วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา
Engineering Journal of Research and Development
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage
ปีที่ 33 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม-กันยายน 2565
Volume 33 Issue 3 July-September 2022
Received 15 November 2021
Revised 22 January 2022
Accepted 31 March 2022

การวิเคราะห์การผลิตด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผง

ANALYSIS OF ICE CREAM STICKS PRODUCTION FROM BANANA POWDER

จิตรา รู้กิจการพานิช[1*] และ สิปโปทัย ศรีนิลรัตน์[2]
รองศาสตราจารย์[1*], นิสิตปริญญาโท[2]
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[*]Corresponding author, E-mail: jittra.r@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวิเคราะห์วัสดุทดแทนสำหรับด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผง ซึ่งช่วยลดการนำเข้าและการใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยได้ใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่าเป็นแนวทาง มีลำดับขั้นตอนดังนี้ 1) วิเคราะห์หน้าที่ด้ามไอศกรีมจากไม้ 2) วิเคราะห์คุณสมบัติของกล้วยดิบผงและส่วนผสมเพื่อทำหน้าที่ของด้ามไอศกรีม 3) ทำการทดลองขึ้นรูปและอบ 4) วัดค่าความแข็ง และค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ของด้ามไอศกรีม 5) ทดสอบอายุการเก็บรักษา 6) สรุปและอภิปรายผล จากผลการศึกษาส่วนผสมที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้ามไอศกรีมคือกล้วยดิบผงต่อแป้งสาลีต่อน้ำตาลต่อน้ำเป็นร้อยละ 42:11:21:26 โดยน้ำหนัก มีค่าความแข็งเท่ากับ 38.53 นิวตัน และค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้เท่ากับ 0.068 มีอายุการเก็บรักษานานสุดได้ 8 วัน ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์พบว่าต้นทุนของด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผงมีราคาที่สูงกว่าต้นทุนของด้ามไอศกรีมจากไม้ 1.49 บาทต่อชิ้น นอกจากนี้ด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผงไม่มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากการกำจัดซาก

คำสำคัญ : กล้วยดิบผง; ด้ามไอศกรีม; การออกแบบที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม

ABSTRACT

The objective of this research is to analyze raw banana powder as a substitute material for the production of ice cream sticks. This will reduce the import, single use and waste. The research process used value engineering technique as a guideline. The sequence of steps was as follows: 1) function analyzing of ice cream sticks from wood, 2) diagnosing the properties of raw banana powder and ingredients to replace the functions of wooden ice cream sticks, 3) forming and baking, 4) measuring the hardness and water activity of the sticks, 5) testing of shelf life, 6) summarizing and discussing the results. It was found that the suitable ratio (percent by weight) of raw banana powder: wheat flour: sugar: water was 42:11:21:26 which had a hardness of 38.53 N and a water activity value of 0.068. The maximum of shelf life was 8 days. The economic evaluation showed that the cost of ice cream sticks from raw banana powder was higher than the wooden ice cream sticks at 1.49 baht per piece. Moreover, ice cream sticks from raw banana powder had no CO_2 emission equivalent to disposal.

KEYWORDS: Raw banana powder; Ice cream sticks; Eco-design

Jittra Rukijkanpanich[1*] and Sippothai Srininrat[2]
[1]Associate Professor, [2]Graduate student,
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand.

1. บทนำ

จากข้อมูลทางสถิติในปี พ.ศ. 2562 พบว่าประเทศไทยมีปริมาณการนำเข้าสินค้าไม้ประเภทด้ามจับขนม ด้ามไอศกรีม และช้อนตักไอศกรีมจากต่างประเทศคิดเป็นมูลค่าประมาณ 95 ล้านบาท ซึ่งเติบโตขึ้นร้อยละ 1.88 เทียบกับปี พ.ศ. 2561 ที่มีมูลค่า 91.5 ล้านบาท [1] ซึ่งสินค้าไม้ดังกล่าวมักถูกใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้งกลายเป็นขยะ ซึ่งการนำกลับมาใช้ทำได้ยาก ในขณะที่ปัจจุบันได้มีความพยายามในการสร้างนวัตกรรมจากหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม (eco-design) หากสามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีต้นทุนต่ำและลดภาระสิ่งแวดล้อมแล้วยังช่วยลดการนำเข้าจากต่างประเทศได้ด้วย

จากการสำรวจงานวิจัยต่าง ๆ พบว่ามีการนำวัสดุทางการเกษตรมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทภาชนะบรรจุอาหาร เช่น ใบกล้วย แต่หากขึ้นรูปจากวัสดุทางการเกษตรที่มีลักษณะเป็นผงหรือเศษเล็กๆ จำเป็นต้องมีการผสมตัวประสาน (binder) [2, 3] ซึ่งตัวประสานจากธรรมชาติและไม่เป็นอันตรายมักใช้แป้งสาลี แป้งชนิดนี้มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานที่ดีเนื่องจากมีส่วนประกอบของโปรตีนช่วยในการยึดเกาะ [4] ทั้งนี้มีการแป้งสาลีมาใช้เป็นตัวประสานในอุตสาหกรรมอาหารประเภทเบเกอรี่ที่มีลักษณะเป็นแครกเกอร์ [5]

