

<http://journal.rmutp.ac.th/>

การประเมินประสิทธิภาพเครื่องอัดลูกอมชิ่ง

ณศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย¹ ทิพาพร คำแดง¹ จิระพล กลิ่นบุญ² และ นำพร ปัญโญใหญ่^{1*}

¹ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

¹ 63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

² 96 หมู่ 3 ถนนพุทธมณฑล สาย 5 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

รับบทความ 31 มีนาคม 2564 แก้ไขบทความ 12 กรกฎาคม 2564 ตอรับบทความ 16 สิงหาคม 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบ ประเมินประสิทธิภาพ และอัตราการทำงาน ในกระบวนการอัดลูกอมชิ่ง เพื่อลดระยะเวลาและแรงงานของวิสาหกิจชุมชน พิมมาลาเฮิร์บส์ จังหวัดเชียงราย โครงสร้างหลักของเครื่องอัดลูกอมชิ่ง ประกอบด้วยระบบส่งกำลังใช้มอเตอร์ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ หมุนสกรูอัดผ่านชุดหน้าแปลน และชุดควบคุมความเร็วรอบ ทำการทดสอบที่ความเร็วรอบ 3 ระดับ คือ $1,000 \pm 10$ $1,200 \pm 10$ และ $1,400 \pm 10$ รอบต่อนาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของลูกอมชิ่งหลังอัด 9.7 มิลลิเมตร ผลการทดสอบพบว่า เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพและอัตราการทำงานมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ความเร็วรอบที่เหมาะสมในการอัดลูกอมชิ่ง คือ $1,400 \pm 10$ รอบต่อนาที ประสิทธิภาพการทำงานจะแปรผันตามอัตราการป้อนเนื้อชิ่งกวน เมื่ออัตราการป้อนเนื้อชิ่งกวนเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นตาม ทดสอบอัตราการป้อน 8 ระดับ ที่ 300 500 600 900 1,000 1,500 2,000 และ 3,000 กรัม ตามลำดับ ได้ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดคือ 90.85 เปอร์เซ็นต์ ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์พบว่า ค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่องอัดลูกอมชิ่งเท่ากับ 18,063.6 บาทต่อปี พิจารณาการทำงานของเครื่องอัดลูกอมชิ่งที่ 792 ชั่วโมงต่อปี มีระยะเวลาคืนทุน 6 เดือน 11 วัน

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพ; ลูกอมชิ่ง; อัตราการทำงาน

<http://journal.rmutp.ac.th/>

Efficiency Evaluate of Ginger Candy Machine

Thanasit Wongsiriamnouy¹ Tipapon Khamdeang¹ Jirapol Klinbun² and Numpon Panyoyai^{1*}

¹ Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin Salaya Campus

¹ 63 Moo 4 Nonghan, Sansai, Chiang Mai 50290

² 96 Moo 3 Phutthamonthon Sai 5 Road, Salaya, Phutthamonthon, Nakhon Pathom 73170

Received 31 March 2021; Revised 12 July 2021; Accepted 16 August 2021

Abstract

This research objective was to design the ginger candy compression machine and determine the efficiency and capacity for saving time and labor in pressing ginger candy for community enterprise groups Pim Malaherb, Chiang Rai Province. Ginger candy compression machine consists of the main structure, namely the extruder and power transmission systems. The machine was designed with two horsepower motors or 1.5 kilowatts to drive the shaft and to rotate the screw through the flange. This study installs the inverter to control the motor speed at $1,000\pm 10$, $1,200\pm 10$ and $1,400\pm 10$ rpm. The extrusion die had an average diameter of 9.7 millimeters. The results found that the motor's speed that was suitable for compression was a Rotational speed of $1,400\pm 10$ rpm. When the speed increased, the efficiency and the working rate increased too. The amount of ginger stirred was used at 300 500 600 900 1,000 1,500 2,000 and 3,000 grams. The maximum efficiency was 90.85 percent. The efficiency increased with the amount of ginger stirred. The ginger candy compression machine's engineering economic analysis results found that the machine's operating cost was 18,063.6 baht per year. When considering the machine's operation at 792 hours per year, the payback period was 6 months and 11 days.

