

การพัฒนาฟองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรส
เพื่อผลิตเบาะรองนั่งด้วยวิธีออกแบบการทดลอง
DEVELOPMENT OF THE NATURAL RUBBER SPONGE MIXED
PASSION FRUIT PEEL CHARCOAL POWDER TO PRODUCE
CUSHIONS USING DESIGN OF EXPERIMENT

หทัยนุช จันทร์ชัยภูมิ* และ สุวิมล เทียกทุม

Hathainuch Janchaiyaphoom*, and Suwimon Theakthum

สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและการจัดการ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

Program in Production Engineering and Management, Faculty of Agricultural Technology and Industrial
Technology, Phetchabun Rajabhat University

*corresponding author e-mail: hathainuch.jan@pcru.ac.th

(Received: 18 July 2023; Revised: 26 September 2023; Accepted: 26 September 2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาสูตรส่วนผสมในการผลิตฟองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรสที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการผลิตเบาะรองนั่งด้วยวิธีออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2^k Full Factorial Design) โดยศึกษา 2 ปัจจัย คือ ปริมาณสารโซเดียมซัลไฟด์ฟลูออไรด์ และปริมาณถ่านเปลือกเสาวรส ทำให้ได้อัตราส่วนระหว่างปริมาณสารโซเดียมซัลไฟด์ฟลูออไรด์ : ปริมาณถ่านเปลือกเสาวรสในการทดลอง คือ 1 : 1 0.5 : 15 0.75 : 10 0.5 : 5 และ 1 : 15 กรัม ตามลำดับ จากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติความหนาแน่นและความแข็ง Shore 00 พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาแน่น คือ ปริมาณผงถ่านเปลือกเสาวรส ส่วนปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความแข็ง Shore 00 ได้แก่ ปริมาณสารโซเดียมซัลไฟด์ฟลูออไรด์และปริมาณผงถ่านเปลือกเสาวรส โดยสูตรส่วนผสมในการผลิตฟองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรสที่เหมาะสมที่สุดคือสูตรที่มีอัตราส่วนเท่ากับ 1 : 15 กรัม เนื่องจากมีความหนาแน่นและค่าความแข็งแบบ Shore มากที่สุด ซึ่งเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการผลิตเบาะรองนั่ง โดยมีความแม่นยำในการทำนายสูงถึง 83.18% จากผลงานวิจัยสามารถใช้เป็นข้อมูลในการเตรียมฟองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรสเพื่อผลิตเบาะรองนั่งที่ผลิตจากวัสดุจากธรรมชาติ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยลดปริมาณเปลือกเสาวรสที่เหลือทิ้งจากการแปรรูปได้

คำสำคัญ: ยางพองน้ำธรรมชาติ เปลือกเสาวรส เบาะรองนั่ง

Abstract

The aim of this research was to develop a composite formula of natural rubber sponge mixed passion fruit peel charcoal powder suitable for the production of cushions using the design of experiment was a 2^k full factorial design with 2 factors, that the quantity of sodium silicofluoride and the quantity of passion fruit peel charcoal powder. The tested ratios of sodium silicofluoride to passion fruit peel charcoal were 1 : 1, 0.5 : 15, 0.75 : 10, 0.5 : 5, and 1 : 15 grams, respectively. The study of factors affecting the density and shore 00 hardness properties, it was found that the quantity of passion fruit peel charcoal powder significantly affected the density. As for the factors affecting Shore 00 hardness, they were the quantity of sodium silicofluoride and the quantity of passion fruit peel charcoal powder. The most suitable composite formula for producing natural rubber sponge mixed passion fruit peel charcoal powder was determined to be the ratio of 1:15 grams. This formula exhibited the highest density and Shore 00 hardness properties, which is suitable for use in the production of cushions, with a prediction accuracy of up to 83.18%. From the research results, it can be used as information for preparing natural rubber sponge mixed passion fruit peel charcoal powder to produce cushions made from natural materials, environmentally friendly and helps reduce the amount of passion fruit peel waste from processing.

Keywords: Natural rubber sponge, Passion fruit peel, Cushion

บทนำ

เสาวรส (Passion fruit) เป็นพืชไม้ผลประเภทเถาเลื้อย ลักษณะของผลเป็นรูปไข่ เปลือกผลเรียบ มีหลายพันธุ์ ทั้งเปลือกผิวสีม่วง สีเหลือง และสีส้มอมน้ำตาล เนื้อรับประทานได้ มีเมล็ดจำนวนมากอยู่ตรงกลาง ประเทศไทยมีผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ 13,964,497 กิโลกรัมต่อปี (สัจจะ, 2563) ส่วนที่ใช้เป็นประโยชน์ของเสาวรสได้มาจากส่วนเนื้อเยื่อหุ้มอยู่รอบๆ เมล็ด สามารถนำมารับประทานสดหรือส่งโรงงานเพื่อนำไปแปรรูปน้ำผลไม้ได้ การแปรรูปเสาวรสนั้นทำให้มีเปลือกเสาวรสที่เหลือทิ้งจากเป็นจำนวนมากการแปรรูปประมาณ 853,990 กิโลกรัมต่อปี (จันทร์จิรา, 2562) เปลือกเสาวรสส่วนใหญ่ถูกทิ้งให้เกิดเป็นขยะและกลายเป็นสิ่งปฏิกูลเน่าเสียในโรงงานแปรรูปจนส่งกลิ่นเหม็นไปทั่วบริเวณโรงงาน และในส่วนหนึ่งจะนำไปให้กับเกษตรกรเพื่อนำไปใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ และมีงานวิจัยที่นำเปลือกเสาวรสมานประโยชน์โดยการสกัดสารเพคตินเปลือก

เสาวรสเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น แยม เยลลี่ ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเส้นใยอาหาร (วัฒนา และเบญจรงค์, 2565) รวมทั้งการนำเปลือกเสาวรสเข้าอิมบแห้ง (ธีรพล, 2563) แต่ไม่สามารถทำให้ปริมาณขยะเปลือกเสาวรสลดลงได้

จากปัญหาปริมาณเปลือกเสาวรสที่เป็นขยะเหลือทิ้งจากการแปรรูปเสาวรสนั้นมีจำนวนมาก ประกอบกับกระแสแรงจูงใจการใช้ผลิตภัณฑ์ทำจากวัสดุจากธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเปลือกเสาวรสมาใช้ประโยชน์ ด้วยการนำมาเผาเป็นถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับสูงเนื่องจากพื้นที่ผิวที่สูง (พรสวรรค์, ณัฐนนท์ และอมรรัตน์, 2564) ใช้เพื่อดูดซับกลิ่นและความอับชื้น ป้องกันการเกิดแบคทีเรีย ถ่านกัมมันต์ยังสามารถปล่อยประจุลบเพื่อช่วยในการกระตุ้นการไหลเวียนของเลือด ดังนั้นผู้วิจัยจะใช้ถ่านกัมมันต์ของเปลือกเสาวรสเป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปยางพองน้ำมาพัฒนาเป็นต้นแบบเบาะรองนั่ง เนื่องจากยางพองน้ำมีความยืดหยุ่นที่ได้จากธรรมชาติของยาง สามารถรองรับสรีระได้พอเหมาะโดยไม่ได้นุ่มหรือแข็งจนเกินไป มีคุณสมบัติดีต่อสุขภาพ เนื้อยางมีรูพรุน ระบายอากาศได้ดี จากงานวิจัยก่อนหน้านี้มีการผลิตโคมยางธรรมชาติหรือยางพองน้ำธรรมชาติ พบว่า คุณสมบัติของยางพองน้ำขึ้นอยู่กับสูตรส่วนผสมที่ใช้ในการผลิต ชนิดและปริมาณสารเพิ่มพอง เช่น สารออกซิเจนเบนซินซัลโฟนิลไฮไดรไรต์ (อัสม่า และคณะ, 2563) ซัลโฟนิลไฮไดรไรต์ (นาซีเราะห์, รอฮานีย์ และคาริกา, 2562) รวมทั้งสารตัวเติมที่เติมลงไปในน้ำยางเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น ผงถ่านจากซังข้าวโพด (นุชจิรา และศรารัตน์, 2562) เส้นใยตาล (กนกวรรณ และพันธกานต์, 2563) สารยูเรีย (ฮาซัน และคณะ, 2565) แคลเซียมคาร์บอเนตและเคลย์ (กูซุชานา, 2561)

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เป็นการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความเหมาะสมและสามารถนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติได้ ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายทางด้านการวิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์และการปรับปรุงกระบวนการ ช่วยให้สามารถกำหนดการตั้งค่าของปัจจัยหรือสัดส่วนขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสม อาทิเช่น การหาปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งค่าเครื่องจักรต่างๆ เช่น สับย่อยผักตบชวา (ธันวมาส และคงเดช, 2563) เครื่องหั่นใบตะไคร้ (ยศวรรธน์ และนรรัตน์, 2565) และเครื่องล้างมันเทศ (ฉัตรพล, 2565) การหาปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตสร้อยข้อมือหนัง (ปิณชณัน และสมเกียรติ, 2564) เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้ทำการพัฒนาสูตรส่วนผสมในการผลิตยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรสที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการผลิตเบาะรองนั่งด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง และศึกษาปัจจัยระหว่างปริมาณสารโซเดียมซัลไฟฟลูออไรด์กับผงถ่านเปลือกเสาวรสที่ส่งผลต่อความหนาแน่นและความแข็งของยางพองน้ำธรรมชาติ เนื่องจากความหนาแน่นและความแข็งของยางพองน้ำส่งผลต่อการใช้งานของเบาะรองนั่งในด้านของความสบายในการนั่ง การรองรับน้ำหนักและความทนทานในการใช้งาน ดังนั้นจึงต้องหาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตเป็นเบาะรองนั่ง

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสูตรส่วนผสมในการผลิตยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรสที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ผลิตเบาะรองนั่ง แบ่งวิธีการวิจัยเป็น 4 ขั้นตอน คือ