ดังนั้นการวิเคราะห์ถึงการใช้กล้วยดิบผง (raw banana powder) มาเป็นวัตถุดิบหลักของการผลิตด้ามไอศกรีมเพื่อทดแทนด้ามไอศกรีมจากไม้จึงมีความน่าสนใจ ทั้งนี้กล้วยดิบสามารถหาได้ง่าย มีราคาไม่สูง [6] จากปริมาณผลผลิตกล้วยในประเทศไทยที่เก็บเกี่ยวในปี พ.ศ. 2561 ได้ถึง 1.1 ล้านกิโลกรัม [7] อีกทั้งมีคุณค่าทางโภชนาการและสามารถรับประทานได้ ทั้งนี้ในการขึ้นรูปด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผงนั้นต้องใช้ส่วนผสมต่าง ๆ ได้แก่ แป้งสาลีชนิดอเนกประสงค์เพื่อทำหน้าที่ตัวประสาน และมีส่วนผสมของน้ำตาลเพื่อทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงและความสม่ำเสมอให้กับเนื้อผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะน้ำตาลที่มีขนาดอนุภาคขนาดเล็ก [8] นอกจากนี้ในการขึ้นรูปด้ามไอศกรีมยังต้องใช้น้ำเพื่อให้ส่วนผสมต่างๆ เข้ากันได้ดี ขั้นตอนในการพัฒนาเป็นด้ามไอศกรีมจากกล้วยผงนี้ได้นำวิศวกรรมคุณค่ามาใช้ในการวิเคราะห์หน้าที่ของด้ามไอศกรีม การจัดทำแผนงานผลิตด้ามไอศกรีมและการผลิตให้เป็นรูปธรรม

จากที่กล่าวมาแล้ว หากสามารถผลิตด้ามไอศกรีมจากกล้วยผงได้นั้น ไม่เพียงจะช่วยลดการนำเข้าด้ามไอศกรีมจากไม้จากต่างประเทศลง แต่ยังเพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์เป็นการช่วยเหลือเกษตรกร และยังเป็นการช่วยลดภาระสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้ด้ามไอศกรีมจากไม้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุที่ใช้ในการผลิตด้ามไอศกรีมทดแทน

1) กล้วยดิบผง ชนิดของพันธุ์กล้วยในงานวิจัยนี้เป็นกล้วยน้ำว้าซึ่งจัดว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยให้ผลผลิตตลอดทั้งปี แต่กล้วยสุกมีอายุการเก็บรักษาสั้นเพียง 5-7 วันก่อนเน่าเสีย จึงจำเป็นจะต้องจำหน่ายอย่างรวดเร็วหลังจากทำการเก็บเกี่ยวหรือทำการแปรรูป เช่น การตากแห้ง เชื่อม ทอดกรอบ หรือกวน ในงานวิจัยนี้ได้มีการทดลองนำร่องแล้วว่ามีความเป็นไปได้ที่จะขึ้นรูปเป็นด้ามไอศกรีม ซึ่งไม่ได้แสดงรายละเอียดของการทดลองนำร่องไว้ในบทความนี้

มีการนำกล้วยดิบมาใช้ในการบริโภคในกลุ่มผู้รักสุขภาพแต่ไม่ได้รับความนิยมนำมารับประทานโดยตรง เพราะมีรสชาติที่ขมหรือฝาด กล้วยดิบมีสารที่เรียกว่า แทนนิน (Tannin) ที่สามารถช่วยยับยั้งแบคทีเรีย [9] ดังนั้นหากนำกล้วยดิบผงมาทำเป็นด้ามไอศกรีมจึงมีความเป็นไปได้ที่จะช่วยรักษาคุณภาพของด้ามไอศกรีมได้นานขึ้นกว่าวัสดุอื่น

2) แป้งสาลี แป้งที่มีอยู่ในธรรมชาติมีคุณลักษณะ ขนาด และรูปร่างของเม็ดแป้งที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามปริมาณอะไมโลส (Amylose) ได้แก่ (1) แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสน้อย คือแป้งที่ผลิตจากพืชหัว

ราก หรือลำต้น เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันเทศ แป้งเท้ายายม่อม แป้งสาคู (2) แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสมาก ได้แก่ แป้งที่ผลิตจากธัญพืช เช่น แป้งสาลี แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า และ (3) แป้งที่ไม่มีอะไมโลส เช่น แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวฟ่างเหนียว

แป้งสาลีมีปริมาณอะไมโลสมาก มีคุณสมบัติพองตัวน้อย และมีโปรตีนกลูเตนิน (Glutenin) เมื่อแป้งสาลีผสมกับน้ำเพื่อขึ้นรูปหรือ “โด” (dough) แล้ว จะเกิดโครงสร้างร่างแหของ กลูเตน (Gluten) ที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูป [4] ดังนั้นแป้งสาลีจึงได้รับการเลือกเป็นตัวประสานกล้วยดิบผงสำหรับทำด้ามไอศกรีมในงานวิจัยนี้

2.2 วิศวกรรมคุณค่า (Value engineering, VE) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หน้าที่หรือประโยชน์การใช้งาน (function) ของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่สนใจอย่างเป็นระบบ เพื่อนำวัสดุหรือกระบวนการอื่นมาทดแทนแล้วยังสามารถทำหน้าที่หรือประโยชน์การใช้งานที่มีประสิทธิภาพ ลดค่าใช้จ่ายตลอดวงจรชีวิตรวมทั้งเพิ่มคุณค่ามากขึ้น ขั้นตอนการดำเนินการตามแผนงานวิศวกรรมคุณค่าได้แก่ (1) การเลือกหัวข้อโครงการ (selection phase) (2) การรวบรวมข้อมูล (information phase) (3) การกำหนดประโยชน์การใช้งาน (function phase) (4) การออกแบบความคิดสร้างสรรค์ (creation phase) (5) การประเมินผล (evaluation phase) (6) การทดสอบ (investigation phase) และ (7) การเสนอแนะ (recommendation phase) [10]