Keywords : Efficiency; Ginger Candy; Working Rate

** Corresponding Author. Tel.: +668 1784 0249, E-mail Address: n.panyoyai@gmail.com*

1. บทนำ

ขิง เป็นสมุนไพรพื้นบ้านที่หายากราคาถูก เป็นพืชที่พบได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย ขิงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ (Zingiber Officinale Roscoe) มีคุณสมบัติทางยาในการลดอาการท้องอืด ช่วยบรรเทาอาการไมเกรน ช่วยป้องกันมะเร็ง ช่วยลดน้ำตาลในเลือด และ ช่วยกระตุ้นให้เลือดไหลเวียนได้สะดวก นอกจากนี้ ยังนิยมเพาะปลูกกันมากในเขตร้อนและกึ่งร้อนหลายประเทศ ทั้ง จีน อินเดีย ไนจีเรีย ออสเตรเลีย จาเมกาและเซติ เนื่องจากคุณสมบัติที่ใช้ประกอบอาหารและคุณสมบัติทางยา [1] นอกจากนั้นขิงแห้งหรือขิงผงยังใช้ในการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น เบียร์ ไวน์และเบียร์ ในหลายๆประเทศ กรณีของน้ำมันจากขิงนั้นยังสามารถใช้เป็นส่วนประกอบในขนมและน้ำอัดลมด้วย [2]

จากคุณสมบัติที่กล่าวมา จึงได้มีการนำขิงมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ลูกอมสมุนไพร เช่นลูกอมขิง ซึ่งมีน้ำตาลและเนื้อขิงเป็นส่วนประกอบหลัก มีประโยชน์ในการช่วยเจริญอาหาร ลดอาการคลื่นไส้อาเจียน [3] โดยลูกอมขิงของวิสาหกิจชุมชน พิมมาลาเฮิร์บส์ มีส่วนประกอบของน้ำตาลร้อยละ 15 ขิงได้ถูกนำมาใช้ทดแทนผลไม้บางชนิดที่นำเข้าจากต่างประเทศ ในการผลิตผลิตภัณฑ์ลูกอม อีกทั้งยังได้ สี กลิ่น รส ที่เป็นธรรมชาติ ลดการเติม สี กลิ่นและรสสังเคราะห์ ทำให้สุขภาพของผู้บริโภคมีความปลอดภัย รวมถึงเป็นการส่งเสริมการปลูกขิงเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรม รวมถึงการใช้กากที่เหลือจากกระบวนการแปรรูป แล้วนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม ซึ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก [4] อย่างไรก็ตามเนื่องจาก กลิ่นฉุนและรสชาติที่เผ็ด จึงมีข้อจำกัด ในการพัฒนาขิงให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป ดังนั้นผลิตภัณฑ์จากขิงที่มีอยู่ในตลาดจึงมีน้อย เช่น ลูกอม ยาชูกำลัง และน้ำเชื่อม ถึงอย่างไร ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากขิงยังคงมีความต้องการสูง ด้านส่วนประกอบของขนมต่างๆ [5] เป็นต้น นอกจากนั้นขิงยังสามารถนำมาแปรรูปเป็นน้ำขิงโดยการสกัดทางเคมีด้วยตัวทำละลายหรือการสกัดด้วย

กรรมวิธีทางกล [6] สำหรับวิธีการสกัดทางเคมีนั้นต้องใช้ตัวทำละลายอินทรีย์เพื่อให้ได้น้ำมันจากเนื้อขิง [7] วิธีการสกัดแบบนี้เกษตรกรไม่ได้นำมาใช้เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง และมีความซับซ้อนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดมาก

ในปัจจุบันได้มีการผลิตลูกอมขิงแต่พบปัญหาด้านกำลังในการผลิตเนื่องจากข้อจำกัดด้านคุณสมบัติของลูกอมขิง ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดในการนำเครื่องจักรเข้ามาช่วยในการผลิตเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งการออกแบบเครื่องอัดเม็ดลูกอมขิงนั้นได้พิจารณาขั้นตอนต่างๆ จากคุณสมบัติทางกายภาพของลูกอมขิงมาใช้ในการออกแบบเป็นสำคัญ

2. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและหาประสิทธิภาพของเครื่องอัดลูกอมขิง มีขั้นตอนการดำเนินงานและการทดลองดังต่อไปนี้

2.1 ขั้นตอนการออกแบบ



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องอัดลูกอมขิง

โครงสร้างหลักของเครื่องอัดลูกอมขิง ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม เนื่องจากเป็นเครื่องจักรสำหรับกระบวนการทางอาหาร และเพื่อรองรับอุปกรณ์ส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งต้องมีความแข็งแรงพอที่จะรองรับชิ้นส่วนต่างๆ ได้เป็นอย่างดี [8] ขั้นตอนการออกแบบส่วนประกอบ สามารถแยกส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอัดแท่งลูกอมขิงออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

