วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี | Agriculture and Technology Journal

ปีที่ 3 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม 2565 | Vol.3 No.3 September – December 2022

Received: August 30, 2022; Revised: October 5, 2022; Accepted: October 26, 2022

เครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด

A screw press machine for ginger juice extraction

เชิดพงษ์ เชี่ยวชาญวัฒนา[1] รณาพร เสนาสุธรรม[1] ชณัฐ วิพัทนะพร[1] และสุพรรณ ยั่งยืน[1*]

Cherdpong Chiawchanwattana[1], Ranaporn Senasutham[1], Chanat Vipattanaporn[1] and Suphan Yangyuen[1*]

[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม*

[*]Corresponding Author E-mail Address: suphan.y@msu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียวสกัด การพัฒนามีขั้นตอนประกอบด้วย การหาคุณสมบัติทางกายภาพของขิง การออกแบบและสร้างเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียวสกัด ทดสอบสมรรถนะการทำงานโดยใช้แบบฟลูแฟลคทอเรียลด้วยแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม สำหรับเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียวที่พัฒนาขึ้น มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ชุดส่งกำลัง ชุดคายกาก และชุดเกลียวอัด จากผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องบีบสกัดแบบใช้เกลียวโดย ที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 3 ระดับ คือ 32 52 และ 72 รอบต่อนาที กำหนดระยะของช่องคายกาก 3 ระดับ คือ 1 2 และ 3 มิลลิเมตร แบบเกลียว 2 ลักษณะ คือ แบบเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตช์ และแบบเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระยะพิตช์คงที่ พบว่าที่ความเร็วรอบ 32 รอบต่อนาที ขนาดช่องคายกาก 1 มิลลิเมตร และเกลียวแบบเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตช์ สามารถบีบสกัดน้ำขิงได้มากที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการบีบสกัดน้ำขิง ได้เฉลี่ยเท่ากับ 89.52 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้นของกากเฉลี่ย 70.60 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก จากการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์พบว่า จุดคุ้มทุนในการผลิตอยู่ที่ 789.14 ลิตรต่อปี และมีระยะเวลาการคืนทุนภายใน 5 เดือน

คำสำคัญ: ขิง เกลียวอัด การสกัดน้ำขิง

Abstract

This research aims to design and develop a screw press machine for ginger juice extraction. The development steps were to study the physical properties of ginger, design and construct a screw press machine, perform the performance test by Full factorial in Completely Randomized Design (CRD), and carry out the economic analysis. The developed screw press machine consisted of a power transmission unit,

pomace discharge port, and screw press unit. The performance tests of screw press machine were performed at the rotation speed of 32, 52 and 72 rpm, the clearance between a die diameter and casing were 1, 2 and 3 mm, and 2 different screw press sets which were increased root diameter with decreased pitch set and increased root diameter with fixed pitch set. Results showed that at the shaft rotation speed of 32 rpm, clearance between the die diameter and casing of 1 mm and increased root diameter with decreased pitch, the average maximum yield was 89.52% with the moisture in the pressed cake of 70.60% wet base. The break-even point of the compressing machine was 789.14 liters-per-year with the payback period for 5 months.

Keywords: Ginger, Screw press, Ginger juice extraction.

บทนำ

ขั้นตอนการผลิตขิงผงของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร แบ่งออกเป็นการเตรียมน้ำขิง การทำผง และการลดความชื้น โดยขั้นตอนการเตรียมน้ำขิงถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เวลานาน และยังคงใช้แรงงานคนเป็นหลัก โดยเริ่มด้วยการนำขิงแก่คุณภาพดีมาล้างทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้นขนาดเล็ก แล้วผสมน้ำปั่นด้วยเครื่องปั่นเอนกประสงค์ทั่วไป จากนั้นนำมาเทในผ้ากรองเพื่อบีบคั้นแยกกากเส้นใยของขิงออกแล้วจึงนำน้ำขิงไปผสมกับน้ำตาลทรายเคี่ยวในกระทะจนกระทั่งตกผลึก สุดท้ายนำไปลดความชื้นด้วยการตากด้วยแสงแดด บรรจุถุงเพื่อรอการจำหน่ายต่อไป จากการสอบถามและสำรวจความต้องการของกลุ่มแม่บ้านพบว่า ขั้นตอนการเตรียมน้ำขิงค่อนข้างทำได้ล่าช้า เสียเวลา โดยเฉพาะขั้นตอนการบีบคั้นน้ำขิงด้วยผ้ากรองนั้นต้องออกแรงบีบคั้นเพื่อแยกน้ำขิงให้ได้มากที่สุดเท่าที่ทำได้ (ลดการสูญเสียน้ำขิงไปกับกาก) การเติมน้ำผสมในขั้นตอนการปั่นเป็นเพียงการช่วยให้การปั่นได้ละเอียดและง่ายขึ้นหากเติมน้ำมากเกินไปจะทำให้ขั้นตอนการเคี่ยวทำผงใช้เวลานานตามมาด้วย จะเห็นว่ากลุ่มแม่บ้านยังขาดแคลนเครื่องจักรทุ่นแรงและยังคงใช้แรงงานคนเป็นหลัก ถึงแม้จะมีการนำเครื่องปั่นมาใช้แต่ก็เป็นเพียงเครื่องปั่นขนาดเล็ก (เครื่องปั่นอเนกประสงค์ทั่วไป) ที่ยังทำงานได้ไม่เหมาะสม การผลิตด้วยวิธีการปัจจุบันพบอุปสรรคทั้งด้านเวลา ปริมาณน้ำขิงที่ได้ และมีความเมื่อยล้า โดยเฉพาะในช่วงที่จำเป็นต้องเร่งผลิตขิงผงให้ทันกับฤดูกาลเก็บเกี่ยวของขิงที่มีผลผลิตจำนวนมาก การใช้เครื่องจักรทุ่นแรงที่เหมาะสมจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขิงผงที่มีคุณภาพดีขึ้น และที่สำคัญคือช่วยลดต้นทุนการผลิตด้านวัตถุดิบลงด้วย ซึ่งหากมีเครื่องจักรช่วยทุ่นแรงในการผลิตนับตั้งแต่การหั่นย่อย การบีบคั้น และกรองแยกกากแล้ว คาดว่าจะช่วยให้กลุ่มแม่บ้านผลิตได้ในปริมาณมากขึ้น ทันเวลา สะดวก และลดความเมื่อยล้าลงได้ ซึ่งผลที่ตามมาคือการผลิตที่รวดเร็ว ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและรสชาติที่ดี