2.3 การวัดคุณสมบัติทางกายภาพของด้ามไอศกรีม

1) ค่าความแข็ง (hardness) เป็นแรงที่กระทำต่ออาหาร ทำให้อาหารแตกหรือแยกออก เป็นปัจจัยหลักที่ปฏิกิริยาของอาหารที่มีต่อแรงกระทำภายในปากระหว่างรับประทานในการวัดค่าโดยใช้ประสาทสัมผัส โดยมีสเกลของความแข็ง ที่ตั้งไว้ให้เป็นมาตรฐานมีอยู่ 9 ระดับ จะใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะตั้งแต่ อ่อน (soft) ไปจนถึง แข็ง (hard)

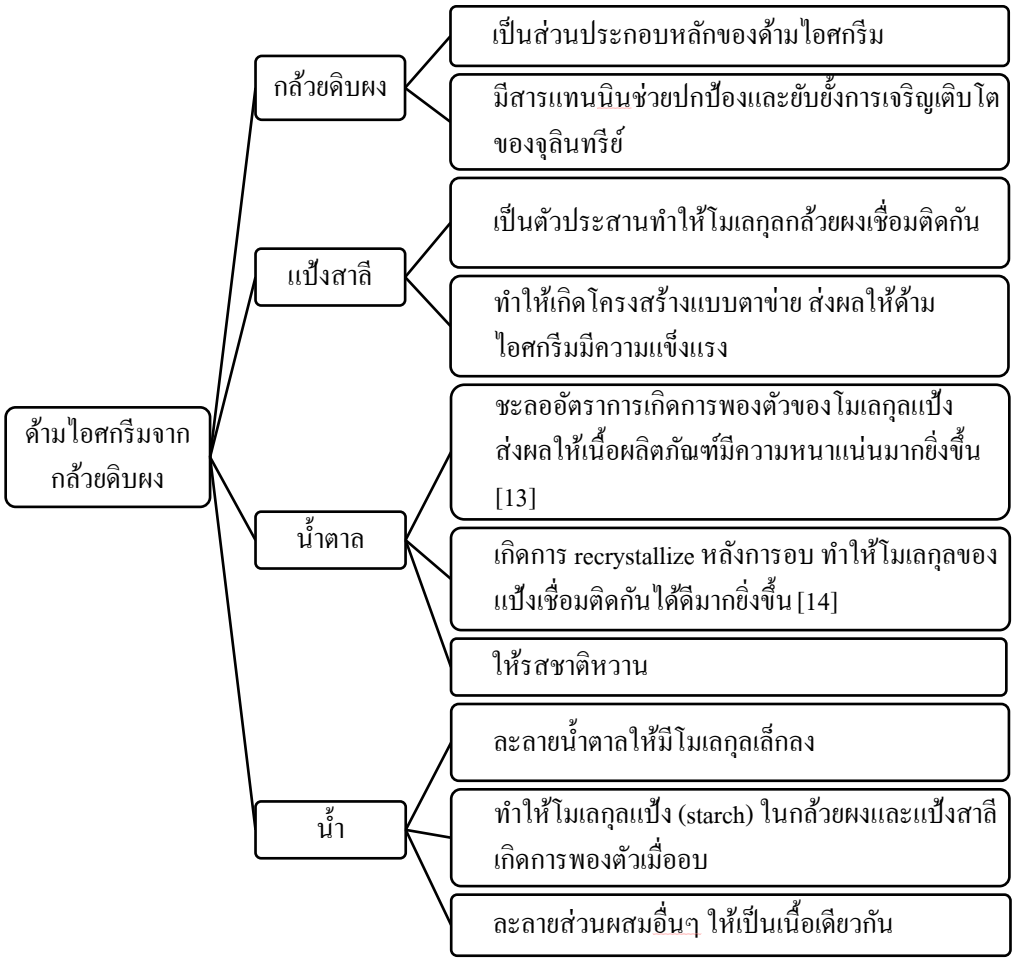
2) ค่าความแตกเปราะ (fracturability) เป็นแรงที่ทำให้สารแตกหักออกในช่วงการกด หรือเคี้ยวครั้งที่ 1 ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะนี้จะมีความแข็งอยู่มาก แต่มีการเกาะติด (cohesiveness) น้อย เป็นปัจจัยรองที่ปฏิกิริยาของอาหารที่มีต่อแรงกระทำภายในปากระหว่างรับประทานในการวัดค่าโดยใช้ประสาทสัมผัส โดยสเกลความเปราะนี้แบ่งออกเป็น 7 ระดับ [11] ในงานวิจัยนี้พบว่าค่าความแข็งและค่าความแตกเปราะเป็นค่าเดียวกัน

3) ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (water activity, a_w) หมายถึง อัตราส่วนของความดันไอน้ำในอาหาร (P) ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ (P_o) ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ซึ่งมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสีย และความปลอดภัยของอาหาร โดยอาหารแต่ละชนิดจะเสียเร็วหรือช้านั้นขึ้นอยู่กับค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ อาหารที่มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ต่ำกว่า 0.6 จะเป็นอาหารที่เกิดการเน่าเสียได้ยากและเก็บรักษาได้เป็นเวลานาน [12]

3. การดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้นำวิศวกรรมคุณค่ามาใช้ในการดำเนินการจัดทำด้ามด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผงให้เป็นรูปธรรม โดยมีลำดับการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1) ทำการวิเคราะห์หน้าที่หลักของด้ามไอศกรีมจากไม้ ซึ่งทำหน้าที่สองหลักประการได้แก่ ประคองเนื้อไอศกรีมและปกป้องตัวเองจากการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่อุณหภูมิเยือกแข็งของเนื้อไอศกรีม ดังนั้นด้ามไอศกรีมจากกล้วยผงต้องสามารถบรรลุหน้าที่หลักทั้งสองประการด้วยจึงจะสามารถนำมาทดแทนได้ ผังการวิเคราะห์หน้าที่ของด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผงแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การวิเคราะห์หน้าที่ของด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผง

2) ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของกล้วยดิบผงและส่วนผสมเพื่อทดแทนหน้าที่ของด้ามไอศกรีมที่ทำจากไม้ ส่วนผสมได้แก่ กล้วยดิบผง แป้งสาลี น้ำตาล และน้ำ ทั้งนี้ได้วิเคราะห์ถึงหน้าที่หลักและหน้าที่รอง ซึ่งได้มาจากข้อดีของคุณสมบัติของกล้วยดิบผงและส่วนผสมอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

3) ทำการทดลอง โดยทำการผสมกล้วยดิบและส่วนผสมที่สัดส่วนต่าง ๆ กวนส่วนผสมจนเกิดความเหนียว ยืดหยุ่น ทำให้เนียนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วทำการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์และทำการอบได้เป็นด้ามไอศกรีม โดยในการทดลองมีตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ อัตราส่วนกล้วยดิบผงต่อแป้งสาลี ปริมาณน้ำตาล และเวลาที่ใช้ในการอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้ขนาดของเตาอบ 2.67 กิโลวัตต์ ดังแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นทำการวัดค่าตัวแปรตอบสนอง ได้แก่ ค่าความแข็ง และ ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ โดยทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนำเข้าอย่างน้อย 2 ระดับ [15] ซึ่งแต่ละปัจจัยมีลักษณะคำนิยาม ดังนี้

ปัจจัยอัตราส่วนผสมแห้งของกล้วยดิบผงและแป้งสาลี (A) มี 3 ระดับ ได้แก่

- ระดับต่ำ (-) ที่ร้อยละ 50:50 โดยน้ำหนัก หมายถึง ในส่วนผสมแห้ง 100 กรัม จะมีปริมาณผงกล้วยดิบ 50 กรัม ต่อ ปริมาณแป้งสาลี 50 กรัม

- ระดับกลาง (0) ที่ร้อยละ 65:35 โดยน้ำหนัก หมายถึง ในส่วนผสมแห้ง 100 กรัม จะมีปริมาณผงกล้วยดิบ 65 กรัม ต่อ ปริมาณแป้งสาลี 35 กรัม

- ระดับสูง (+) ที่ร้อยละ 80:20 โดยน้ำหนัก หมายถึง ในส่วนผสมแห้ง 100 กรัม จะมีปริมาณผงกล้วยดิบ 80 กรัม ต่อ ปริมาณแป้งสาลี 20 กรัม

ปัจจัยปริมาณน้ำตาล (B) คือ ปริมาณน้ำตาล โดยน้ำหนัก ที่นำไปผสมกับส่วนผสมแห้งของกล้วยดิบผงและแป้งสาลี มี 3 ระดับ ได้แก่

- ระดับต่ำ (-) ที่ร้อยละ 0 หมายถึง ปริมาณน้ำตาล คิดเป็น ร้อยละ 0 ของปริมาณส่วนผสมแห้งทั้งหมด
- ระดับกลาง (0) ที่ร้อยละ 20 หมายถึง ปริมาณน้ำตาล คิดเป็น ร้อยละ 20 ของปริมาณส่วนผสมแห้งทั้งหมด
- ระดับสูง (+) ที่ร้อยละ 40 หมายถึง ปริมาณน้ำตาลที่ใช้คิดเป็น ร้อยละ 40 ของปริมาณส่วนผสมแห้งทั้งหมด

ปัจจัยระยะเวลา (C) คือ ปัจจัยของระยะเวลาที่ใช้ในการอบผลิตภัณฑ์ในเตาอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สุกและรับประทานได้ มี 3 ระดับ ได้แก่

- ระดับต่ำ (-) ที่ 40 นาที
- ระดับกลาง (0) ที่ 45 นาที
- ระดับสูง (+) ที่ 50 นาที

4) ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของกล้วยดิบและส่วนผสมสำหรับการผลิตเป็นด้ามไอศกรีมโดยพิจารณาจากค่าความแข็งของด้ามไอศกรีมที่สามารถประคองเนื้อไอศกรีมให้สามารถรับประทานได้ ดังรูปที่ 2

5) ทำการทดสอบอายุการเก็บรักษา (shelf life) ของด้ามไอศกรีมที่ประคองเนื้อไอศกรีมแล้ว (รูปที่ 2ข) โดยนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิในการใช้งานจริงและทำการควบคุมอุณหภูมิในการทดสอบของผลิตภัณฑ์อยู่ที่ -23 ถึง -18 องศาเซลเซียส จำนวน 15 ตัวอย่าง และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสภาพด้ามไอศกรีมรวมถึงตัวแปรตอบสนองค่าความแข็งที่ลดลงทุก ๆ 24 ชั่วโมง จนไม่สามารถประคองเนื้อไอศกรีมได้อีกต่อไป

6) ทำการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และทดสอบการยอมรับจากผู้บริโภคหลังจากที่ทดลองรับประทานด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผง แล้วทำการสรุปและอภิปรายผล

(ก) ด้ามไอศกรีมที่ผ่านการอบแล้ว

(ข) ด้ามไอศกรีมที่ประคองเนื้อไอศกรีม

รูปที่ 2 ลักษณะด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผง

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบหน้าที่ของด้ามไอศกรีมจากไม้และกล้วยดิบผง