- 1) การผลิตผงถ่านเปลือกเสาวรส
- 2) การผลิตยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรส
- 3) การทดสอบคุณสมบัติของเบาะรองนั่งยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรส และ
- 4) การวิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติ มีรายละเอียดดังนี้

1. การเตรียมผงถ่านเปลือกเสาวรส

นำเปลือกเสาวรสที่ทำความสะอาดแล้วมาตากแดดให้แห้งสนิท นำเปลือกเสาวรสไปเผาด้วยกระบวนการคาร์บอนไนซ์เซชันที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้ถ่านเปลือกเสาวรสออกมา จากนั้นนำถ่านที่ได้มาบดให้ละเอียดให้กลายเป็นผงถ่าน แล้วทำการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 180 เมช เพื่อให้ได้ผงถ่านเปลือกเสาวรส

2. การผลิตยางพองน้ำธรรมชาติ

กระบวนการผลิตยางพองน้ำ จะใช้กระบวนการดันลอป (Dunlop process) โดยอาศัยสารเคมีเพื่อทำให้เกิดเจลของน้ำยางและปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน (Vulcanization) ซึ่งเป็นการทำให้ยางคงรูป โดยอาศัยการใช้สารเคมีและการให้ความร้อนที่เหมาะสม โดยกระบวนการผลิตเริ่มจากการเตรียมน้ำยางพาราชั้นชนิดปั่นเหวี่ยงและสารเคมีต่างๆ ซึ่งสูตรส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตยางพองน้ำในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงจากสูตรผลิตภัณฑ์หมอนชนิดยางพารา (ชัยวุฒิ และคณะ, 2561) โดยทำการเติมสารที่ทำให้น้ำยางเกิดการจับตัวและเกิดการคงรูป คือ สารโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (Sodium Silicofluoride; SSF) และใช้สารเติมตัว คือ ผงถ่านเปลือกเสาวรส (Passion fruit peel charcoal; PPC) ในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งได้จากการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2^k Full Factorial Design) โดยกำหนดปัจจัยในการทดลอง 2 ปัจจัย คือ ปริมาณสารโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (SSF) และปริมาณถ่านเปลือกเสาวรส (PPC) ด้วยระดับการเติมปริมาณสารที่แตกต่างกัน 2 ระดับ ได้แก่ ปริมาณสาร SSF กำหนดค่าต่ำสุดถึงสูงสุดเท่ากับ 0.5–1 กรัม ส่วนปริมาณ PPC กำหนดค่าต่ำสุดถึงสูงสุดเท่ากับ 5–15 กรัม โดยกำหนดตำแหน่งค่ากลาง (Center point) 1 จุด 2 blocks 3 ซ้ำการทดลอง ทำให้ได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 14 การทดลอง โดยมีสูตรส่วนผสมในการผลิตยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรสทั้งสิ้น 5 สูตร ดังตารางที่ 1

จากนั้นทำการขึ้นรูปยางพองน้ำธรรมชาติ โดยมีลำดับขั้นตอนในการนำส่วนผสมต่างๆ ไปปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที โดยเริ่มจากนำน้ำยางข้น (60% HA Latex) มาเติมสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แล้วทำการปั่นเป็นเวลา 2 นาที เพื่อไล่แอมโมเนีย จากนั้นเติมผงถ่านเปลือกเสาวรสแล้วปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำยางพารา จากนั้นเติมสาร

โพแทสเซียมโอเลเอต กำมะถัน แซตเอ็มบีที แซตดีอีซี วิงสเตย์แอล ซิงค์ออกไซด์ และดีพีจี ลงไปในน้ำยาง โดยระหว่างการเติมสารเคมีน้ำยางต้องอยู่ในระหว่างการปั่นเป็นเวลา 4 นาที แล้วเติม SSF ลงไปเพื่อทำให้น้ำยางเกิดการจับตัวและคงรูปเป็นฟองน้ำ โดยปั่นให้ส่วนผสมทุกอย่างเป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 1 นาที

นำน้ำยางที่ผ่านการผสมตามสูตรที่กำหนดไว้ ดังตารางที่ 1 ไปขึ้นรูปด้วยการเทลงเบ้าแม่พิมพ์เบาะรองนั่งที่มีขนาด 35x35x3 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วนำไปนึ่งด้วยไอน้ำให้ยางสุกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ออกมาล้างสารเคมีด้วยน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์เบาะรองนั่งยางฟองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรสออกมา ดังภาพที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรส่วนผสมในการผลิตยางฟองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรส

สารเคมี	ปริมาณ (กรัม)				
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5
น้ำยางข้น (60% HA Latex)	100	100	100	100	100
โพแทสเซียมโอเลเอต (K-Oleate)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
กำมะถัน (sulfur)	2	2	2	2	2
สารแซตเอ็มบีที (ZMBT)	1	1	1	1	1
สารแซตดีอีซี (ZDEC)	1	1	1	1	1
สารวิงสเตย์แอล (Wing stay L)	1	1	1	1	1
สารซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide)	5	5	5	5	5
สารดีพีจี (DPG)	1	1	1	1	1
สารโซเดียมซัลไฟฟลูออไรด์ (SSF)	1	0.5	0.75	0.50	1
ผงถ่านเปลือกเสาวรส (PPC)	5	15	10	5	15



