็นสีเขียวของใบตองได้ ซึ่งเนื่องจากในกระบวนการผลิตเป็นการใช้ใบตองที่ตากทิ้งไว้มากกว่า 2 วัน จึงทำให้ภาชนะขึ้นรูปจากใบตองที่ได้ในทุกสภาวะทดลองมีค่าเฉดสีเขียว-เหลือง ซึ่งเป็นสีของใบตองตากแห้งจากผลการทดสอบค่าความหนา (Thickness) และความหนาแน่น (Density) ของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองหลังจากกระบวนการขึ้นรูป พบว่า สูตรสารประสานที่ใช้และระยะเวลาในการให้ความร้อนไม่มีผลต่อความหนาของภาชนะขึ้นรูปจากใบตอง โดยค่าความหนาและความหนาแน่นของของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองที่สภาวะการขึ้นรูปต่างๆ หลังจากกระบวนการขึ้นรูปไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากชั้นของใบตองที่ใช้ก่อนการขึ้นรูปประกอบด้วยใบตอง 4 ชั้น วางซ้อนทับกัน ระยะเวลาของชั้นก่อนเข้าหั่วขึ้นรูปนั้นมีความหนาที่มากกว่าความหนาของช่องว่างโดยความหนาและปริมาตรของภาชนะใบตองที่ได้จะขึ้นอยู่กับระยะประคบของแม่พิมพ์ด้านบนและแม่พิมพ์ด้านล่างที่ถูกให้แรงกดอย่างสม่ำเสมอ จึงทำให้ภาชนะขึ้นรูปที่ได้นั้นมีรูปร่างตรงตามแบบของแม่พิมพ์อย่างสม่ำเสมอในทุกตัวอย่างทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ On-ai & Sonsaree [5] ที่พบว่าการใช้ใบตองจำนวน 4 ชั้นในการขึ้นรูป ที่ทำให้ได้ถ้วยจากใบตองที่มีคะแนนคุณภาพของภาชนะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งด้านความคงตัว ความสมบูรณ์หลังการขึ้นรูป และความทนทานในการใช้งาน จากผลการศึกษาสมบัติทางกล และค่าร้อยละการดูดน้ำของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองตกรัดพบว่า ภาชนะขึ้นรูปสูตรสารประสาน C2 และ C3 ที่ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 2 นาที เป็นสภาวะในการขึ้นรูปที่เหมาะสม ซึ่งทำให้มีความต้านทานต่อแรงดึงสูงและค่าความเครียด ณ จุดที่มีแรงเค้นสูงสุดที่ต่ำ โดยมีความต้านทานต่อแรงดึงเท่ากับ 3.08 ± 0.39 เมกะปาสกาล และ 2.97 ± 0.33 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ซึ่งจากงานวิจัยของ Wongpoo & Jewpanya [4] จากการขึ้นรูปใบบัวที่มีความหนามากกว่าใบตองนั้น ที่จำนวนชั้นของใบบัวเท่ากับ 3 ชั้น และ 4 ชั้น ทำให้ได้ภาชนะขึ้นรูปที่มีค่าความเค้นแรงดึงเท่ากับ 3.32 เมกะปาสกาล และ 5.04 เมกะปาสกาล ลำดับ โดยค่าเค้นแรงดึงที่เกิดขึ้นนอกจากผลของสารประสานที่ใช้ทำให้เกิดการยึดติดแล้วนั้น ความต้านทานแรงดึงมีผลเนื่องมาจากวิธีการทำให้ใบแห้งและส่วนของใบบนใบตอง โดย ซึ่งใบตองสายพันธุ์ *Musa acuminata* x *balbisiana* ที่มีการจุ่มในน้ำเดือด 2-3 นาที และนำไปทำให้แห้งด้วยแสงแดดพบว่า ความต้านทานแรงดึง

ของบริเวณส่วนยอดใบ กลางใบ และด้านล่างใบ มีค่าเท่ากับ 2.02 ± 0.14 เมกะปาสกาล, 2.02 ± 0.14 เมกะปาสกาล และ 1.66 ± 0.32 เมกะปาสกาล ตามลำดับ [12] รวมทั้งภาชนะขึ้นรูปสูตรสารประสาน C2 และ C3 ที่ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 2 นาที มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยเมื่อเทียบกับภาชนะขึ้นรูปสูตรสารประสาน C1 ที่ค่าความเครียด ณ จุดที่มีแรงเค้นสูงสุดเท่ากับ 22.99 ± 11.45 เมกะปาสกาล ซึ่งแสดงถึงความไม่คงตัวของรูปทรงของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองที่ได้เมื่อได้รับแรง สำหรับผลของค่าร้อยละการดูดน้ำที่สภาวะการขึ้นรูปเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารประสานพบว่า การใช้สารประสานแตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าร้อยละการดูดน้ำ ยกเว้นการใช้สูตรสารประสาน C1 พบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อนเป็น 3 นาที ทำให้ค่าร้อยละการดูดน้ำมีค่ามากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับที่ระยะเวลาในการให้ความร้อนเท่ากับ 2 นาที และ 2.5 นาที