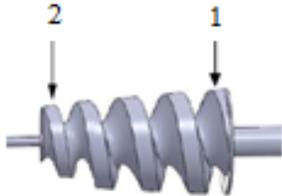
2.1.1 ชุดกระบอกอัด



รูปที่ 2 ชุดกระบอกอัด

ด้านบนมีช่องป้อนเนื้อชিংกวน หน้าแปลนยึดติดกับกระบอกลดขนาดด้านหน้าชุดกรวย ชุดกระบอกเกลียวอัดรับแรงขับจากมอเตอร์ ทำหน้าที่ลำเลียงเนื้อชিংกวนเข้าสู่กระบอกลดขนาดและรีดออกทางหน้าแปลน

2.1.2 ชุดสกรูอัด



รูปที่ 3 ชุดสกรูอัด

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ สกรูส่วนด้านท้าย มีลักษณะเกลียวที่มีขนาดใหญ่กว่า มีช่องว่างระหว่างเกลียวทำหน้าที่ลำเลียงเนื้อชিংกวนไปอัดในส่วนด้านหน้า สกรูส่วนด้านหน้ามีลักษณะเกลียวที่เล็กลงตามขนาดของกระบอกลดขนาดเพื่อสร้างแรงดันในการอัดเนื้อชিংให้ติดกันเป็นแท่ง

2.1.3 ชุดหน้าแปลน



รูปที่ 4 หน้าแปลนสามช่องอัด

ทำหน้าที่รองรับเนื้อชিংที่ทำการอัดในช่วงกระบอกอัดเพื่อกำหนดลักษณะเนื้อชিংให้เป็นที่ทรงกระบอกกลมตามลักษณะของช่องอัด โดยเนื้อชিংอัดแท่งที่ไหลออกมาตามช่องอัดหน้าแปลนที่มีลักษณะเป็นที่ทรงกระบอกกลม

2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัย เพื่อให้ได้เครื่องอัดลูกอมชিংที่มีประสิทธิภาพการใช้งานที่ดี ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของเครื่องอัดแท่งลูกอมชিংและคุณลักษณะเฉพาะทางกายภาพของลูกอมชিংที่ได้จากการเครื่องอัด ดังต่อไปนี้

2.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพและอัตราการผลิต

ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดลูกอมชিংมีวิธีการดำเนินงานดังต่อไปนี้ เตรียมเนื้อชিংกวนสำหรับการทดสอบการอัดครั้งละ 300 กรัม โดยทำการวัดค่าความชื้นของเนื้อชিংก่อนการทดสอบ ตัวอย่างละ 3-4 กรัม จำนวน 3 ตัวอย่าง หลังจากนั้น เปิดเครื่องอัดแท่งลูกอมชিং และตั้งความเร็วรอบตามตัวแปรกำหนดไว้ คือ 1,000±10, 1,200±10 และ 1,400±10 รอบต่อนาที ตามลำดับ ทำการป้อนเนื้อชিংกวนเข้าเครื่องอัด พร้อมจับเวลาที่ใช้ในการทดสอบ และทำการบันทึกผลการทดลอง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ตามตัวแปรที่กำหนด หลังจากนั้น ทดสอบอัตราการป้อน 8 ระดับ ที่ 300 500 600 900 1,000 1,500 2,000 และ 3,000 กรัม บันทึกผลการทดสอบ นำผลการทดสอบที่ได้ไปคำนวณหาค่าอัตราการผลิต และค่าประสิทธิภาพของเครื่องอัด โดยใช้สมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ ดังนี้

$$Product\ rate = \frac{m_{output}}{time} \tag{1}$$

โดยที่

Product rate คือ อัตราการผลิต (กรัม/นาที)

m_{output} คือ มวลลูกอมชিংหลังอัด (กรัม)

time คือ เวลาในการอัด (นาท)

$$Efficiency = \frac{m_{output}}{m_{input}} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่

Efficiency คือ ประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)

m_{output} คือ มวลลูกอมขิงหลังอัด (กรัม)

m_{input} คือ มวลเนื้อขิงก่อนอัด (กรัม)

2.2.2 การทดสอบลักษณะเฉพาะทางกายภาพ

ขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพของลูกอมขิงที่ผ่านการอัดเป็นแท่งแล้ว เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของลูกอมขิงที่ผลิตได้จากเครื่องอัดลูกอมขิงกับลูกอมขิงที่จำหน่ายโดยวิสาหกิจชุมชนสำหรับค่าความชื้นของลูกอมขิงหลังการอัดหาได้จากสมการที่ (3) ดังนี้

$$MC = \frac{w-d}{w} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่

MC = ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)

w-d = มวลก่อนอบ - มวลหลังอบ (กิโลกรัม)

w = มวลก่อนอบ (กิโลกรัม)