ภาพที่ 1 ลักษณะของผลิตภัณฑ์เบาะรองนั่งยางฟองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรส

3. การทดสอบคุณสมบัติของยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรส

การทดสอบคุณสมบัติของยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรส เพื่อผลิตเบาะรองนั่ง จะทำการทดสอบ 3 ขั้นตอนการทดลอง ซึ่งหัวข้อในการทดสอบคุณสมบัติ มีรายละเอียดดังนี้

3.1 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น จะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3574-95 ซึ่งทำการทดลองโดยการเตรียมชิ้นงานที่ใช้สำหรับทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 35x35x3 เซนติเมตร จากนั้นนำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่างโดยใช้ดังสมการที่ 1

$$D = \frac{M}{V} \quad (1)$$

เมื่อ D หมายถึง ความหนาแน่นของชิ้นงานทดสอบ (g/cm^3)

M หมายถึง น้ำหนักชิ้นงานทดสอบ (g)

V หมายถึง ปริมาตรทดสอบ (cm^3)

3.2 ค่าความแข็งแบบ Shore (Shore Hardness)

ค่าความแข็ง จะทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2240 ด้วยเครื่องมือวัดค่าความแข็งของวัสดุที่มีสเกลเหมาะสมกับยางพองน้ำธรรมชาติ คือ Shore OO โดยนำเครื่องมือวัดค่าความแข็งมากดลงบนผิวของชิ้นงานเบาะรองนั่งยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรส จนกระทั่งแนบติดกับผิวหน้าฐานของเครื่องวัดค่าความแข็ง Shore OO แล้วอ่านค่า

4. การวิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์หาค่าแปรที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณสารโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ กับผงถ่านเปลือกเสาวรส ที่ส่งผลต่อความหนาแน่น และความแข็งแบบ Shore OO Hardness ของยางพองน้ำธรรมชาติ โดยนำผลการทดสอบแต่ละสูตรมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab 17 เพื่อหาค่าเฉลี่ย วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลผลการทดสอบ และหาสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นและค่าความแข็ง Shore OO

ผลการวิจัย

1. ผลการทดสอบคุณสมบัติของยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรส

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรส เพื่อผลิตเบาะรองนั่งตามสูตรส่วนผสมในการผลิตยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรส ดังตารางที่ 1 เมื่อทำการปรับปริมาณสารโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ กับผงถ่านเปลือกเสาวรส ที่ระดับต่างๆ โดยนำผลการทดสอบค่าความหนาแน่นและค่าความแข็งแบบ Shore OO ของชิ้นงานแต่ละสูตรการผลิตมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่า ผลการทดสอบ

ความหนาแน่นเฉลี่ยของชิ้นงานอัตราส่วนที่เติมสาร SSF : PPC เท่ากับ 1 : 5 กรัม ในน้ำยางข้น 100 กรัม มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.18 ± 0.07 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.75 ± 0.13 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณ PPC จนมีอัตราส่วน SSF : PPC เท่ากับ 1 : 15 กรัม ในน้ำยางข้น 100 กรัม และผลการทดสอบค่าความแข็งแบบ Shore OO เฉลี่ยของชิ้นงานอัตราส่วนที่เติมสาร SSF : PPC เท่ากับ 05 : 5 กรัม ในน้ำยางข้น 100 กรัม มีค่าความแข็งแบบ Shore OO เท่ากับ 19.83 ± 0.25 และค่าความแข็งแบบ Shore OO เพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 23.37 ± 0.15 เมื่อเพิ่มปริมาณ PPC จนมีอัตราส่วน SSF : PPC เท่ากับ 1 : 15 กรัม ในน้ำยางข้น 100 กรัม จึงกล่าวได้ว่าค่าความหนาแน่นและค่าความแข็งแบบ Shore OO เพิ่มขึ้นตามปริมาณผงถ่านเปลือกเสาวรส โดยผลการทดสอบความหนาแน่นและค่าความแข็งแบบ Shore OO ของยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรส ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความหนาแน่นและค่าความแข็งแบบ Shore OO ของยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรส

สูตรที่	SSF (g)	PPC (g)	Density (g/cm ³)	Shore OO Hardness
1	1	5	0.18 ± 0.07	17.90 ± 0.20
2	0.5	15	0.65 ± 0.21	23.37 ± 0.15
3	0.75	10	0.31 ± 0.07	21.67 ± 0.15
4	0.5	5	0.22 ± 0.11	19.83 ± 0.25
5	1	15	0.75 ± 0.13	22.60 ± 0.30