ในการสกัดสารหรือน้ำมันจากพืช มีขั้นตอนและวิธีในการสกัดอยู่หลายวิธี ปัจจุบันกรรมวิธีในการสกัดสารจากพืชที่ใช้กันในทางอุตสาหกรรม มีอยู่ 3 วิธีหลัก ซึ่งประกอบด้วย การสกัดด้วยสารทำละลาย (Solvent extraction) การสกัดด้วยเครื่องบีบอัดแบบไฮดรอลิก (Hydraulic press) และการสกัดด้วยเครื่องบีบสกัดแบบใช้เกลียว (Screw press) การสกัดสารจากพืชโดยใช้สารทำละลายนี้เป็นกรรมวิธีที่นิยมใช้ในโรงงานสกัดเมล็ดพืชน้ำมัน มีการลงทุนด้านเครื่องจักรและขบวนการผลิตในราคาสูง กลไกในการผลิตมีความยุ่งยากซับซ้อน และไม่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนการสกัดสารจากพืชด้วยเครื่องบีบอัดแบบไฮดรอลิก เป็นการใช้แรงกดให้เมล็ดแตกแล้วบีบสารแยกออกมา (ดารณี, 2554) ซึ่งวิธีการนี้มีข้อเสียคือ มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นในกากที่สูง อีกทั้งยังมีการป้อนวัตถุดิบที่ไม่ต่อเนื่อง และต้องใช้ต้นกำลังมากทำให้ต้นทุนของเครื่องมีราคาสูงขึ้น การสกัดแยกสารหรือน้ำมันด้วยเครื่องบีบสกัดแบบใช้เกลียว สามารถป้อนวัตถุดิบได้อย่างต่อเนื่อง กลไกในการทำงานไม่ยุ่งยากซับซ้อนคุ้มทุนในระยะยาว สะดวกในการใช้งาน และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม (อาชัย และคณะ, 2546) จะเห็นได้ว่า ขิงมีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นน้ำขิง ดังนั้น งานวิจัยนี้

มีจุดมุ่งหมายเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียว และทดสอบการทำงานของเครื่องเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบีบสกัดน้ำขิง ซึ่งคาดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรในเกษตรกรรมของไทยต่อไป

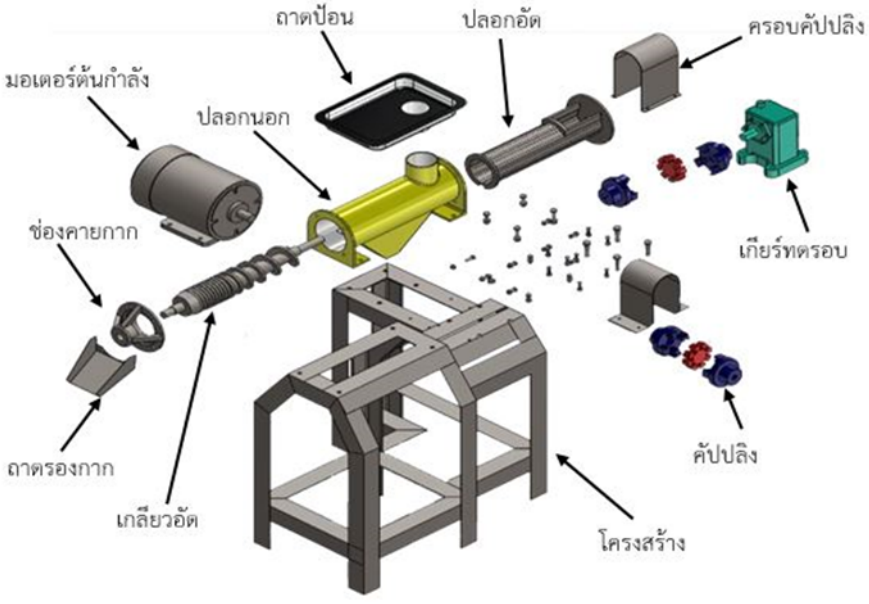
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของขิง

หัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มแม่บ้านผู้ผลิตขิงผง ในเขตพื้นที่อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม เพื่อกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบเครื่อง เพื่อการศึกษาสมบัติทางกายภาพของขิงที่จำเป็นต่อการออกแบบเครื่องบีบสกัด ได้แก่ ขนาด สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Tarighi et al., 2011) และค่าแรงต้านทานของขิง ในการศึกษานี้ใช้ขิงแก่ที่มีจำหน่ายในพื้นที่และเป็นขิงฤดูกาลเดียวกันตลอดการศึกษา จัดเตรียมขิงโดยการล้างทำความสะอาดซึ่งจำเป็นต้องทำการตัดแต่งขิงให้ล้างทำความสะอาดได้ง่าย