2.2.3 การทดสอบค่าเนื้อสัมผัส

ใช้เครื่อง Texture Profile Analysis ดังรูปที่ 5 ด้วยวิธีทดสอบแบบ TPA ใช้หัวกดรหัส P/50 วัดแรงกด



รูปที่ 5 เครื่อง Texture Profile Analysis

โดยที่ TPA คือ การที่หัววัดกดตัวอย่างลง 2 ครั้งเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ คุณสมบัติที่ทำการศึกษามีดังนี้

ค่า Adhesiveness คือ การยึดติด

ค่า Springiness คือ ความยืดหยุ่นของอาหาร

ค่า Cohesiveness คือ การเกาะติด

ค่า Gumminess คือ ลักษณะที่อาหารกึ่งแข็งที่แตกตัวออกจนพร้อมที่จะกลืนได้

ค่า Chewiness คือ ค่าความเคี้ยวได้ หรือความต้านทานการเคี้ยว

2.2.4 การวัดค่าสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer

หลังจากที่ขิงกวนผ่านการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแล้ว นำไปวัดค่าสีของลูกอมขิง โดยใช้ระบบ L* - a* - b* ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ แกน L* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่าสีแสดงสีขาว (+L*) จนไปถึงค่าสีแสดงถึงสีดำ (-L*) สำหรับแกน a* จะบรรยายถึงแกนสีจากสีเขียว(-a*) ไปจนถึงสีแดง (+a*) ส่วนแกน b* นั้นจะบรรยายถึงแกนสีจากสีน้ำเงิน(-b*) ไปจนถึงสีเหลือง (+b*) โดยใช้เครื่องทดสอบการวัดค่าสี ตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 เครื่องวัดค่าสี Colorimeter

2.2.5 การวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการทำงานและ

การคำนวณจุดคุ้มทุน ค่าใช้จ่ายในการทำงาน ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost, FC) และ ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost, VC) และการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period; PBP) คือ ระยะเวลาจากการเริ่มลงทุนจนถึงเวลาที่รายได้สุทธิเฉลี่ยต่อปีจากการใช้อุปกรณ์มีค่าเท่ากับการลงทุน ซึ่งเขียนให้อยู่ในรูปสมการที่ (4)-(6) ตามลำดับ

$$TC = FC + VC \quad (4)$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท)} = \frac{TC}{(Cap \times h \times A)} \quad (5)$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน(ปี)} = \frac{\text{ราคาเครื่อง (P)}}{\text{รายได้สุทธิจากการขาย}} \quad (6)$$

โดยที่

- TC คือ ค่าใช้จ่ายรวม (บาท/ปี)
 FC คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ (คือบาท/ปี)
 VC คือ ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาท/ปี)
 Cap คือ การทำงานของเครื่องจักร (บาท/ชั่วโมง)
 h คือ ชั่วโมงการทำงานต่อวัน (ชั่วโมง/วัน)
 A คือ จำนวนวันที่ปฏิบัติงานต่อปี (วัน/ปี)
 P คือ ราคาเครื่องจักร (บาท)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอัดลูกอมชিং แสดงดังรูปที่ 7

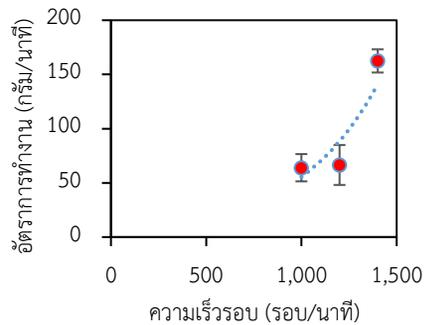


รูปที่ 7 การอัดลูกอมชিং

มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทำการประเมินประสิทธิภาพการทำงาน ที่เงื่อนไขที่ดีที่สุดของเครื่อง โดยทำการทดสอบการอัดขึ้นรูปลูกอมชিং โดยป้อนเนื้อชিংกวนครึ่งละประมาณ 300 กรัม ที่ความเร็วรอบ 1,000±10 1,200±10 และ 1,400±10 รอบต่อนาที ตามลำดับ ทำการทดสอบความเร็วรอบละ 3 ซ้ำ

3.1 อัตราการทำงานของเครื่องอัดลูกอมชিং

จากผลการทดสอบหาอัตราการทำงานด้วยการชั่งน้ำหนักหลังอัดเปรียบเทียบกับเวลาการทำงาน โดยใช้เนื้อชিংกวนครึ่งละ 300 กรัม ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ พบว่า ค่าเฉลี่ยของอัตราการทำงานที่ความเร็วรอบ 1400±10 รอบต่อนาที มีค่าสูงสุด 162.5 กรัมต่อนาที และอัตราการทำงานที่ 1,000±10 และ 1200±10 รอบต่อนาที มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีค่าน้อยสุดที่ 64 กรัมต่อนาที แสดงได้ดังรูปที่ 8