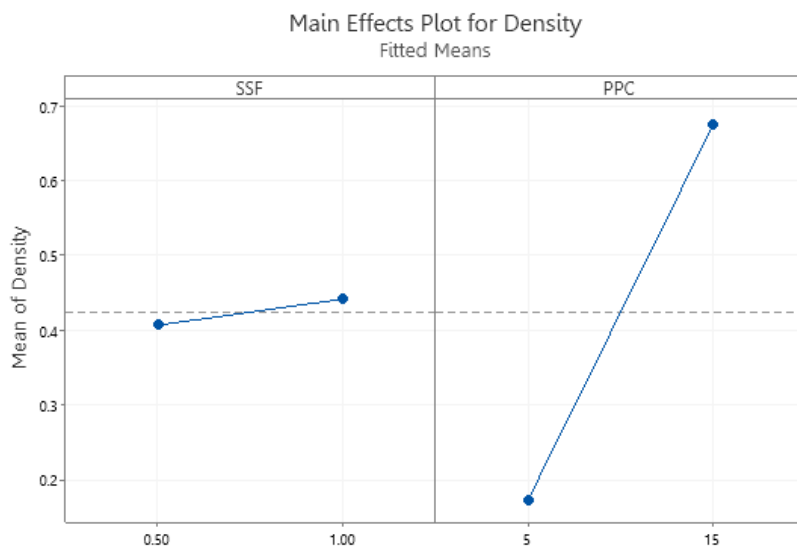
2. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลผลการทดสอบ

จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลผลการทดสอบความหนาแน่นพบว่า ค่าความแปรปรวนจากการทดสอบความหนาแน่นมีค่า R-sq (adj) เท่ากับ 73.13% ซึ่งมากกว่า 70% แสดงว่าการออกแบบการทดลองมีความถูกต้องและเหมาะสม และค่า P-value ของปัจจัยปริมาณผงถ่านเปลือกเสาวรส (PPC) มีค่าน้อยกว่า 0.05 (ความเชื่อมั่น 95%) แสดงว่าปริมาณผงถ่านเปลือกเสาวรสส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของชิ้นงานยางพองน้ำธรรมชาติ จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลผลการทดสอบค่าความแข็ง Shore OO พบว่าความแปรปรวนของค่าความหนาแน่นมีค่า R-sq (adj) เท่ากับ 91.26% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า P-value ของปัจจัยปริมาณ SSF PPC และ SSF*PPC มีค่าน้อยกว่า 0.05 (ความเชื่อมั่น 95%) แสดงว่าปริมาณสารโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ ปริมาณผงถ่านเปลือกเสาวรส และปริมาณสารโซเดียมซิลิโค

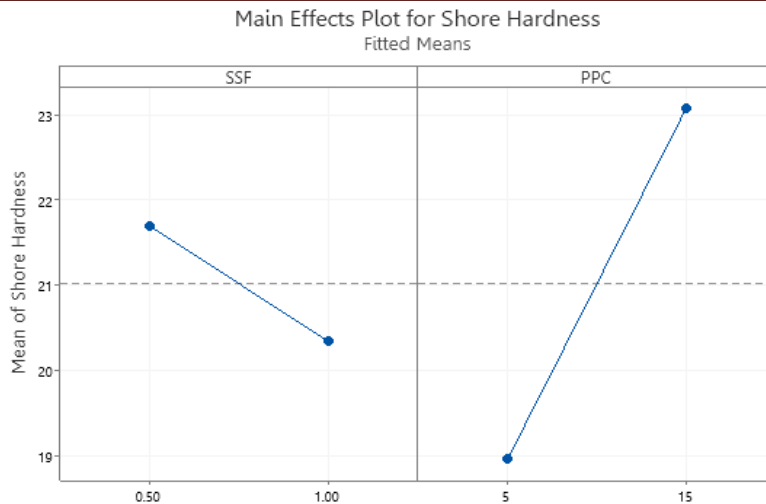
ฟลูออไรด์ร่วมกับผงถ่านเปลือกเสาวรสลงผลต่อค่าความแข็งแบบ Shore OO ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการวิเคราะห์ของความแปรปรวน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance)

Source	Density					Shore OO Hardness				
	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	0.774092	0.258031	12.80	0.001	3	57.3292	19.1097	154.81	0.000
Linear	2	0.758683	0.379342	18.81	0.000	2	56.3083	28.1542	228.08	0.000
SSF	1	0.003675	0.003675	0.18	0.678	1	5.4675	5.4675	44.29	0.000
PPC	1	0.755008	0.755008	37.44	0.000	1	50.8408	50.8408	411.87	0.000
2-Way Interactions	1	0.015408	0.015408	0.76	0.403	1	1.0208	1.0208	8.27	0.017
SSF*PPC	1	0.015408	0.015408	0.76	0.403	1	1.0208	1.0208	8.27	0.017
Error	10	0.201651	0.020165			10	1.2344	0.1234		
Lack-of-Fit	1	0.052001	0.052001	3.13	0.111	1	0.7811	0.7811	15.51	0.003
Pure Error	9	0.149650	0.016628			9	0.4533	0.0504		
Total	13	0.975743				13	58.5636			
R-sq			79.33%						97.89%	
R-sq (adj)			73.13%						91.26%	