ทั้งนี้เนื่องจากการให้ความร้อนที่นานเกินไปอาจส่งผลต่อความแห้งของภาชนะขึ้นรูปที่อาจทำให้เกิดการแตกหักได้ง่าย ซึ่งจากผลของค่าความเครียด (Tensile strain) ณ จุดที่มีแรงเค้นสูงสุด พบว่า ภาชนะขึ้นรูปสูตรสารประสาน C1 ที่ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 3 min เกิดการเปลี่ยนรูปร่างไปน้อยเมื่อได้รับแรงเค้นสูงสุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสมบัติของภาชนะขึ้นรูปที่มีความแข็งแรงที่มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับที่ระยะเวลาในการให้ความร้อนเท่ากับ 2 นาที ทั้งนี้อาจส่งผลให้เกิดรอยร้าวของภาชนะขึ้นรูปได้ง่ายมากกว่าถ้าเกิดการสัมผัสหรือได้รับแรงกระแทก ซึ่งค่าร้อยละการดูดน้ำของสูตรสารประสาน C2 และ C3 เท่ากับ 70.38 ± 20.28 และ 71.86 ± 18.66 ตามลำดับ โดยจากงานวิจัยของ Wongpoo & Jewpanya [4] จากการขึ้นรูปใบบัว 4 ชั้น ทำให้ได้ภาชนะขึ้นรูปที่มีมีค่าร้อยละการดูดน้ำเท่ากับ 62.72 ซึ่งการใช้สารประสาน C2 และ C3 เป็นการใช้นำ้แข็งสาลีผสมกับแป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลังดัดแปร เนื่องจากแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีนั้นมีสัดส่วนของอะมิโลเพกตินมากกว่าเมื่อเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง อะมิโลเพกตินมีผลต่อการคืนตัวของแป้งหลังจากกระบวนการให้ความร้อนและเกิดการแตกตัวของเม็ดแป้งเนื่องจากโครงสร้างของอะมิโลเพกตินเป็นแบบกิ่งที่ทำให้เกิดการขัดขวางการรวมตัวของเม็ดแป้งหลังจากอุณหภูมิที่เย็นลง จึงทำให้ยังคงความเหนียวของสารประสานไว้ได้ รวมทั้งการใช้แป้งมันสำปะหลังดัดแปรนั้น ทำให้สมบัติความเหนียวและเจลแป้งเปลี่ยนแปลงไปที่มีลักษณะคล้ายแป้งข้าวโพดมากกว่าแป้งมันสำปะหลังดิบ สามารถนำไปใช้ทดแทนแป้งข้าวโพด แป้งสาลี ซึ่งแป้งมันสำปะหลังดัดแปรจะให้ความเหนียวที่สูง มีแนวโน้มที่จะเกิดการคืนตัวของแป้งน้อยกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร จึงทำให้มีสมบัติการยึดติดที่ดี ส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลและค่าร้อยละการดูดน้ำของภาชนะขึ้นรูปจากใบตองที่ดีขึ้นจากการใช้แป้งมันสำปะหลังดิบ [6, 13-14] ทั้งนี้ภาชนะขึ้นรูปจากใบตองที่ใช้สารประสานคือ แป้งสาลีกับแป้งข้าวโพด (C2) และแป้งสาลีกับแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (C3) ที่ระยะเวลาในการให้ความร้อนเท่ากับ 2 นาที ทำให้ภาชนะขึ้นรูปจากใบตองสามารถรับแรงได้ดีและคงรูปอยู่ได้ นอกจากนี้ยังมีค่าร้อยละการดูดน้ำน้อยกว่าเมื่อเทียบกับระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 3 นาที ทั้งนี้ปัจจุบันภาชนะขึ้นรูปจากใบตองตกเกรดถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างหลากหลาย ได้แก่ ภาชนะสำหรับการบรรจุอาหาร ภาชนะในการบรรจุของใช้ที่ไม่ใช่อาหาร รวมทั้งการเป็นภาชนะในการบรรจุเทียนประทีปในช่วงเทศกาลลอยกระทง รวมทั้งมีการต่อยอดงานวิจัยในการขึ้นรูปใบตองในรูปทรงอื่น เช่น จาน ถาดกลม ถาดสี่เหลี่ยม และแก้วน้ำ เป็นต้น ซึ่งจากผลการศึกษานี้สามารถเพิ่มมูลค่าใบตองตกเกรดและช่วยลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตเพิ่มโอกาสทางตลาดและเป็นการเพิ่มผลผลิตภาพการเพาะปลูกกล้วยตานีที่สามารถสร้างรายได้ให้กับชุมชนอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม และวิสาหกิจชุมชนใบตองคลองกระเจง อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการทำการวิจัย และขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณประจำปี 2565 (RDI-1-65-02) ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sirisak, P., and Suphunchaimat, N. (2011). Banana leaf production for trade at Klongkrajong sub-district, Sawankhalok district, Sukhothai province. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 39(supplement), 478-482. (in Thai).