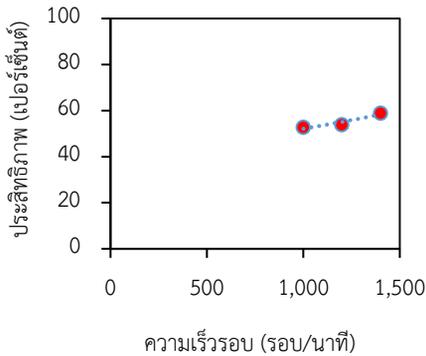
รูปที่ 8 อัตราการทำงานของเครื่องอัดลูกอมชিং

จากผลทดสอบที่ความเร็วรอบสูงจะได้อัตราการทำงานที่สูงกว่า สาเหตุเนื่องจากความเร็วรอบส่งผลต่อปริมาณเนื้อชিংที่ลำเลียงและเวลาที่ใช้ในการอัด คือที่ความเร็วรอบสูงการลำเลียงเนื้อชিংผ่านสกรูเพื่ออัดจะมีปริมาณมากกว่า และใช้เวลาน้อยลง ทำให้อัตราการทำงานของเครื่องอัดแท่งลูกอมชিংเพิ่มสูงขึ้น

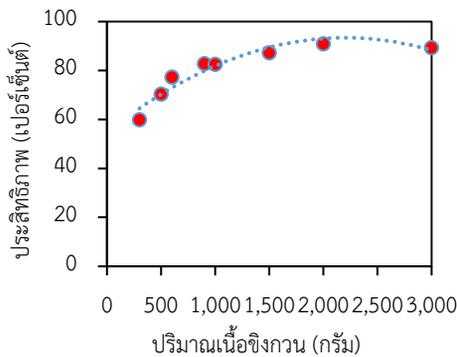
3.2 ค่าประสิทธิภาพของเครื่องอัดลูกอมชিং

จากผลการทดสอบและการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยโดยใช้เนื้อชিংกวนครึ่งละ 300 กรัม

พบว่าค่าประสิทธิภาพของเครื่องอัดลูกอมซึ่งที่ความเร็วรอบ 1,400±10 รอบต่อนาที มีค่าสูงสุดที่ 58.94 เปอร์เซ็นต์ และค่าประสิทธิภาพความเร็วรอบที่ 1,000±10 รอบต่อนาที มีค่าน้อยสุดที่ 52.7 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความเร็วรอบที่มากกว่าส่งผลต่อความเร็วการป้อนเนื้อซึ่งได้มากกว่า แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลของความเร็วรอบต่อประสิทธิภาพเครื่องอัดลูกอมซึ่งโดยใช้เนื้อชিংกวครั้งละ 300 กรัม



รูปที่ 10 ผลของปริมาณเนื้อชিংกวต่อประสิทธิภาพเครื่องอัดลูกอมซึ่ง

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดที่ 1,400±10 รอบต่อนาที ทำการเพิ่มปริมาณชিংกวในแต่ละการทดสอบ พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอัดจาก 58.94 เปอร์เซ็นต์ ไปจนถึง 90.85 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นปริมาณชিংกวที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการอัดเพิ่มขึ้นตาม สามารถเพิ่มปริมาณชিংกวจนถึง 2,000 กรัม จะได้ค่าประสิทธิภาพ

การอัดสูงสุดที่ 90.85 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มปริมาณเนื้อชিংกว พบว่าไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอัดของเครื่องได้ เนื่องจากมีปริมาณเนื้อชিংกวคงค้างในสกรูอัดมากขึ้น ผลการทดสอบประสิทธิภาพการอัดของเครื่องอัดลูกอมซึ่งที่ความเร็ว 1,400±10 รอบต่อนาที แสดงดังรูปที่ 10

3.3 ผลการทดสอบหาปริมาณค่าความชื้น

จากการนำชিংกวก่อนอัดและลูกอมซึ่งหลังอัดมาทดสอบเพื่อหาปริมาณความชื้น ใช้เวลาอบ 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน AOAC และคำนวณโดยใช้สมการที่ (3) พบว่าก่อนอัดขึ้นรูปลูกอมซึ่ง มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 และหลังอัดมีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 3 ของน้ำหนักทดสอบ แสดงดังตารางที่ 1 และ 2