ภาพที่ 2 กราฟผลตอบสนองของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น



ภาพที่ 3 กราฟผลตอบสนองของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแบบ Shore 00

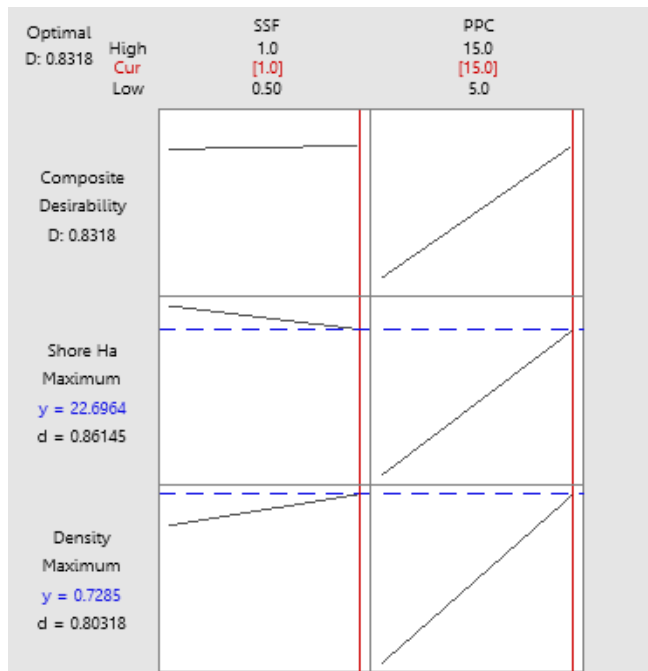
จากการวิเคราะห์ด้วยกราฟผลตอบสนองของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและความแข็งแบบ Shore 00 โดยแกน x แสดงถึงระดับของปริมาณผงถ่านจากเปลือกเสาวรส (PPC) และสารโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (SSF) และแกน y แสดงถึงค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบ ดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3 พบว่า การเพิ่มปริมาณผงถ่านจากเปลือกเสาวรส (PPC) ส่งผลให้ความหนาแน่นและความแข็งแบบ Shore 00 เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมผงถ่านทำให้รูพรุนในยางพองน้ำมีขนาดเล็กลง จึงทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้น และการเพิ่มปริมาณสารโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (SSF) ส่งผลให้ค่าความแข็งแบบ Shore 00 ลดลง เนื่องจากการเติมสาร SSF ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อยางเพิ่มขึ้น ทำให้คุณสมบัติทางกลต่ำลง

3. ผลการวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ SSF กับ PPC

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของยางพองน้ำธรรมชาติผสมถ่านเปลือกเสาวรสที่พัฒนาขึ้นมา สามารถหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ SSF กับปริมาณ PPC ที่ส่งผลต่อความหนาแน่น (Density) และความแข็งแบบ Shore 00 (Shore Hardness) ดังสมการที่ 2 และสมการที่ 3

$$\text{Density} = 0.085 - 0.217 \text{ SSF} + 0.0287 \text{ PPC} + 0.0287 \text{ SSF} * \text{PPC} \quad (2)$$

$$\text{Shore Hardness} = 20.680 - 5.033 \text{ SSF} + 0.2367 \text{ PPC} + 0.2333 \text{ SSF} * \text{PPC} \quad (3)$$



ภาพที่ 4 กราฟผลการทำนายปริมาณSSF และผงถ่านเปลือกเสาวรสที่เหมาะสมที่สุด

จากภาพที่ 4 แสดงผลการทำนายปริมาณSSFและผงถ่านเปลือกเสาวรสที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตเบาะรองนั่ง เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณSSF กับ PPC ที่ระดับต่างๆ ซึ่งอัตราส่วนของปริมาณสารที่ดีที่สุดที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์เบาะรองนั่งมีค่าความหนาแน่นและค่าความแข็งแรง Shore มากที่สุด คือ อัตราส่วนปริมาณSSF เท่ากับ 1 กรัม ต่อปริมาณ PPC เท่ากับ 15 กรัม (SSF : PPC = 1 : 15) ซึ่งมีความแม่นยำในการทำนายสูงถึง 83.18%

อภิปรายผล

จากการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2^k Full Factorial Design) เพื่อพัฒนาสูตรส่วนผสมในการผลิตยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรสที่มีขนาด 35x35x3 ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยปัจจัยการทดลอง 2 ปัจจัย คือ ปริมาณสารโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (SSF) และปริมาณผงถ่านเปลือกเสาวรส (PPC) ด้วยระดับการเติมปริมาณสารที่แตกต่างกัน ทำให้ได้สูตรส่วนผสมของอัตราส่วนระหว่างปริมาณสาร SSF: ปริมาณ PPC ในการทดลองทั้งหมด 5 สูตร คือ 1 : 1 0.5 : 15 0.75 : 10 0.5 : 5 และ 1 : 15 กรัม ตามลำดับ

จากการศึกษาความปัจจัยระหว่างปริมาณสารSSF กับปริมาณ PPC ที่ส่งผลต่อความหนาแน่นและค่าความแข็งแรง Shore OO ของยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรส พบว่า