- [2] Sutthiyapiwat, S., and Phayoonpun, T. (2019). Design and development of food packaging form betel husk to add value for strong community and economic foundation. *Princess of Naradhiwad University Journal*, 12(1), 120-131. (in Thai).
- [3] Mueangklang, K., Rakdanklang, N., Dongkrathok, N., Chanthinok, T., and Chidkarn, T. (2021). Natural recycled materials diecasting machine. *Industrial Technology Journal*, 6(2), 65-76. (in Thai).
- [4] Wongpoo, K., and Jewpanya, P. (2021). The Design and development of lotus leaves forming machine. *RMUTL Engineering Journal*, 6(1), 19-27. (in Thai).
- [5] On-ai, K., and Sonsaree, S. (2022). A study of the quality of banana leaf. *Kasem Bundit Engineering Journal*, 12(2), 35-50. (in Thai).
- [6] Ravindra, V. Gadhawe, R., Mahanwar, P., and Gadekar, P. (2017). Starch-Based adhesives for wood/wood composite bonding: Review. *Open Journal of Polymer Chemistry*, 7, 19-32. <https://doi.org/10.4236/ojpcem.2017.72002>
- [7] Tratnik, N., Kuo, P.-Y., Tanguy, N. R., Gnanasekar, P., and Yan, N. (2020). Biobased epoxidized starch wood adhesives: Effect of amylopectin and amylose content on adhesion properties. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(49), 17997-18005. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c05716>
- [8] Kwanhong, P., Suwanchom, O., Srithanyarat, S., Songchan, K., and Singto, J. (2018). Influence of harvesting season and storage temperature on postharvest quality of fresh 'TaNee' banana leaves. *Acta Horticulturae*, 1210, 87-94. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1210.12>
- [9] Salleh, K. M., Hashim, R., Sulaiman, O., Hiziroglu, S., Wan Nadhari, W. N. A., Abd Karim, N., Jumhuri, N., and Ang, L. Z. P. (2015). Evaluation of properties of starch-based adhesives and particleboard manufactured from them. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 29(4), 319-336. <https://doi.org/10.1080/01694243.2014.987362>
- [10] Bai, Y., Zhao, F., Shen, J., and Zhang, Y. (2021). Improvement of water resistance of wheat flour-based adhesives by thermal-chemical treatment and chemical crosslinking. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(20), Article number 50458. <https://doi.org/10.1002/app.50458>
- [11] Nadhari, W. N. A. W., Ishak, N. S., Danish, M., Atan, S., Mustapha, A., Karim, N. A., Hashim, R., Sulaiman, O., and Yahaya, A. N. A. (2020). Mechanical and physical properties of binderless particleboard made from oil palm empty fruit bunch (opefb) with addition of natural binder. *Materials Today: Proceedings*, 31, 287-291. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.009>
- [12] Ramirez, R. J. C., Flores, F. T., Manuel, L. J. R., and Acabal, M. C. G. (2022). Effects of maturity, dipping time and drying method on selected physical and mechanical properties of dried saba (musa acuminate x balbisiana) leaves as packaging material. *Philippine Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 16(1), 27-37.

- [13] Zakrajšek, N., and Golob, J. (2009), The influence of modified starch on the process water quality in papermaking and the paper properties. *Starch*, 61, 109-115. <https://doi.org/10.1002/star.200800009>
- [14] Silaket, P. (2017). Properties of modified cassava starch using amylase enzyme and octenyl succinic anhydride. *Burapha Science Journal*, 22(1), 108-124. (in Thai).