การออกแบบและสร้างเครื่องอัดขิงแบบเกลียวอัด

การกำหนดรายละเอียดในการออกแบบเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียวโดยแสดงดังรูปที่ 1 มีส่วนประกอบหลัก คือ โครงเครื่องที่ทำหน้าที่เป็นฐานสำหรับติดตั้งอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ ทั้งหมดโดยต้องมีความแข็งแรงและสามารถรองรับน้ำหนักและแรงกระทำต่าง ๆ ได้ดี มอเตอร์ต้นกำลังที่คำนวณได้จากการทดสอบความแข็งของขิง ชุดเกียร์ทดรอบ ถาดป้อน เกลียวอัดที่ออกแบบไว้สองรูปแบบ (รูปที่ 3) กระบอกอัด และตัวปรับระยะคายกาก

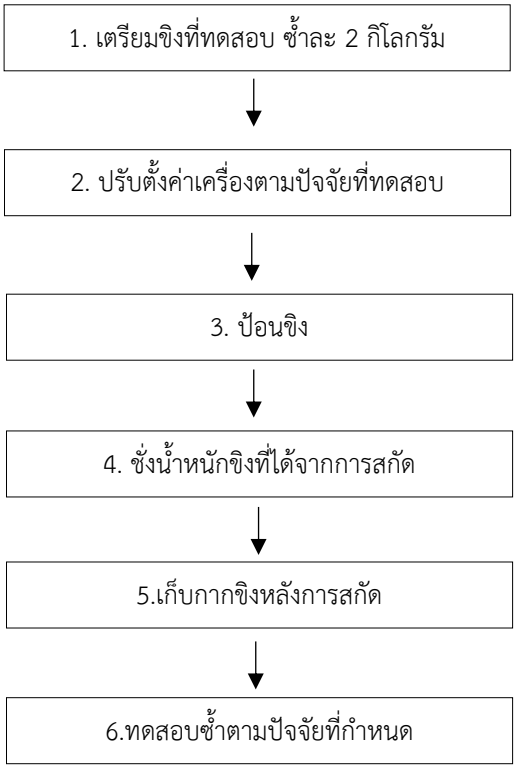


รูปที่ 1 ภาพร่างเครื่องสกัดขิงแบบเกลียวอัดที่ทำการออกแบบ

การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องอัดขิงแบบเกลียวอัด

การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด ได้กำหนดปัจจัยที่ต้องการศึกษาจำนวน 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบของเพลาเกลียวอัดที่ 32 52 และ 72 รอบ/นาที รูปแบบเกลียว 2 รูปแบบคือ แบบเพิ่มเส้นผ่าศูนย์กลางลดระยะพิตช์ และแบบเพิ่มเส้นผ่าศูนย์กลางระยะพิตช์คงที่ และปัจจัยที่สามคือ ขนาดของช่องคายกากที่ 1 2 และ 3 มิลลิเมตร โดยใช้ขิงในการทดสอบครั้งละ 2 กิโลกรัม

ในการทดสอบสกัดน้ำขิงแสดงดังรูปที่ 2 คือเริ่มจากการเตรียมขิงโดยการหั่นขิงให้มีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร จำนวน 2 กิโลกรัม แล้วปรับตั้งชุดอุปกรณ์ตามเงื่อนไขของปัจจัยที่ต้องการศึกษา รอให้เครื่องทำงานจนเข้าสู่สภาวะคงที่ก่อนที่จะเริ่มป้อนขิงที่ได้จัดเตรียมไว้จับเวลาเริ่มต้น เมื่อเครื่องบีบสกัดน้ำจนขิงหมด 2 กิโลกรัม แล้วนำน้ำที่ได้หลังการบีบสกัดไปชั่งน้ำหนักจำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำ เพื่อนำไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่บีบสกัดได้ และหาความสามารถในการบีบสกัดน้ำ จากนั้นทำการสุ่มเก็บตัวอย่างของกากหลังการบีบสกัด จำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 10 กรัม เพื่อนำไปหาความชื้นของกากหลังการสกัด จากนั้นทำการปรับตั้งค่าแบบเกลียว ความเร็วรอบ และระยะช่องคายกาก เพื่อดำเนินการทดสอบจนครบทุกปัจจัย โดยใช้การทดสอบแบบ 3x3x2 Full Factorial in Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยใช้วิธีการทดสอบและคำนวณของ Karaj and MUller (2011) และ Samuel and Alabi (2012) โดยวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการทดสอบเครื่องบีบสกัดขิงแบบเกลียวอัด

ทั้งนี้ในการคำนวณหาค่าชี้ผลซึ่งได้แก่ เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่บีบสกัดได้ เปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาก และความสามารถในการบีบสกัดน้ำ โดยหาได้จากสมการดังนี้

$$\text{Juice\%} = \left[\frac{M_1}{M}\right] x100 \quad (1)$$

Juice = เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่บีบสกัดได้
M1 = น้ำหนักของน้ำที่บีบสกัดได้ (กรัม)
M = น้ำหนักของขิงก่อนบีบสกัด (กรัม)

$$MC(\%w.b) = \left[\frac{w-d}{w}\right] x100 \quad (2)$$

MC = ความชื้นในวัสดุ (เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก)
W = น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุก่อน (กรัม)
d = น้ำหนักแห้งของวัสดุหลัง (กรัม)

$$\text{ความสามารถในการบีบสกัดน้ำ (ลิตร/ชั่วโมง)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำขิงที่บีบสกัดได้ (ลิตร)}}{\text{เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ชั่วโมง)}} \quad (3)$$