ชนิดของผลิตภัณฑ์	หน้าที่	ประเภทของหน้าที่		หมายเหตุ
		หลัก	รอง	
1.ด้ามไอศกรีมจากไม้	A.เป็นที่ยึดเกาะเนื้อไอศกรีม สามารถประคองไอศกรีมน้ำหนักมาตรฐาน ไม่เกิน 80 กรัม	/		ไม่สามารถรับประทานได้
	B.ปกป้องตัวผลิตภัณฑ์เองจากการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์	/		
	C.ให้กลิ่นหอม		/	
2. ด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผง	A.เป็นที่ยึดเกาะเนื้อไอศกรีม สามารถประคองไอศกรีมน้ำหนัก มาตรฐาน ไม่เกิน 80 กรัม	/		สามารถรับประทานร่วมกับไอศกรีมได้
	B.ปกป้องตัวผลิตภัณฑ์เองจากการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์	/		
	C.เป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม		/	
	D.ให้กลิ่นหอม		/	
	E.ให้รสสัมผัสฝาด ขมเล็กน้อย		/	
	F.ให้คุณค่าทางอาหาร		/	
	G.ให้รสชาติหวาน		/	

ตารางที่ 2 ระดับปัจจัยและสัญลักษณ์ของแต่ละปัจจัยในการทดลอง

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย		
		ต่ำ (-)	กลาง (0)	สูง (+)
1.อัตราส่วนกล้วยดิบผงต่อแป้งสาลี (ร้อยละ)	A	50:50	65:35	80:20
2.ปริมาณน้ำตาล (ร้อยละโดยน้ำหนักในส่วนผสมแห้งทั้งหมด)	B	0	20	40
3.ระยะเวลาอบด้วยเตาอบ (นาที)	C	40	45	50

4. ผลการดำเนินการ

4.1 การประเมินผลทางเทคนิค

โดยพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความแข็งและค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ รวมทั้งพิจารณาจากความสามารถในการเก็บรักษาเมื่อบรรจุเข้ากับเนื้อไอศกรีมแล้ว

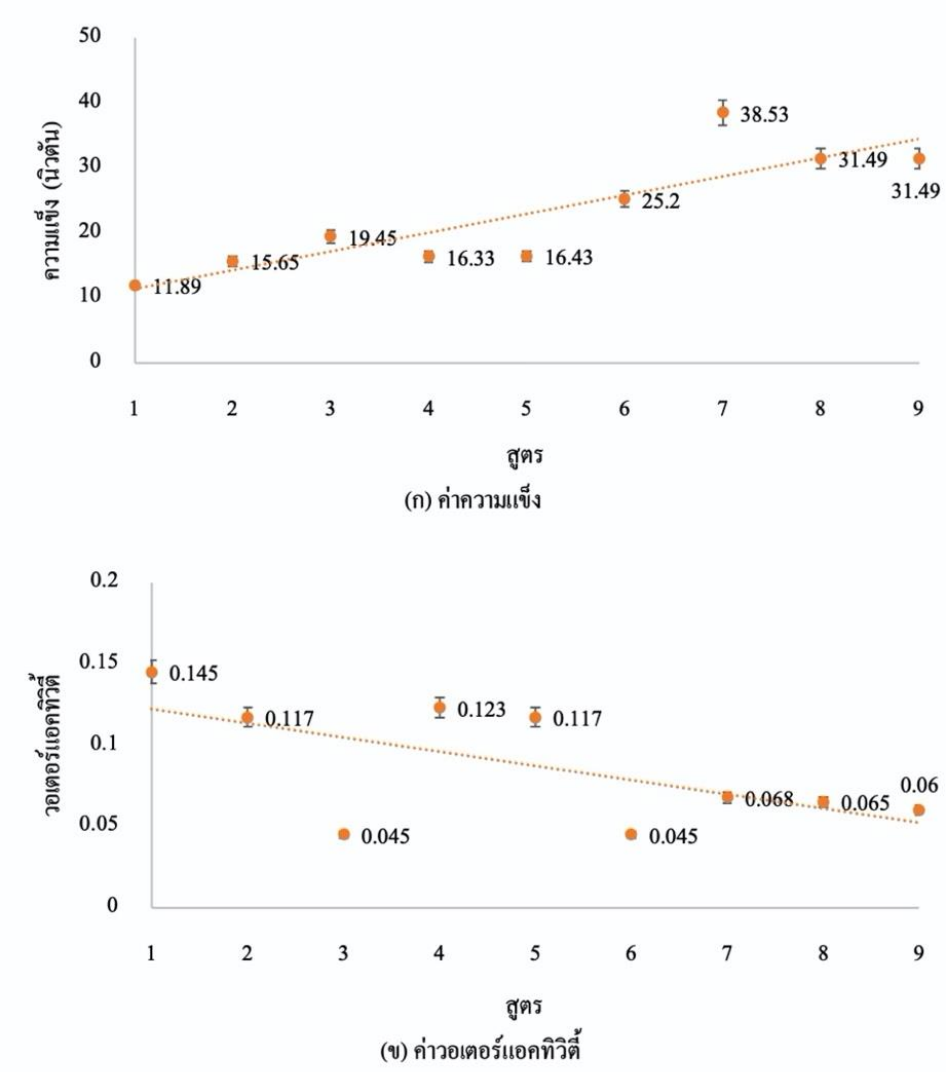
จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามีเพียง ปัจจัย A (อัตราส่วนกล้วยดิบผงต่อแป้งสาลี) และ ปัจจัย B (ปริมาณน้ำตาล) ที่มีอิทธิพลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง ในขณะที่ ปัจจัย C (เวลาที่ใช้ในการอบ) ไม่มีอิทธิพลต่อค่าของตัวแปรตอบสนองทั้งสองชนิด ดังตารางที่ 3 ซึ่งทุกสัดส่วนสามารถประคองไอศกรีมแท่งน้ำหนักมาตรฐานไม่เกิน 18 กรัม และสามารถปกป้องตัวผลิตภัณฑ์เองจากการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ แต่เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏของด้ามไอศกรีมในสูตรที่มีสัดส่วนของน้ำตาลน้อยกว่าร้อยละ 21 (สูตร 1 ถึง สูตร 6) จะพบรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของด้ามไอศกรีมซึ่งอาจส่งผลต่อการใช้งาน รวมทั้งเมื่อทำการวิเคราะห์แนวโน้มของค่าตัวแปรตอบสนองทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 3 จะเห็นว่า สูตรที่มีสัดส่วนของน้ำตาลน้อยกว่าร้อยละ 21 (สูตร 1 ถึง สูตร 6) ดังกล่าว ค่าความแข็งและค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้จะมีค่าใกล้เคียงกันแม้ว่าสัดส่วนของน้ำตาลจะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบผลิตภัณฑ์ที่มีอัตราส่วนของกล้วยดิบผงและแป้งสาลี (ปัจจัย A) เท่ากัน

