

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการขึ้นรูปแผ่นรองแก้วจากวัสดุเชิงประกอบเนื้อพื้นพอลิเมอร์เสริมแรง ด้วยเส้นใยเปลือกทุเรียน

Factors Affecting Forming Coaster from Polymer Matrix Composite Material Reinforced with Durian Peel Fiber

จักรินทร์ กลั่นเงิน¹ ประภาพรณ เกษราพงศ์^{1*} นิชากานต์ แวงวรรณ² และ ปณิธา เปื้องชนะ²
Jakkarin Klunngien¹ Prapapan Ketsarapong^{2*} Nichakan Waengwan³ and Panita Prueangchana⁴

¹หน่วยปฏิบัติการวิจัยการจัดการการผลิตและอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

¹Industrial and Production Management Research Unit, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha,
Kasetsart University

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University

*Corresponding author Email: prapapan@eng.src.ku.ac.th

Received: 03-03-2025 Revised: 15-04-2025 Accepted: 30-06-2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นรองแก้ววัสดุเชิงประกอบเนื้อพื้นพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยของเปลือกทุเรียน ด้วยการประยุกต์ใช้แนวคิดการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Experiment) โดยสมมติฐานงานวิจัยนี้ คือ ปริมาณน้ำยางพารา ปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียน และปริมาณสาร DPG (Diphenyl Guanidine) มีผลกระทบต่อร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นรองแก้ว จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล พบว่า ผลกระทบร่วม ปริมาณน้ำยางพาราและปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมีอันตรกิริยาร่วมกัน โดยไม่ทำการพิจารณาผลกระทบหลัก จึงกำหนดค่าของปัจจัย ดังนี้ ปริมาณน้ำยางพารา คือ 167 กรัม ปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียน คือ 2 กรัม สำหรับปริมาณสาร DPG ไม่มีผลกระทบต่อร้อยละการดูดซึมน้ำจึงไม่กำหนดค่าของปัจจัย ผลการกำหนดค่าของปัจจัยสามารถประมาณร้อยละการดูดซึมน้ำ คือ ร้อยละ 6.95 และประมาณช่วงความเชื่อมั่นร้อยละการดูดซึมน้ำที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 คือ 0.98 ถึง 12.93 จากนั้น จึงทำการยืนยันผลการทดลองโดยการขึ้นรูปแผ่นรองแก้วตามค่าของปัจจัยที่ได้จากการออกแบบการทดลอง พบว่า ร้อยละการดูดซึมน้ำยืนยันผลมีค่าน้อยกว่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่ได้ผลจากการทดลอง ด้วยระดับความเชื่อมั่น 0.95 ผลจากการศึกษานี้มีประโยชน์ต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วยวัสดุชีวภาพและช่วยลดปริมาณขยะชีวภาพได้อีกทางหนึ่ง

คำสำคัญ การออกแบบการทดลอง การทดลองเชิงแฟคทอเรียล วัสดุเชิงประกอบ เส้นใยของเปลือกทุเรียน

Abstract

This research aims to study the appropriate parameters for the forming of coaster products made from polymer matrix composite reinforced with fiber of durian shell. Design of experiment with Factorial design is applied to find the appropriate parameters. The hypothesis of this research is that the amount of rubber latex, the amount of durian peel fiber and the amount of DPG (Diphenyl Guanidine) have an effect on the percentage of water absorption of the coaster. According to the factorial experimental design, interaction effects of the amount of rubber latex and the amount of durian peel fiber which are observed without considering the main effects. The parameters are identified as follows: the amount of rubber latex is 167 grams, and the amount of durian peel fiber is 2 grams. The amount of DPG does not affect the percentage of water absorption; therefore, the factor value is not specified. The results of the factor determination can estimate the percentage of water absorption as 6.95 percent and the confidence interval of the percentage of water absorption at the confidence level of 0.95 is 0.98 to 12.93. The experimental results are then confirmed by forming coasters according to the factor levels obtained from the experimental design. The results show that the percentage of water absorption is less than the percentage

of water absorption in the experiment with a confidence level of 0.95. The results of this study are useful for developing products using biomaterials and helping to reduce the amount of biowaste.

Keywords: Design of Experiment, Factorial Design, Composite Materials, Fiber of Durian Shell

1. บทนำ

ทุเรียนถูกขนานนามว่าเป็น “ราชาผลไม้ (King of Fruits)” เป็นผลไม้ที่มีกลิ่นเป็นเอกลักษณ์ มีรสชาติดหวานมัน โดยถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มผลไม้ในเขตร้อนชื้น (Tropical Fruits) โดยทุเรียนมีแหล่งปลูกแพร่หลายในพื้นที่ประเทศของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นั่นคือ ไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ [1, 2] โดยที่ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตทุเรียนที่สำคัญประเทศหนึ่งของโลก [3] อย่างไรก็ตาม ทุเรียนหนึ่งลูกประกอบด้วย เนื้อทุเรียนร้อยละ 28.51 และเปลือกทุเรียน ร้อยละ 71.49 ส่งผลให้มีปริมาณเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งจากการบริโภค ตั้งแต่ปี 2554-2565 เฉลี่ย 567,184 ตันต่อปี [4] ซึ่งในปัจจุบันการกำจัดเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งจากการบริโภคโดยส่วนมากถูกดำเนินการใน 2 ลักษณะ คือ กองรวมกันเพื่อผลิตเป็นปุ๋ย และฝังกลบโดยหน่วยงานของรัฐบาล อย่างไรก็ตาม การเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งตามวิธีโดยทั่วไปนั้นยังมีมูลค่าไม่สูงนัก งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งมาเป็นส่วนประกอบสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกทุเรียนเหลือทิ้ง

ยางพาราเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศชนิดหนึ่ง ซึ่งประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกยางพาราและผลิตภัณฑ์จากยางพารารายใหญ่ของโลกตามรายงานของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ [5] โดยในปี พ.ศ. 2552 ประเทศไทยมีการผลิตยางพารา จำนวน 3.16 ล้านตัน มีการส่งออก จำนวน 2.73 ล้านตัน ผลิตเพื่อใช้ในประเทศ จำนวน 399,415 ตัน ซึ่งสามารถทำรายได้เข้าประเทศได้ปีละกว่า 4,000,000 ล้านบาท แต่การส่งออกยางพาราส่วนใหญ่อยู่ในรูปวัตถุดิบแปรรูปขั้นต้น ซึ่งมีมูลค่าเพิ่มต่ำ เช่น ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และน้ำยางข้น ทำให้มีผลต่อการสร้างรายได้เข้าสู่ประเทศและการยกระดับรายได้ของเกษตรกรได้ไม่มาก ดังนั้น การศึกษาและพัฒนากระบวนการแปรรูปยางพาราในรูปแบบของอุตสาหกรรมจะทำให้รายได้เข้าสู่ประเทศเพิ่มสูงมากขึ้น ซึ่งในปัจจุบัน การแปรรูปยางพาราเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น ยางยานพาหนะ ถังมือยางทางการแพทย์ รองเท้าและอุปกรณ์ทางการกีฬา ผลิตภัณฑ์ฟองน้ำ หมอนยางพารา ที่นอนยางพารา ฯลฯ ถือว่าเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับยางพาราได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จากยางพาราที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุน สามารถกดหรือบิดได้โดยไม่เสียรูปทรงถาวร หรือที่เรียกว่า ยางฟองน้ำ (Latex Foam Rubber) ซึ่งนิยมผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อรองรับน้ำหนัก จากเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นรองก้นจากยางพารา

อย่างไรก็ตาม การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นรองก้นจากยางพาราเพียงอย่างเดียวนั้น ส่งผลต่อการรักษารูปร่าง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นรองก้นจากวัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials) เนื้อพื้นยางพาราซึ่งถือว่าเป็นพอลิเมอร์ (Polymer) ธรรมชาติชนิดหนึ่งเสริมแรงด้วยเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ด้วยสมมติฐานงานวิจัยนี้คือ ปริมาณน้ำยางพารา ปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียน และปริมาณสาร DPG มีผลกระทบต่อร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นรองก้น ทั้งนี้ การออกแบบการทดลองถูกประยุกต์ใช้สำหรับการศึกษารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นรองก้นวัสดุเชิงประกอบเนื้อพื้นพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยของเปลือกทุเรียน [6, 7]

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุเชิงประกอบเนื้อพื้นพอลิเมอร์

วัสดุเชิงประกอบ (Composite Material) คือ การนำวัสดุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปประกอบเข้าด้วยกันโดยวัสดุที่ผสมเข้าด้วยกันจะต้องไม่ละลายซึ่งกันและกัน วัสดุที่มีปริมาณมากกว่าจะเรียกว่าเป็นวัสดุหลักหรือสารเนื้อพื้น (Matrix) และวัสดุอีกชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดที่กระจายหรือแทรกตัวอยู่ในเนื้อวัสดุหลักเรียกว่า วัสดุเสริมแรง (Reinforcement Material) วัสดุเชิงประกอบสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ (Polymer Matrix Composite: PMC) วัสดุเชิงประกอบโลหะ (Metal Matrix Composite: MMC) และวัสดุเชิงประกอบเซรามิก (Ceramic Matrix Composite: CMC) นอกจากนี้ วัสดุเชิงประกอบอาจแบ่งได้ตามลักษณะของตัวเสริมแรง ได้เป็น วัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใย (Fibrous Composites) วัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยอนุภาค (Particulate Composites) วัสดุเชิงประกอบเสริมแรงเป็นชั้นหรือชนิดซ้อนแผ่น (Laminar or Layered Composites) [8]