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายและหาจุดคุ้มทุนในการลงทุนเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียวใช้หลักการของ (Donnell Hunt, 1976) โดยคิดต้นทุนคงที่ (Fixed cost) ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาแบบวิธีเส้นตรง (Straight-line method) เท่ากับ 5 ปี และค่าเสียโอกาสของเงินทุนที่อัตราดอกเบี้ย 10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับต้นทุนแปรผัน (Variable cost) ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของการสกัดน้ำขิงได้แก่ ค่าแรงงาน ค่าวัตถุดิบ ค่าบำรุงรักษา ค่าไฟ ค่าซ่อมแซม เป็นต้น โดยการคำนวณหาต้นทุนการใช้เครื่อง จุดคุ้มทุน และระยะเวลาคืนทุนเพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกใช้การลงทุนซื้อเครื่องของเกษตรกร และการรับจ้างหรือเพื่อการแนะนำส่งเสริมของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยจะคิดเฉพาะราคาค่าจัดซื้อและสร้าง ไม่รวมราคาที่ดินโรงเรือนและอื่น ๆ โดยสามารถหาระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period) และหาจุดคุ้มทุน (Break-even point) ได้จากสมการที่ (4) และ (5)

$$PBP = \left(\frac{P}{R}\right) \quad (4)$$

PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)
P = ราคาเครื่องจักร (บาท)
R = กำไรสุทธิ (บาทต่อปี)

$$BEP = \left(\frac{F_c}{B - VC}\right) \quad (5)$$

BEP = จุดคุ้มทุน (ชั่วโมงต่อปี)
F_c = ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)
B = อัตราการรับจ้าง (บาทต่อชั่วโมง)
VC = ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาทต่อชั่วโมง)

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของขิง

คุณสมบัติทางกายภาพของขิงหลังการตัดแต่ง มีค่าเฉลี่ยดังนี้ กว้าง 4.30 มิลลิเมตร ยาว 6.80 มิลลิเมตร หนา 2.90 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางเรขาคณิต 4.40 มิลลิเมตร ค่ามุมของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตเท่ากับ 0.6 ที่มุม 33.9 องศา ซึ่งนำไปใช้การออกแบบมุมการไหลของชุดถาดป้อนของขิงเพื่อให้หัวขิงไหลลงได้อย่างต่อเนื่อง และค่าความแข็งด้านกว้างของขิง 37 นิวตัน เมื่อทดสอบเบื้องต้นด้วยเครื่องบีบอัดขิงแบบไฮดรอลิก โดยขิงที่นำมาบีบอัดมีปริมาณน้ำขิงเฉลี่ย 91.86 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก พบว่ามีประสิทธิภาพการบีบสกัดน้ำขิงได้สูงสุด ประมาณ 62.47 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีความชื้นของกากเฉลี่ย 82.48 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

ผลการออกแบบเครื่องบีบสกัดน้ำน้ำขิงแบบใช้เกลียว

การกำหนดรายละเอียดในการออกแบบเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียว (รูปที่ 5) โดยมีส่วนประกอบหลัก คือ โครงเครื่อง มอเตอร์ต้นกำลัง ชุดเกียร์ทดรอบ ถาดป้อน เกลียวอัด กระบอกอัด ปลอกครอบกระบอกอัด และตัวปรับระยะคายกาก โดยมีรายละเอียดของการออกแบบดังนี้

1. โครงเครื่อง ออกแบบโครงเครื่องด้วยเหล็กฉากขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) 510 x 790 x 845 มิลลิเมตร ซึ่งประกอบโครงเครื่องด้วยการเชื่อมไฟฟ้า

2. ต้นกำลัง ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 380 โวลต์ 3 เฟส (2 แรงม้า) หมุนด้วยความเร็วรอบ 1,430 รอบต่อนาที ขึ้นไปเป็นต้นกำลังโดยใช้เครื่องปรับความเร็วรอบ (Inverter) และชุดเฟืองทดรอบในการปรับค่าความเร็วรอบ เพื่อสะดวกในการแปรค่าความเร็วรอบต่าง ๆ

3. เกียร์ทดรอบ ใช้อัตราทด 1:20

4. ถาดป้อน จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของขิงทำให้สามารถออกแบบถาดป้อนคือ โครงสร้างเป็นแบบรูปทรงถาดทำด้วยแผ่นสแตนเลสที่สัมประสิทธิ์มุมเสียดทานสถิตย์ของขิงบนพื้นผิวของวัสดุ เท่ากับ 33.9 องศา ซึ่งเป็นมุมที่ทำให้หัวขิงไหลลงได้อย่างต่อเนื่อง และขนาดของถาด (กว้าง x ยาว x สูง) เท่ากับ 215, 315 และ 37 มิลลิเมตร

5. เกลียวอัด ทำหน้าที่ลำเลียงวัสดุเข้าในกระบอกอัดและทำหน้าที่บีบสกัดเพื่อให้น้ำขิงออกจากขิงแบ่งเป็น 2 แบบ ดังรูปที่ 3 แบบที่ 1 คือ เกลียวแบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลาง และลดระยะพิตซ์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวอัดเท่ากับ 72 มิลลิเมตร ความยาวของเกลียวอัดเท่ากับ 400.76 มิลลิเมตร ความห่างของระยะเกลียวอัด (ระยะพิตซ์) จากช่วงป้อนถึงช่วงอัด เท่ากับ 7, 6, 5, 4, 3, 2 และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ เกลียวอัดแบบที่ 2 คือ เกลียวแบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลาง และระยะพิตซ์คงที่ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวอัดเท่ากับ 72 มิลลิเมตร ความยาวของเกลียวอัดเท่ากับ 400.76 มิลลิเมตร ความห่างของระยะเกลียวอัด (ระยะพิตซ์) จากช่วงป้อนถึงช่วงอัด เท่ากับ 7 มิลลิเมตร ซึ่งอุปกรณ์บีบสกัดแบบเกลียวอัดออกแบบให้สามารถถอดแยกได้เพื่อสะดวกในการซ่อมแซมและบำรุงรักษา