ปริมาณ PPC เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากทำให้ลักษณะโครงสร้างของเนื้อยางพองน้ำมีลักษณะเป็นรูพรุนในเนื้อยางพองน้ำมีขนาดเล็กกล่ง เมื่อเติมผงถ่านซึ่งเป็นอนุภาคของแข็งที่มีรูพรุนและความเปราะเข้าไปกระจายตัวอยู่ตามรูพรุนและในเนื้อของยางพองน้ำส่งผลให้มีคุณสมบัติความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นุชจิรา และศรารัตน์ (2562) ที่ได้ศึกษาการเติมผงถ่านจากขังข้าวโพดเพื่อเป็นสารเติมตัวในการผลิตโฟมยางดูดซับเสียง พบว่าการเติมผงถ่านขังข้าวโพดเพิ่มขึ้นส่งผลให้รูพรุนในเนื้อยางมีขนาดเล็กกล่งและความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณสาร SSF กับปริมาณ PPC เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงแบบ Shore OO ซึ่งการเพิ่มปริมาณ PPC ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงแบบ Shore OO เพิ่มขึ้น เนื่องจากผงถ่านเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติแข็งแรงเปราะ ดังนั้นการเติมผงถ่านทำให้รูพรุนในยางพองน้ำมีขนาดเล็กกล่งและค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ นุชจิรา และศรารัตน์ (2562) พบว่า การเติมผงถ่านขังข้าวโพดเพิ่มขึ้นนั้น ผงถ่านจะช่วยยึดโครงสร้างในเนื้อยางธรรมชาติให้มีความแข็งแรงขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมถ่านขังข้าวโพด และการเพิ่มปริมาณสาร SSF ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงแบบ Shore OO ลดลง เนื่องจากการเติมสาร SSF ซึ่งเป็นสารก่อเจล มีส่วนสำคัญต่อการเกิดรูพรุน ทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อยางเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้คุณสมบัติทางกลคือ ค่าความแข็งแรงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อัสม่า และคณะ (2563) ที่ได้ศึกษาการเติมสารออกซิปีสเบนซินซัลโฟนิลไฮดราไซด์ (OBSh) ในการผลิตโฟมยางดูดซับเสียง และงานวิจัยของ นาซีเราะห์ และคณะ (2562) ที่ได้ศึกษาการเติมสารซัลโฟนิลไฮดราไซด์ (SH) ในการผลิตโฟมยางดูดซับเสียง พบว่า การเพิ่มปริมาณการเติมสารก่อเจล เช่น สาร OBSh และ สาร SH ล้วนมีผลต่อลักษณะของรูพรุนในเนื้อยางพองน้ำ ทำให้รูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้นและไม่สม่ำเสมอจนเกิดเป็นเซลล์เปิดที่มีช่องว่างทะลุถึงกัน เมื่อรูพรุนมีจำนวนมากและขนาดใหญ่ จึงส่งผลให้ความหนาแน่นและค่า Young's Modulus ต่ำลง ซึ่งงานมีความยืดหยุ่นสูง แต่ค่าความแข็งแรงต่ำ

ดังนั้นจากผลการวิจัยในการผลิตยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรส เพื่อผลิตเบาะรองนั่ง จึงควรเติมสารโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์กับผงถ่านเปลือกเสาวรสในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสูตรส่วนผสมในการผลิตยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรสที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปใช้ในการผลิตเบาะรองนั่ง คือ สูตรที่มีอัตราส่วนระหว่างปริมาณสารโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ : ปริมาณถ่านเปลือกเสาวรส เท่ากับ 1 : 15 กรัม เนื่องจากมีความหนาแน่นมากที่สุด และมีค่าความแข็งแรงแบบ Shore OO สูง ซึ่งมีความแม่นยำในการทำนาย