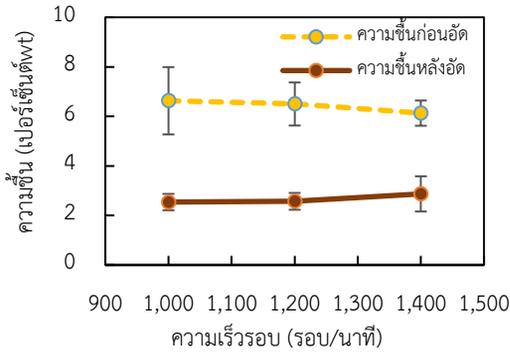
ตารางที่ 1 ปริมาณความชื้นของเนื้อชিংกวก่อนการอัด

RPM	มวลเฉลี่ย ก่อนอบ (g)	มวลเฉลี่ย หลังอบ (g)	ปริมาณความชื้น (%wt)
1,000±10	2.74 ± 0.02	2.56 ± 0.06	6.63 ± 1.36
1,200±10	3.06 ± 0.22	2.86 ± 0.20	6.50 ± 0.87
1,400±10	3.45 ± 0.08	3.24 ± 0.06	6.13 ± 0.51

ตารางที่ 2 ปริมาณความชื้นของเนื้อชিংกวหลังการอัด

RPM	มวลเฉลี่ย ก่อนอบ (g)	มวลเฉลี่ย หลังอบ (g)	ปริมาณความชื้น (%wt)
1,000±10	3.58 ± 0.50	3.49 ± 0.50	2.54 ± 0.33
1,200±10	4.09 ± 0.80	3.99 ± 0.80	2.57 ± 0.34
1,400±10	3.38 ± 0.82	3.29 ± 0.82	2.87 ± 0.71

ผลการทดสอบพบว่าค่าความชื้นมีค่าลดลงหลังจากการอัดเม็ดลูกอมซึ่ง เนื่องจากเกิดแรงดันและความร้อนภายในกระบอกอัด ทำให้ความชื้นของเนื้อชিংกวลดลง พบว่าค่าความชื้นก่อนกระบวนการอัด มีค่าอยู่ระหว่าง 6.13 ถึง 6.63 เปอร์เซ็นต์ หลังจากการอัดค่าความชื้นมีค่าลดลง มีค่าอยู่ระหว่าง 2.54 ถึง 2.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ความชื้นก่อนอัดและหลังอัดขึ้นรูปลูกอมชิ่ง

3.4 ผลการทดสอบค่าสีของลูกอมชิ่งหลังอัด

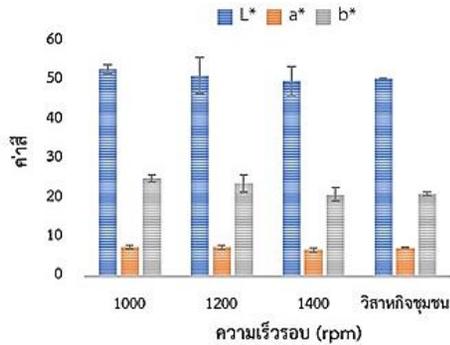
การทดสอบค่าสีของลูกอมชิ่งด้วยเครื่อง Colorimeter สามารถทดสอบคุณสมบัติเชิงแสงที่บ่งบอกลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถบอกค่าของสีที่ใช้เป็นมาตรฐานสากลได้ โดยมีระบบที่แสดงค่า C.I.E. LAB (L*, a*, b*) [9] ที่ใช้ในการวัดค่าสีของลูกอมชิ่งที่ผ่านการอัดขึ้นรูป ที่ความเร็วรอบ 1,000±10 1,200±10 และ 1,400±10 รอบต่อนาที ค่าสีที่วัดได้จะนำมาเปรียบเทียบกับค่าสีของผลิตภัณฑ์จากวิสาหกิจชุมชน ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสี L* a* b* ของลูกอมชิ่งหลังการอัด

RPM	L* เฉลี่ย	a* เฉลี่ย	b* เฉลี่ย
1,000±10	52.93 ± 1.08	7.49 ± 0.43	25.03 ± 0.85
1,200±10	51.37 ± 4.61	7.47 ± 0.60	23.86 ± 2.17
1,400±10	49.90 ± 3.76	6.78 ± 0.51	21.01 ± 1.83
วิสาหกิจฯ	50.56 ± 0.14	7.36 ± 0.08	21.17 ± 0.45

ทำการวิเคราะห์ค่าสีของลูกอมชิ่ง หลังจากกระบวนการอัดที่ความเร็วรอบ 1,000±10 1,200±10 และ 1,400±10 รอบต่อนาที และลูกอมชิ่งจากวิสาหกิจชุมชนต้นแบบ มาวัดค่าสี พบว่า ค่าสีที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่าความร้อนในกระบอกอัดมีอุณหภูมิต่ำจึงไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลที่มีในเนื้อของลูกอมชิ่ง [10] ซึ่งไม่ทำให้สีของลูกอมชิ่งในระหว่างกระบวนการอัดที่ความเร็วรอบต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลง

และเนื้อชิ่งกวนที่ใช้ในการอัดได้มาจากแหล่งผลิตเดียวกัน ทำให้ค่าสีของลูกอมชิ่งจากเครื่องอัดและวิสาหกิจชุมชนฯ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเดียวกัน แสดงได้ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ค่าสีของลูกอมชิ่งหลังอัดเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์จากวิสาหกิจชุมชน

3.5 ผลของความเร็วยรอบที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของลูกอมชิ่งหลังอัด

การทดสอบหาค่าทางกายภาพคือ การหาค่าเนื้อสัมผัสของลูกอมชิ่ง ได้แก่ Hardness, Adhesiveness, Springiness, Cohesiveness, Gumminess และ Chewiness โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer วิธีทดสอบแบบ TPA ใช้หัวกรีดรหัส P/50 กำหนดค่าความเครียดของลูกอมชิ่งเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ และความเร็วหัวกรีด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ผลการทดสอบค่าเนื้อสัมผัสของลูกอมชิ่งที่อัดขึ้นรูปที่ความเร็วรอบ 1,000±10 1,200±10 และ 1,400±10 รอบต่อนาที แสดงดังรูปที่ 13 และตารางที่ 4 [11]



รูปที่ 13 การหาค่าสมบัติทางเนื้อสัมผัสของลูกอมชิ่ง

ตารางที่ 4 ค่าสมบัติทางเนื้อสัมผัสของลูกอมชิ่ง

Texture			
Quality	1,000±10	1,200±10	1,400±10
Attributes			
Hardness (g)	5,293.32 ± 716.77	6,541.64 ± 1,323.72	10,203.47 ± 1,732.84
Adhesiveness	-0.02 ± 0.04	-0.28 ± 0.33	-0.86 ± 0.78
Springiness	0.43 ± 0.03	0.44 ± 0.03	0.49 ± 0.01
Cohesiveness	0.19 ± 0.01	0.19 ± 0.02	0.22 ± 0.04
Gumminess	990.64 ± 199.87	1,287.38 ± 404.49	2,274.16 ± 710.13
Chewiness	427.11 ± 98.45	570.93 ± 179.38	1,122.17 ± 339.97

จากผลการทดสอบหาค่าเนื้อสัมผัสของลูกอมชิ่งด้วยเครื่อง Texture Analyzer ทดสอบตัวอย่างละ 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยพบว่า ค่าเนื้อสัมผัสของลูกอมชิ่งที่ผลิตได้จากเครื่องอัดลูกอมชิ่งต้นแบบ มีค่าแปรผันตรงกับความเร็วรอบ คือที่ความเร็วรอบ 1,400±10 รอบต่อนาที จะได้ค่าเนื้อสัมผัสแต่ละค่ามากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วรอบ 1,200±10 และ 1,000±10 รอบต่อนาที ตามลำดับ ความแตกต่างของเนื้อสัมผัส มีสาเหตุจากความเร็วรอบที่ต่ำจะมีขนาดแรงดันภายในกระบอกจากสกรูอัดน้อยกว่าความเร็วรอบสูง ส่งผลทำให้ค่าเนื้อสัมผัสมีค่าน้อย และเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์จากวิสาหกิจชุมชน พบว่ามีค่าความยืดหยุ่นของลูกอมชิ่งเมื่อออกแรงกดแล้วกลับคืนรูปได้ ไม่ยุบตัวเสียรูปทรง ลูกอมชิ่งที่ผลิตจากเครื่องอัดลูกอมชิ่งต้นแบบมีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์จากวิสาหกิจชุมชน ซึ่งผลของสมบัติทางเนื้อสัมผัสดังกล่าวสอดคล้องกับค่าของผลิตภัณฑ์ลูกอมชิ่งที่วางจำหน่ายในท้องตลาด

3.6 ผลการวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์และประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ตามสมการที่ (4)-(6) พบว่า ต้นทุนในการใช้เครื่องอัดลูกอมชิ่ง มีค่าใช้จ่ายในการทำงาน 18,063.6 บาท/ปี ราคา

เครื่องอัดลูกอมชิ่ง 60,000 บาท รายได้จากการขายลูกอมชิ่ง 130,000 บาท พิจารณาการทำงานของเครื่องอัดลูกอมชิ่งที่ 792 ชั่วโมงต่อปี ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องอัดลูกอมชิ่งเท่ากับ 0.536 ปี หรือ 6 เดือน 11 วัน