ดังนั้นจึงสรุปสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดต่อการขึ้นรูป คือ กล้วยดิบผงต่อแป้งสาลีต่อน้ำตาลต่อน้ำร้อยละ 42 : 11 : 21 : 26 โดยน้ำหนัก (สูตร 7) ทั้งนี้สัดส่วนดังกล่าวตรงกับผลการทดลองที่ปัจจัยอัตราส่วนผงกล้วยดิบต่อแป้งสาลีร้อยละ 80:20 โดยน้ำหนัก ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 40 โดยน้ำหนักส่วนผสมแห้ง และเวลาที่ใช้ในการอบ 40 นาที

นอกจากนี้ยังได้ทำการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ก่อนการอบและหลังการอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยพบว่า ก่อนอบด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผงมีน้ำหนักเฉลี่ยชิ้นละ 5.2 กรัม และ น้ำหนักหลังการอบลดลงร้อยละ 28.8 เหลือเฉลี่ยเพียงชิ้นละ 3.7 กรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าส่วนผสมที่เป็นน้ำได้ระเหยออกไปจนหมด ดังนั้นหากคำนวณสัดส่วนของส่วนประกอบภายในด้ามไอศกรีมหลังการอบแล้วจะได้สัดส่วนกล้วยดิบผงต่อแป้งสาลีต่อน้ำตาลเป็น ร้อยละ 28 : 57 : 15 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 3 ผลการทดลองของผสมวัตถุดิบที่สัดส่วนต่าง ๆ

สูตร	ปัจจัย			สัดส่วนวัตถุดิบในการขึ้นรูปการผลิต (ร้อยละโดยน้ำหนัก)					ค่าตัวแปรตอบสนอง	
	A	B	C	กล้วยดิบผง	แป้งสาลี	น้ำตาล	น้ำ	รวม	ความแข็ง (นิวตัน)	วอเตอร์แอคทิวิตี้
1	+	-	-	53	13	0	34	100	11.89	0.145
2	0	-	-	43	23	0	34	100	15.65	0.117
3	-	-	-	33	33	0	34	100	19.45	0.045
4	+	0	-	47	12	12	29	100	16.33	0.123
5	0	0	-	38	21	12	29	100	16.43	0.117
6	-	0	-	29	29	12	29	100	25.20	0.045
7	+	+	-	42	11	21	26	100	38.53	0.068
8	0	+	-	34	19	21	26	100	31.49	0.065
9	-	+	-	26	26	21	26	100	31.49	0.060



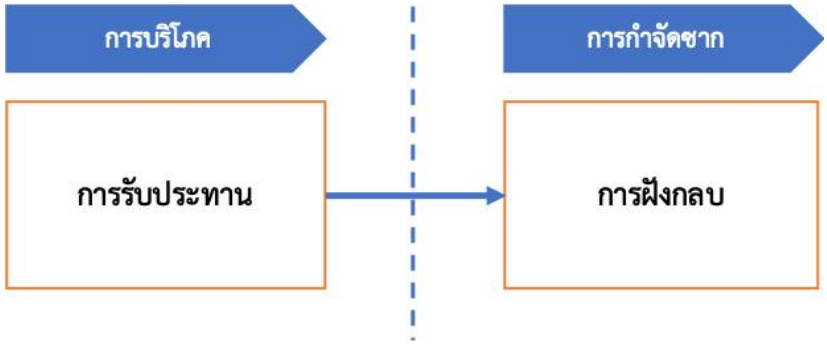
รูปที่ 3 กราฟแสดงแนวโน้มผลการทดสอบตัวแปรตอบสนอง