สูงถึง 83.18% จากผลงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับการเตรียมยางพองน้ำธรรมชาติผสมผงถ่านเปลือกเสาวรสเพื่อผลิตเบาะรองนั่งที่ผลิตจากวัสดุจากธรรมชาติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้ และยังเป็นแนวแนวทางในการลดปริมาณขยะที่เหลือทิ้งจากการแปรรูปเสาวรสด้วยการนำเปลือกเสาวรสมาใช้ประโยชน์อีกด้วย ในการต่อยอดงานวิจัยอาจทำการทดสอบคุณสมบัติด้านอื่นๆ เพิ่มเติม เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่หลากหลายตามความต้องการของผู้ผลิตหรืออาจมีการปรับปรุงปริมาณส่วนผสมสารเคมีบางชนิดเพื่อทำให้ได้คุณสมบัติตามต้องการและปริมาณการใช้น้ำยางพาราลดลง เพื่อลดต้นทุนในการผลิตเบาะรองนั่ง หากวิสาหกิจชุมชนแปรรูปเสาวรสและแปรรูปพืชผลทางการเกษตรอำเภอเขาค้อมีการนำองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อยอดให้เป็นผลิตภัณฑ์ของฝากของที่ระลึกของอำเภอเขาค้อเพื่อจัดจำหน่าย โดยการออกแบบปลอกสวมเบาะรองนั่งให้มีลวดลายที่เป็นเอกลักษณ์และสวยงาม ก็จะสามารถสร้างรายได้ให้กับชุมชนได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนงานวิจัย พัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และขอขอบคุณวิสาหกิจชุมชนแปรรูปเสาวรสและแปรรูปพืชผลทางการเกษตร อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่ให้ความร่วมมือในการสนับสนุนให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กนกวรรณ ยันตะบุศย์, และพันธกานต์ แก้วอาษา. (2563). สมบัติทางกายภาพของยางโพนธรรมชาติเสริมแรงด้วยเส้นใยตาล. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 22(3), 75–81.
- กูซุชานา ยาวออาซัน. (2561). การพัฒนาสูตรยางพองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติเพื่อผลิตสื่อก่อนนอนสำหรับเด็ก. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา*, 6(1), 66–75.
- จันทร์จิรา โต๊ะขวัญแก้ว. (2562). การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดพืชและกากพืชที่เหลือใช้ของกล้วยหินและการใช้เสริมเป็นอาหารไก่พื้นเมือง. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 5* (น.739–744). เพชรบูรณ์: มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- ฉัตรพล พิมพา. (2565). การหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตมันเทศโดยการมีส่วนร่วมของชุมชนตำบลน้ำจืดจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม*, 15(1), 113–122.
- ชัยวุฒิ วัฒจิง, ศันสนีย์ ศรีจันทร์, เสาวลักษณ์ บุญยอด, และสรารัฐ ประเสริฐศรี. (2561). ผลิตภัณฑ์หมอนชนิดยางพาราบ้านศรีฐาน จังหวัดยโสธร. *วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่*, 10(1), 1–18.
- ธันวาคมส กาศสนุก, และคงเดช พะสีนาม. (2563). การออกแบบและสร้างเครื่องสับย่อยผักตบชวา. *วารสาร มทร.อีสาน*, 13(3), 57–68.

- ธีรพล พาคำตัน. (2563). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เปลือกเสาวรสแช่อิ่มอบแห้ง และการศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภค ในเขตชุมชนเทศบาลตำบลแม่คำ อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย. **วารสารสังคมศาสตร์วิชาการ**, 13(1), 165–177.
- นาซีเราะห์ แวดอลาะะ, รอสานีย์ เปาะเยะ, และดารีกา จาเอาะะ. (2562). การพัฒนาโคมยางดูดซับเสียงโดยใช้ซิลโฟนิลไฮโดรไรด์. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเครือข่ายภาคใต้ ครั้งที่ 4** (น. 617–626). ยะลา: มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- นุชจิรา ดีแจ่ม, และศรารัตน์ มหาศรานนท์. (2562). การพัฒนาวัสดุดูดซับเสียงแบบรูพรุนของโคมยางพาราที่เติมผงถ่านจากขี้ข้าวโพด. **Rattanakosin Journal of Science and Technology**, 1(2), 27–36.
- ปิ่นชนัน สุวรรณชนะ, และสมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ. (2564). การปรับปรุงความแข็งแรงของสร้อยข้อมือสายหนังโดยการประยุกต์การออกแบบการทดลอง. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**, 28(2), 87–99.
- พรสวรรค์ อมรศักดิ์ชัย, ณัฐนันท์ พลชัย, และอมรรัตน์ ม่วงอ่อน. (2564). ผลของการกระตุ้นทางเคมีที่มีต่อถ่านกัมมันต์จากใบสับปะรด. **Rattanakosin Journal of Science and Technology**, 3(2), 36–44.
- ยศวรรณ์ จันทนา, และนริศร์ รตินวีย์ (2565). ปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อการปรับตั้งค่าเครื่องหันใบตะไคร้ด้วยเทคนิคออกแบบการทดลอง. **วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์**, 14(19), 83–95.
- วัฒนา อัจฉริยะโพธา, และเบญจางค์ อัจฉริยะโพธา. (2565). การสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสสีม่วงด้วยกรดผลไม้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม**, 41(6), 285–293.
- ลัจจะ ประสงค์ทรัพย์. (2563). **เสาวรส**. สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2565, จาก: <http://hort.ezathai.org/?p=8464>.
- อัสมา สายอ, อรญาณีย์ เจะปอ, นูรชูฮาดา บินดุลเลาะะ, และดารีกา จาเอาะะ. (2563). การพัฒนาโคมยางดูดซับเสียงจากน้ำยางธรรมชาติ. ใน **การประชุมวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 2** (น. 333–342). เลย: มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.
- ฮาซัน ดอปอ, ซิดีไซยิดะห์ สายวารี, สุกีร์ เล็มหมาด, และอัสมาน อาแด. (2565). ศึกษาสมบัติและการบำบัดส้นเท้าแตกของแผ่น โฟมรองฝ่าเท้าจากน้ำยางธรรมชาติที่มียูเรียเป็นสารตัวเติม. **วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์**, 21(1), 1–17.