4. สรุป

จากการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องอัดลูกอมชิ่ง โดยศึกษาผลของความเร็วรอบต่อกำลังการผลิตจากเครื่องอัดลูกอมชิ่ง สามารถสรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

4.1 เครื่องอัดลูกอมชิ่งทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ใช้มอเตอร์ขนาด 2 แรงม้าเป็นต้นกำลัง มีขนาดเพลาส่งกำลังเท่ากับ 25 มิลลิเมตร และมีสกรูทำหน้าที่สร้างแรงอัด เครื่องอัดลูกอมชิ่งออกแบบจากการคำนวณตามหลักทฤษฎีทางวิศวกรรมศาสตร์ มีค่าเฉลี่ยกำลังการผลิตสูงสุดเท่ากับ 162.48 กรัมต่อนาที หรือ 29.25 กิโลกรัมต่อวัน (3 ชั่วโมงการทำงานต่อวัน) ที่ความเร็วรอบ 1,400±10 รอบต่อนาที

4.2 การทดสอบหาประสิทธิภาพของการผลิตด้วยเครื่องอัดลูกอมชิ่งพบว่า ประสิทธิภาพของการทำงานสูงสุดมีค่าเท่ากับ 90.85 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบ 1,400±10 รอบต่อนาที เวลาในการอัด 3 ชั่วโมง

4.3 ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์พบว่า ค่าใช้จ่ายในการทำงาน 18,063.6 บาท/ปี เมื่อพิจารณาการทำงานของเครื่องที่ 792 ชั่วโมงต่อปี มีระยะเวลาคืนทุนของเครื่องอัดลูกอมชิ่งเท่ากับ 0.536 ปี หรือ 6 เดือน 11 วัน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจาก โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และ วิสาหกิจชุมชน พิมมาลาเฮิร์บส์ จังหวัดเชียงราย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Bartley and A. Jacobs, "Effects of drying on flavor compounds in Australian-grown ginger (*Zingiber officinale*)," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 80, pp. 209-215, 01/15, 2000.
- [2] R. K. Yadav, D. S. Yadav, N. Rai, S. K. Sanwal and P. Sarma, "Commercial prospects of ginger cultivation in north-eastern region," *ENVIS Bull Himal Ecol*, vol. 12, no. 2, pp. 1-5, 2004.
- [3] K. K. Dash, V. M. Balasubramaniam and S. Kamat, "High pressure assisted osmotic dehydrated ginger slices," *Journal of Food Engineering*, vol. 247, pp. 19-29, 2019.
- [4] N. Balasundram, K. Sundram and S. Samman, "Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses," *Food Chemistry*, vol. 99, no. 1, pp. 191-203, 2006.
- [5] A. Nath, B. C. Deka, A. K. Jha, D. Paul and L. K. Misra, "Effect of slice thickness and blanching time on different quality attributes of instant ginger candy," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 50, no. 1, pp. 197-202, 2013.
- [6] O. O. Onu and K. J. Simonyan, "Design and construction of a motorized ginger juice expression machine," *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, vol. 19, no. 3, pp. 163-16, 2017.
- [7] A. Ibrahim and A. P. Onwualu, "Technologies for extraction of oil from oil-bearing agricultural products: A review," *Journal of Agricultural Engineering and Technology (JAET)*, vol. 13, pp. 58-70, 2005.
- [8] P. Polsakkwa, S. Rakarin and T. Khamdaeng, "Optimization of Liquid Removal from *Mesona Chinensis* Bentham Using a Centrifuge Machine," *Journal of Science & Technology MSU*, vol. 38, no. 6, pp. 625-632, 2019.
- [9] T. Khamdaeng, T. Wongsiriamnuay, N. Panyoyai, K. Narkprasom and W. Intagun, "Mechanical properties and melting conditions of beeswax for comb foundation forming," *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, vol. 18, no. 3, pp. 282-293, 2016.
- [10] M. S. Alam et al., "Quality Evaluation of Ginger Candy Prepared by Osmotic Dehydration Techniques," *Food and Nutrition Sciences*, vol. 9, pp. 376-389, 2018.
- [11] S. Somruethai, R. Jiraporn, and M. Jirawan, "Effect of surimi, emulsified soybean oil and tapioca flour ratio on physico-chemical properties and sensory evaluation in fish emulsion sausage," in *Proceedings of 53rd Kasetsart University Annual Conference: Plants, Animal, Veterinary Medicine, Fisheries, Agricultural Extension and Home Economics Bangkok (Thailand)*, 2015: The Thailand Research Fund, pp. 1236-1244.