4.2 การประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์

จากการประมาณต้นทุนการผลิตด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผง โดยอ้างอิงข้อมูลจากโรงงานผลิตไอศกรีมแท่งแห่งหนึ่งที่มีทุนจดทะเบียน 154 ล้านบาท มีกำลังการผลิตประมาณ 20,000 ชิ้นต่อวัน หรือคิดเป็น 4,800,000 ชิ้นต่อปี [16] จะมีต้นทุนเฉลี่ยของด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผงอยู่ที่ชิ้นละ 1.57 บาท ในขณะที่ต้นทุนเฉลี่ยด้ามไอศกรีมจากไม้ซึ่งนิยมนำเข้าจากต่างประเทศเฉลี่ยชิ้นละ 0.079 บาท (จากการสำรวจราคาด้ามไอศกรีมไม้ของผู้ผลิตในต่างประเทศจำนวน 30 แห่ง [17]) แสดงให้เห็นว่าต้นทุนของการผลิตด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผงมีราคาที่สูงกว่าต้นทุนของด้ามไอศกรีมจากไม้ 1.49 บาทต่อชิ้น ทั้งนี้ผู้ผลิตกล้วยดิบผงยังไม่มีคู่แข่งและจึงมีการตั้งราคาค่อนข้างสูง ต่อไปหากมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตกล้วยดิบผงที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นย่อมส่งผลให้ต้นทุนของวัตถุดิบกล้วยดิบผงนี้ลดลงได้อีกซึ่งจะทำให้ต้นทุนของด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผงต่ำลง นอกจากนี้ในการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เชิงลึกต่อไปอาจเปรียบเทียบถึงพลังงานที่ใช้ในการผลิตด้ามไอศกรีม

4.3 การประเมินผลทางสิ่งแวดล้อม

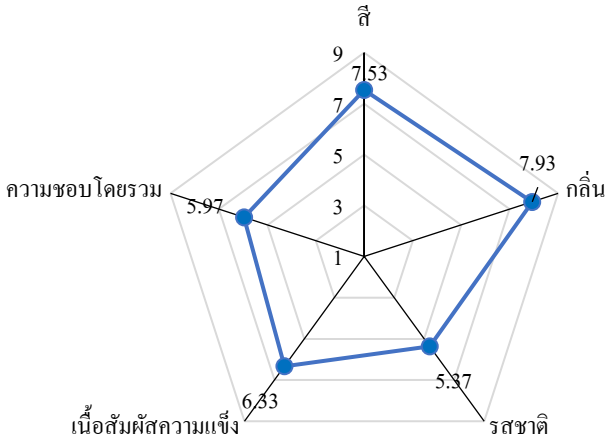
โดยการประเมินปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ภายใต้ขอบเขตกำจัดซากหลังจากบริโภคไอศกรีมแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยกำหนดให้ใช้การกำจัดโดยฝังกลบเมื่อเลิกใช้ด้ามไอศกรีม ซึ่งมีค่า emission factor เท่ากับ 3.33 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยปริมาณ [18] จากปริมาณด้ามไอศกรีมจากไม้จำนวน 4,800,000 ชิ้นต่อปี คิดเป็นน้ำหนัก 4,560 กิโลกรัม สำหรับด้ามไอศกรีมจากไม้ จะเกิด 15,185 $kgCO_2e$ เมื่อคำนวณจากน้ำหนักของด้ามไอศกรีมจากไม้เฉลี่ยชิ้นละ 0.95 กรัมแล้ว คิดเป็น 0.0032 $kgCO_2e$ ต่อชิ้น ในขณะที่ด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผงสามารถบริโภคได้จึงไม่มีการปลดปล่อยคาร์บอนเมื่อเลิกใช้



รูปที่ 4 ขอบเขตการวิเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของด้ามไอศกรีม

4.4 การศึกษาการยอมรับจากผู้บริโภค

เพื่อประเมินคุณลักษณะด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผงซึ่งสามารถรับประทานได้และมีคุณสมบัติด้านความแข็งใกล้เคียงกับด้ามไอศกรีมจากไม้มากที่สุด ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9-point hedonic scale ในด้านต่าง ๆ ดังแสดงผลการทดสอบในรูปที่ 5 พบว่า ผู้บริโภคมีความรู้สึกยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านกลิ่นของด้ามไอศกรีมที่ให้คะแนนความชอบถึง 7.93



รูปที่ 5 ผลการทดสอบการยอมรับด้ามไอศกรีมจากผู้บริโภค

5. สรุปและอภิปรายผล

จากผลการวิเคราะห์คุณค่าเพื่อนำกล้วยดิบผงมาผลิตเป็นด้ามไอศกรีมที่สามารถทดแทนด้ามไอศกรีมจากไม้นั้น พบว่าด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผงสามารถทำหน้าที่หลักของด้ามไอศกรีมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถประคองเนื้อไอศกรีมขนาด 18 กรัม นอกจากนี้ไม้ไอศกรีมจากกล้วยดิบผงยังรับประทานได้ซึ่งถือว่าเป็นการเพิ่มคุณค่าให้กับด้ามไอศกรีมและกล้วยดิบผง ในการประเมินทางเทคนิคพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งและค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ได้แก่ อัตราส่วนกล้วยดิบผงต่อแป้งสาลี และปริมาณน้ำตาล โดยสามารถสรุปส่วนผสมในการขึ้นรูปและเวลาในการอบ ที่ให้หน้าที่ของด้ามไอศกรีมเหมาะสมที่สุดคือกล้วยดิบผงต่อแป้งสาลีต่อน้ำตาลต่อน้ำร้อยละ 42 : 11 : 21 : 26 โดยน้ำหนัก ใช้เวลาในการอบนาน 40 นาที โดยใช้อุณหภูมิของการอบ 150 องศาเซลเซียสและขนาดของเตาอบ 2.67 กิโลวัตต์ ด้วยเหตุผลดังนี้

1) ที่ส่วนผสมดังกล่าวให้ผลค่าความแข็งเท่ากับ 38.53 นิวตัน และค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้เท่ากับ 0.068 ซึ่งมีค่าความแข็งสูงสุด