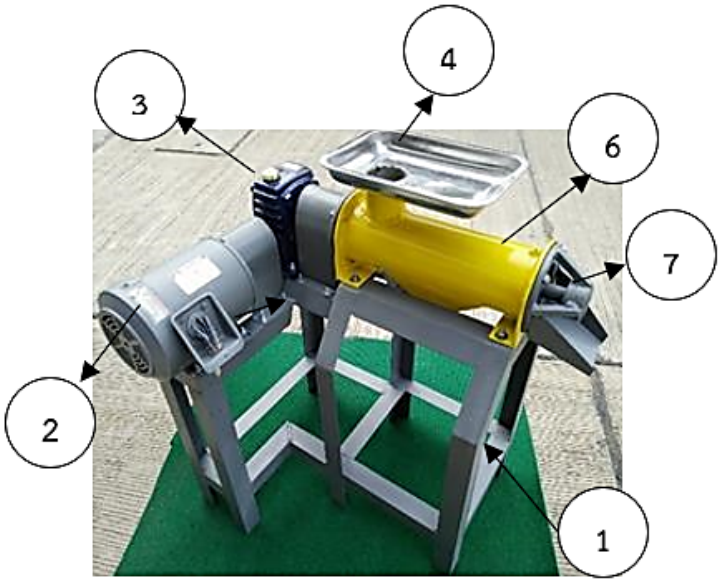
(ก) เกลียวอัดแบบที่ 1 (ข) เกลียวอัดแบบที่ 2

รูปที่ 3 รูปแบบของเกลียวอัดที่ใช้ในการทดสอบเครื่องอัดขิง

6. กระบอกอัด ลักษณะของกระบอกอัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ด้านนอกเท่ากับ 106.10 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในเท่ากับ 76.20 มิลลิเมตร มีความหนาของกระบอกอัดเท่ากับ 9 มิลลิเมตร และมีความยาวเท่ากับ 344.65 มิลลิเมตร กระบอกอัดเจาะรูขนาดเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 4 กระบอกอัดของเครื่องสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด

7. ตัวปรับระยะช่องคายกาก ทำหน้าที่ปรับระยะช่องคายกาก



รูปที่ 5 เครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด

ผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องบีบสกัดน้ำน้ำขิงแบบใช้เกลียวอัด

1. ผลการทดสอบหาความสามารถในการบีบสกัดของเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด ที่ปัจจัยแตกต่างกันได้แก่ เกลียวอัด 2 แบบ คือ เกลียวแบบที่1เพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตซ์ และเกลียวแบบที่ 2 เพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางระยะพิตซ์คงที่ โดยเปรียบเทียบกับความเร็วที่แต่ต่างกัน 3 ระดับ คือ 32, 52 และ 72 รอบต่อนาที และที่ขนาดของช่องคายกาก 3 ขนาดคือ 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) ของปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการทำงานของเครื่องดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ปัจจัยความเร็วรอบ ปัจจัยรูปแบบเกลียวอัด และปัจจัยระยะของช่องคายกากที่ระดับของปัจจัยแตกต่างกันมีผลทำให้ความสามารถในการทำงานมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น

99 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาที่ผลกระทบของปัจจัยร่วม (Interaction effects) พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยความเร็วรอบและรูปแบบเกลียว และระหว่างปัจจัยระยะของช่องคายกากและรูปแบบเกลียวมีผลต่อความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกัน อีกทั้งอิทธิพลร่วมของปัจจัยความเร็วรอบ รูปแบบเกลียวและระยะของช่องคายกากมีผลต่อความสามารถในการทำงานร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปัจจัยความเร็วรอบและระยะของช่องคายกากไม่มีอิทธิพลร่วมกัน

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการทำงานของเครื่อง

Source of variation	df	Mean Square (MS)
Speed (S)	2	78.521**
Type of screw press (T)	1	653.057**
Clearance (C)	2	90.289**
Interaction		
SxT	2	16.666**
SxC	4	2.165^{ns}
CxT	2	11.981**
SxTxC	4	10.283**

หมายเหตุ: ** Highly Significant ($p<0.01$), ns Non-Significant

จากการทดสอบและวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ของเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัดพบว่า ปัจจัยของรูปแบบเกลียวอัดแบบที่ 1 มีความสามารถในการทำงานที่สูงกว่าเกลียวอัดแบบที่ 2 ในทุกระดับของปัจจัยความเร็วรอบและปัจจัยของช่องคายกาก อีกทั้งปัจจัยความเร็วรอบที่สูงขึ้นที่ 72 รอบต่อนาทีทำให้ความสามารถในการทำงานสูงกว่า 32 และ 52 รอบต่อนาที ที่ทุกระดับของปัจจัยรูปแบบเกลียวอัดและระยะช่องคายกาก และสำหรับปัจจัยของระยะช่องคายกากที่ 1 มิลลิเมตร มีความสามารถในการทำงานที่สูงกว่า 2 และ 3 มิลลิเมตร ที่ทุกระดับของปัจจัยรูปแบบเกลียวอัดและความเร็วรอบ ซึ่งที่ระดับปัจจัยของความเร็ว 72 รอบต่อนาที ขนาดของช่องคายกาก 1 มิลลิเมตร และเกลียวอัดแบบที่ 1 คือเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตช์ มีความสามารถในการทำงานที่มากที่สุดคือ 26.09 ±0.99 ลิตรต่อชั่วโมง แสดงในตารางที่ 2 เนื่องจากความเร็วรอบที่สูงขึ้นทำให้ลำเลียงวัตถุดิบได้เร็วทำให้มีความสามารถในการทำงานที่สูงขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้จากการทดสอบยังพบว่า รูปแบบของเกลียวอัดแบบที่ 1 คือ เพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตช์มีความสามารถในการทำงานมากกว่าเกลียวอัดแบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางระยะพิตช์คงที่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการพัฒนาและทดสอบเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียวที่พบว่า เมื่อความเร็วรอบเพิ่มมากขึ้นทำให้ความสามารถในการสกัดน้ำมันสบู่แบบเกลียวอัดของเครื่องมีค่าเพิ่มขึ้นมากเช่นกัน (ธรรมศักดิ์ และธัญญรัตน์, 2551)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาความสามารถในการบีบสกัดของเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด (ลิตร/ชั่วโมง)

Type of screw press	Rotation speed (rpm)	Clearance between a die diameter and casing		
		1 mm.	2 mm.	3 mm.
Type 1	32	16.75^{CD}±1.95	14.06^{EFG}±1.71	12.76^{FGH}±0.72
	52	19.51^{B}±0.63	14.68^{DEF}±0.87	16.33^{DE}±0.70
	72	26.09^{A}±0.99	18.95^{BC}±2.29	16.67^{CD}±0.60
Type 2	32	11.50^{H}±1.70	8.53^{IJ}±1.05	7.89^{J}±1.14
	52	11.73^{GH}±2.36	10.74^{HI}±2.83	8.15^{J}±0.86
	72	12.64^{FGH}±0.97	10.94^{H}±0.62	11.06^{H}±0.47

หมายเหตุ: ตัวอักษรเดียวกันในตารางแสดงถึงความไม่แตกต่างกันของค่าเฉลี่ย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD

2. ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบสกัดได้

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบสกัดได้ ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าปัจจัยของความเร็วรอบความ ปัจจัยของรูปแบบเกลียวอัด และปัจจัยของระยะของช่องคายกากที่ระดับของปัจจัยแตกต่างกันมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบสกัดได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาที่ผลกระทบของปัจจัยร่วม (Interaction effects) พบว่าผลกระทบของปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมกัน

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบสกัดได้

Source of variation	df	Mean Square (MS)
Speed (S)	2	55.474**
Type of screw press (T)	1	206.624**
Clearance (C)	2	21.523**
Interaction		
SxT	2	0.407^{ns}
SxC	4	0.897^{ns}
CxT	2	0.245^{ns}
SxTxC	4	1.283^{ns}

หมายเหตุ: ** Highly Significant ($p<0.01$), ^{ns} Non-Significant

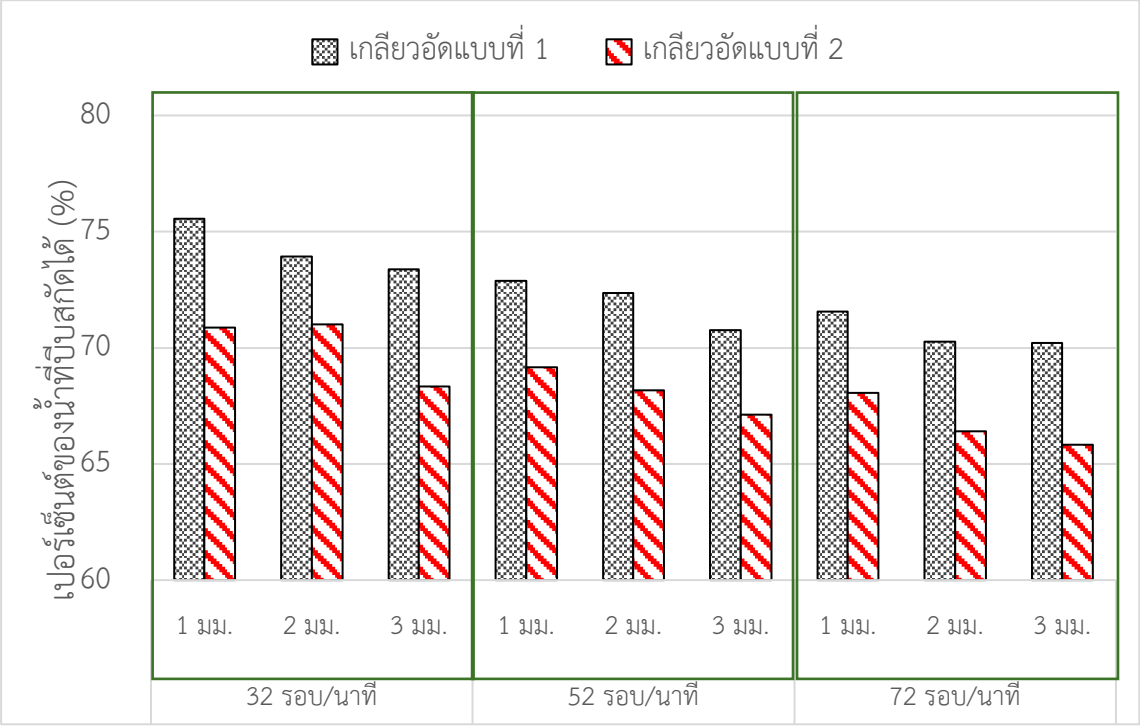
จากการทดสอบและวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ของเปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบสกัดได้พบว่า ปัจจัยของรูปแบบเกลียวอัดแบบที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์น้ำขิงสูงกว่าเกลียวอัดแบบที่ 2 ในทุกระดับของปัจจัยความเร็วรอบและปัจจัยของช่องคายกาก อีกทั้งปัจจัยความเร็วรอบที่สูงขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำขิงสูงขึ้นที่ทุกระดับของปัจจัยรูปแบบเกลียวอัดและปัจจัยระยะช่องคายกาก จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปัจจัยทั้ง 3 มีผลทำให้ค่าของเปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบสกัดได้มีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่เกลียวอัดแบบที่ 1 คือเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตช์ ที่ความเร็วรอบ