2) เมื่อสอบถามความคิดเห็นของผู้บริโภคให้ผลสอดคล้องกันว่าด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผงนี้สามารถบริโภคคู่กับไอศกรีมได้เป็นอย่างดี โดยด้ามไอศกรีมที่มีสัดส่วนของกล้วยดิบผงมากกว่าจะมีรสชาติขมกว่า

3) จากการศึกษาอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (shelf life) ซึ่งหมายถึงความสามารถในการประคองเนื้อไอศกรีมนั้น พบว่าด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผงนี้มีอายุการใช้งานสูงสุด 8 วัน อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่สั้นอาจเกิดจากความชื้นของเนื้อไอศกรีม เมื่อเปรียบเทียบกับด้ามไอศกรีมจากไม้พบว่ามีอายุการใช้งานยาวนานกว่า ดังนั้นในการพัฒนาต่อไปควรมีการวิจัยถึงค่าความชื้นและการเพิ่มสารเคลือบผิวเพื่อให้ด้ามไอศกรีมจากกล้วยดิบผงสามารถประคองไอศกรีมได้นานมากยิ่งขึ้น

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมศุลกากร. *สถิติการนำเข้า-ส่งออก*, 2563. เข้าถึงได้จาก: http://www.customs.go.th/statistic_report.php?show_search=1 [ค้นเมื่อ 15 กันยายน 2563].

[2] ไกรสร วงษ์ปู่ และ ปริดา จิ๋วปัญญา. การออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากใบบัว. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา*, 2564, 6 (1), pp. 19-27. เข้าถึงได้จาก: https://doi.org/10.14456/rmutlengj.2021.3 [ค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2564]

[3] อรชลลดา ทับทิมดี, ทรงวุฒิ เอกวุฒิวงศา และ พิชัย สดภิบาล. ศึกษาและพัฒนากระบวนการใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุตอซังข้าวสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม. *วารสารวิชาการ ศิลปะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 2562, 10 (2), pp. 127-139.

[4] สุทธินี สีสังข์. *คุณสมบัติของแป้งที่มีผลต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ*. กองวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ กรมประมง, 2563. เข้าถึงได้จาก: https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20200722153849_1_file.pdf [ค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2564]

[5] Davidson, I. *Biscuit, cookie and cracker production: process, production and packaging equipment*. 2nd ed. Academic Press, 2018, pp. 1-12.

[6] จารุวรรณ บางแวก, บุญญวดี จิระวุฒิ, คมจันทร์ สรงจันทร์, งามพิศ สุดเสน่ห์ และ วีรภรณ์ เดชนำบัญชาชัย. *คู่มือการลดการสูญเสียกล้วย*, กรมวิชาการเกษตรร่วมกับองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ, 2562.

[7] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารกรมส่งเสริมการเกษตร. *ภาพรวมการปลูกไม้ผล*: ปีการเพาะปลูก 2561, 2562. เข้าถึงได้จาก: http://www.agriinfo.doae.go.th/year62/plant/rortor/fruit/all.pdf [ค้นเมื่อ 15 กันยายน 2563]

[8] Boz, H. Effect of flour and sugar particle size on the properties of cookie dough and cookie. *Czech Journal of Food Sciences*, 2019, 37(2), pp. 120-127. DOI: 10.17221/161/2017-CJFS.

[9] สุปรียา ยืนยงสวัสดิ์ และ สุดใจ คงทอง. *การศึกษาคุณสมบัติของสารสกัดโพลีแซกคาไรด์จากเปลือกกล้วยไข่ กล้วยน้ำว้าและกล้วยหอม*. งานวิจัยคณะเภสัชศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2537.

[10] อัมพิกา ไกรฤทธิ์. *วิศวกรรมคุณค่า*, พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

[11] สกาวรัตน์ กษมาประพฤทธิ และ ฉัตรชัย คุณค้ำชู. *การสร้างเครื่องวัดเนื้อสัมผัสอัตโนมัติ*. โครงงานวิศวกรรมการอาหารภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน, 2541.

[12] วลัย หุตะโกวิท, บุษรา สร้อยระย้า, ชมภูนุช เผื่อนพิภพ และ ดวงกมล ตั้งสถิตพร. *การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปจากแป้งกล้วยด้วยเทคโนโลยีเอกซ์ทรูชัน*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2553. DOI: 10.14457/RMUTP.res.2010.1

[13] Van der Sman, R. G. M. and Renzetti, S. Understanding functionality of sucrose in biscuits for reformulation purposes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2019, 59(14), pp. 2225-2239. DOI: 10.1080/10408398.2018.1442315

[14] Belcourt, L. A. and Labuza, T. P. Effect of raffinose on sucrose recrystallization and textural changes in soft cookies. *Journal of food science*, 2007, 72(1), pp. C065-C071. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2006.00218.x

[15] Douglas, C. M. *Design and analysis of experiments*, 9th ed. Hoboken: John wiley & sons, 2017.

[16] พัฐรัศมิ์ ว่องไชยกุล, ศิริลักษณ์ หาพันธ์นา และ ชานนท์ คล่องแคล่ว. *ไอศกรีมครีโม ทางเลือกใหม่สำหรับผู้สนใจธุรกิจไอศกรีม*, 2561. เข้าถึงได้จาก: https://positioningmag.com/1194344 [ค้นเมื่อ 19 สิงหาคม 2563]

[17] Alibaba, *Wooden ice cream sticks*, 2021. Available from: https://www.alibaba.com/products/wooden_ice_cream_sticks.html [Accessed 7 October 2021]

[18] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. *Emission Factor*, 2559. เข้าถึงได้จาก: http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/products_emission/products_emission.pnc [ค้นเมื่อ 10 มกราคม 2564]