32 รอบต่อนาที ขนาดของช่องคายกาก 1 มิลลิเมตร มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำขิงที่บีบสกัดได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น คือ 75.54±1.08 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 3 และเมื่อความเร็วเพิ่มมากขึ้นและขนาดของช่องคายกากมีขนาดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบสกัดได้มีค่าลดลงเนื่องจากขนาดของช่องคายกากที่เพิ่มขึ้นทำให้น้ำขิงถูกบีบออกจากกากได้น้อยลง อีกทั้งความเร็วที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบสกัดได้มีค่าลดลง (รูปที่ 6) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธรรมศักดิ์ และธัญญรัตน์ (2551) และ Said et al. (2017) ที่ได้ทำการสกัดน้ำมันสบู่ดำโดยใช้เครื่องเกลียวอัดที่ความเร็วรอบที่ต่ำและปรับให้สูงขึ้น ซึ่งจากการทดสอบพบว่าเมื่อความเร็วของเครื่องที่ทดสอบเพิ่มสูงขึ้นทำให้ได้น้ำมันสบู่ดำลงลง เนื่องจากมีปริมาตรและเวลาในการบีบสกัดน้อยลง ส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำที่น้อยลงด้วย

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบสกัดได้ของเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด (เปอร์เซ็นต์)

Type of screw press	Rotation speed (rpm)	Clearance between a die diameter and casing 1 mm.	2 mm.	3 mm.
Type 1	32	75.54^{A}±1.08	73.94^{B}±0.93	73.39^{BC}±0.52
	52	72.87^{BCD}±0.27	72.37^{CDE}±2.04	70.06^{GH}±0.42
	72	71.56^{DEF}±0.45	70.26^{FGH}±1.31	70.21^{FGH}±0.18
Type 2	32	70.88^{FG}±1.26	71.01^{EFG}±0.71	68.34^{IJ}±1.04
	52	69.15^{HI}±0.40	68.18^{IJ}±0.47	67.13^{JK}±0.33
	72	68.07^{IJ}±0.26	66.4^{K}±0.32	65.83^{K}±0.90

หมายเหตุ: ตัวอักษรเดียวกันในตารางแสดงถึงความไม่แตกต่างกันของค่าเฉลี่ย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD



รูปที่ 6 แสดงเปอร์เซ็นต์น้ำขิงที่บีบสกัดได้ โดยเปรียบเทียบกับความเร็วรอบ ขนาดของช่องคายกาก และรูปแบบของเกลียวอัด

3. ผลความชื้นเฉลี่ยในกาก

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกากหลังการบีบสกัดดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า ปัจจัยของรูปแบบเกลียวอัดและปัจจัยของระยะของช่องคายกากที่ระดับของปัจจัยแตกต่างกันมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นของกากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์ แต่ปัจจัยของความเร็วรอบที่ระดับปัจจัยแตกต่างกันไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาก และเมื่อพิจารณาที่ผลกระทบของปัจจัยร่วม (Interaction effects) พบว่าผลกระทบของปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมกัน

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาก

Source of variation	df	Mean Square (MS)
Speed (S)	2	45.838^{ns}
Type of screw press (T)	1	586.082**
Clearance (C)	2	117.592**
Interaction		
SxT	2	4.777^{ns}
SxC	4	3.624^{ns}
CxT	2	0.202^{ns}
SxTxC	4	3.911^{ns}

หมายเหตุ: ** Highly Significant ($p<0.01$), ^{ns} Non-Significant

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD ของเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัดที่ปัจจัยต่าง ๆ เพื่อหาผลความชื้นเฉลี่ยกากตามมาตรฐาน (ASAE, 1993) พบว่า ปัจจัยของรูปแบบเกลียวอัดแบบที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นกากต่ำกว่าเกลียวอัดแบบที่ 2 ในทุกระดับของปัจจัยความเร็วรอบและปัจจัยของช่องคายกาก อีกทั้งปัจจัยความเร็วรอบที่สูงขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นกากสูงขึ้นที่ทุกระดับของปัจจัยรูปแบบเกลียวอัดและปัจจัยระยะช่องคายกาก จากตารางที่ 6 พบว่า เกลียวแบบที่ 2 คือ เพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางระยะพิตช์คงที่ ขนาดช่องคายกาก 3 มิลลิเมตร และความเร็วรอบ 72 รอบต่อนาที มีความชื้นของกากมากที่สุด คือ 86.40±2.00% wb และเปอร์เซ็นต์ของความชื้นเฉลี่ยในกากหลังการบีบสกัดที่น้อยที่สุดคือเกลียวแบบที่ 1 คือ เพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตช์ที่ความเร็วรอบ 32 รอบต่อนาที และระยะช่องคายกาก 1 และ 2 มิลลิเมตรคือ 70.60±1.14% wb และ 72.06±1.54% wb ตามลำดับ และที่ความเร็วรอบ 52 รอบต่อนาที เปอร์เซ็นต์ของความชื้นกากเท่ากับ 70.86±0.80% wb ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งเห็นได้ว่าเกลียวอัดแบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตช์มีผลให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นกากหลังการบีบสกัดน้อยกว่าเกลียวแบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางระยะพิตช์คงที่ เนื่องจากเกลียวอัดแบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตช์มีอัตราการเพิ่มแรงดันในการอัดมากกว่าเพราะระยะพิตช์ที่ลดลงสามารถหมุนในเวลาที่น้อยกว่าเกลียวแบบระยะพิตช์คงที่ทำให้เพิ่มแรงดันได้ดีกว่า (Tekad, 2010) และเกลียวแบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางยังมีอายุการใช้งานที่มากกว่าเกลียวแบบอื่น ๆ ถึงสองเท่า ทำให้ลดต้นทุนในการบำรุงรักษาได้อีกด้วย (Muhammad, 2017) ทั้งนี้ข้อสังเกตในระหว่างการปฏิบัติงานจริงพบว่า ในช่วงของการคายกากมีโอกาสที่น้ำขิงผสมกับกากได้ จึงทำให้การสุ่มเก็บตัวอย่างความชื้นของกากมีความแปรปรวนได้ ทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นมีความแตกต่างกันไม่มาก และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มากในบางการทดลอง

ตารางที่ 6 ผลของเปอร์เซ็นต์ของความชื้นเฉลี่ยในกากหลังการบีบสกัดของเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัด

Type of screw press	Rotation speed (rpm)	Clearance between a die diameter and casing 1 mm.	2 mm.	3 mm.
Type 1	32	70.60^{E}±1.14	72.06^{E}±1.54	76.19^{BCDE}±1.93
	52	70.86^{E}±0.80	73.01^{DE}±3.52	76.59^{BCDE}±1.48
	72	74.94^{CDE}±2.58	75.19^{CDE}±0.51	78.78^{BCD}±6.67
Type 2	32	76.79^{BCDE}±6.35	78.77^{BCD}±1.25	81.83^{AB}±0.28
	52	79.35^{BCD}±6.35	81.90^{AB}±5.70	82.49^{AB}±5.98
	72	79.98^{ABC}±5.65	80.01^{ABC}±4.01	86.40^{A}±2.00

หมายเหตุ: ตัวอักษรเดียวกันในตารางแสดงถึงความไม่แตกต่างกันของค่าเฉลี่ย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธี LSD

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ผลจากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยกำหนดให้ราคาเครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียวแบบสแตนเลส ประมาณ 68,000 บาท อายุการใช้งาน 5 ปี โดยมีความสามารถในบีบสกัดน้ำขิง 26.09 ลิตรต่อชั่วโมง ทำงานวันละ 6 ชั่วโมง และ 96 วันต่อปี จำนวนผู้ปฏิบัติงาน 1 คน พบว่า เครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียวอัดมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 789.14 ลิตรต่อปี ส่วนระยะเวลาการคืนทุน พบว่า เครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียวสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาประมาณ 0.43 ปี

บทสรุป

ผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องบีบสกัดน้ำน้ำขิงแบบใช้เกลียว พบว่า เมื่อใช้ความเร็วรอบที่ 72 รอบต่อนาที มีสามารถในการบีบน้ำขิงเทียบกับเวลาได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับความเร็วรอบอื่นคือเฉลี่ย 26.09 ลิตรต่อชั่วโมง และพบที่ความเร็วรอบ 32 รอบต่อนาที ขนาดของช่องคายกาก 1 มิลลิเมตร และเกลียวอัดแบบที่ 1 คือ เกลียวแบบเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางลดระยะพิตช์มีเปอร์เซ็นต์ในการบีบสกัดน้ำขิงที่มากที่สุดคือเฉลี่ย 75.54 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้นของกากน้อยที่สุดคือ 70.60% wb

ผลจากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่า จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 789.14 ลิตรต่อปี และระยะเวลาการคืนทุนพบว่า เครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียวสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาประมาณ 0.43 ปี

ทั้งนี้เครื่องบีบสกัดน้ำขิงแบบใช้เกลียวอัดได้ถูกนำไปใช้งานจริงกับกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านโนน ตำบลคันธารราษฎร์ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม เพื่อใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสมุนไพรขิงผง ตราโนนไพร ตามรูปที่ 7 ซึ่งพบว่า กลุ่มแม่บ้านผู้ใช้เครื่องมีความพึงพอใจกับการใช้งานเป็นอย่างมากเนื่องจากใช้งานง่าย ได้กำลังการผลิตตามที่ต้องการและช่วยลดระยะเวลาในการทำงาน

รูปที่ 7 การใช้เครื่องสกัดน้ำขิงแบบเกลียวอัดโดยกลุ่มแม่บ้านฯ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนงบประมาณ สถานที่ เครื่องมือสำหรับศึกษาวิจัย ขอขอบคุณนายเกียรติกุล ผ่านเมือง และนายสุเทพ ดาวไสย์ นักวิจัยหน่วยวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและเครื่องจักรกลเกษตร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านโนน ตำบลคันธารราษฎร์ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม ที่คอยสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือทำให้การศึกษานี้สำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

ดารณี เจริญสุข. (2554). น้ำมันเมล็ดยางพารากับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง 5(3): 1-25.

ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี และธัญญรัตน์ เชื้อสะอาด. (2551). การพัฒนาและทดสอบเครื่องสกัดน้ำมันสบู่ดำด้วยระบบอัดเกลียว. รายงานการวิจัย. สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ. แพร่.

อาชัย พิทยภาคย์, นคร ทิพยาวงศ์ และวสันต์ จอมภักดี. (2546). การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการสกัดน้ำมันพืชเชิงกลสำหรับใช้ในชุมชนท้องถิ่น. Naresuan University Journal. 11(3): 1-9.

ASAE. (1993). Standards engineering practices data 40th edition. American society of agricultural engineering. USA.

Firdaus M., Salleh S.M., Nawi I., Ngali Z., Siswanto W.A. and Yusup E.M. (2017). Preliminary design on screw press model of palm oil extraction machine. Materials Science and Engineering 165: 1-7.

Hunt D. (2008). Farm power and machinery management. 10th Edition. Waveland Press, Inc. USA.

Karaj S. and Mller J. (2011). Optimizing mechanical oil extraction of *Jatropha curcas* L. seeds to press capacity oil recovery and energy efficiency. Industrial Crops and Products. 34: 1010–1016.

Said M.A.I., Abed K.A., Gad M.S. and Hassan A.H. (2017). Optimum oil yield from Egyptian Jatropha seeds using screw press. International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS. 17(1): 46-56.

Samuel O.D. and Alabi A.G.F. (2012). Problems and solutions involve in oil processing from kernel seeds. Pacific Journal of Science and Technology. 13(1): 372-383.

Tarighi J., Mahmoudi A., and Rad M.K. (2011). Moisture-dependent engineering properties of sunflower (var Armaviriski). Australian Journal of Agricultural Engineering. 2(2): 40–44.

Tekad S. (2010). Analisa umur pemakaian screw press pada mesin pengekstraksi minyak mentah kelapa sawit. Jurnal Dinamis. 1(7): 1-9.