2.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Experiment) เป็นกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติหรืออาจกล่าวได้ว่า การทดลองเชิงแฟคทอเรียล คือ การทดลองที่มีวัตถุประสงค์หลักในการศึกษาถึงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหรืออันตรกิริยา (Interactions) [9] โดยที่ ค่าสังเกต (Observations) ของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลสองปัจจัยถูกสุ่มอย่างสมบูรณ์ สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองทางสถิติเชิงเส้น (Linear Statistical Model) ดังสมการที่ 1 [10]

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

เมื่อ μ คือ ผลกระทบเฉลี่ยโดยรวม, τ_i คือ ผลกระทบของระดับ i ของปัจจัย A, β_j คือ ผลกระทบของระดับ j ของปัจจัย B, $(\tau\beta)_{ij}$ คือ ผลกระทบร่วมของระดับ ij ของปัจจัย A และ B, ε_{ijk} คือ ข้อผิดพลาดแบบสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติโดยมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และความแปรปรวน σ^2

2.3 การทดสอบสมมติฐานการทดลอง

การทดสอบสมมติฐานการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ เริ่มต้นจากการพิจารณาผลกระทบร่วมของปัจจัยการทดลอง โดยที่หากผลกระทบร่วมมีนัยสำคัญ ($p\text{-Value} < \alpha$) มีความหมายว่า ผลกระทบร่วมของปัจจัยนั้นมีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรตาม และไม่จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยหลักที่ทำการพิจารณาปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบร่วมการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบสมมติฐานทางสถิติในการทดลองที่มีปัจจัยที่สนใจศึกษา 2 ปัจจัย คือ A และ B ดังรายละเอียดข้างล่าง [11, 12]

1. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลกระทบหลักของปัจจัย A คือ

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1: \tau_i \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

2. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลกระทบหลักของปัจจัย B คือ

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$$

$$H_1: \beta_j \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

3. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลกระทบร่วมของ 2 ปัจจัย คือ

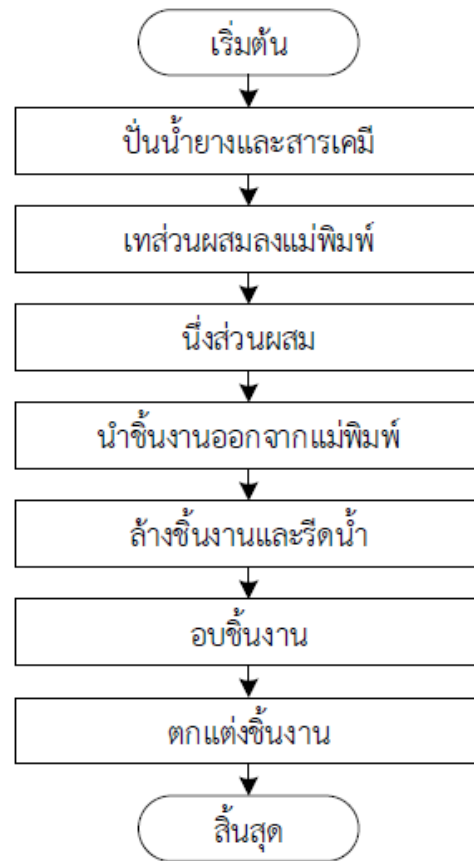
$$H_0: (\tau\beta)_{ij} = 0 ; \forall i, j$$

$$H_1: (\tau\beta)_{ij} \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากยางพารา

ผลิตภัณฑ์จากยางพารามีสมบัติเป็นรูพรุน สามารถกดหรือบิดได้โดยไม่เสียรูปอย่างถาวร หรือที่เรียกว่า ยางฟองน้ำ (Latex Foam Rubber) นิยมผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อรองรับน้ำหนัก เช่น เบาะเก้าอี้ หมอนหนุน ที่นอน ฯลฯ กระบวนการโดยทั่วไปสำหรับการเตรียมยางฟองน้ำ คือ กระบวนการทาลาลีย์ (Talalay Process) และกระบวนการดันลอป (Dunlop Process) ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ การทำให้น้ำยางเกิดเป็นฟองอากาศ การทำให้น้ำยางที่เป็นฟองอากาศเกิดเป็นเจลในโมล และการวัลคาไนซ์ฟองยางที่ได้ [5] สำหรับองค์ประกอบการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางพารา ประกอบด้วย วัตถุดิบหลักและสารเคมี ดังตารางที่ 1 ทั้งนี้ กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางพารามีขั้นตอนโดยสังเขป ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางพารา [5]

3.2 การกำหนดปัจจัยสำหรับการศึกษา

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นไปที่การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จานรองแก้วจากวัสดุเชิงประกอบเนื้อฟืนยางพาราเสริมแรงด้วยเส้นใยจากเปลือกทุเรียน เพื่อให้สามารถรักษารูปร่างและการดูดซับน้ำที่ต่ำ การกำหนดปัจจัยสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ พิจารณาเฉพาะส่วนผสมสำหรับขึ้นรูปเท่านั้น ซึ่งปัจจัยในการศึกษา คือ ปริมาณเนื้อฟืน (น้ำยางพารา) ปริมาณส่วนผสมเสริมแรง (เส้นใยจากเปลือกทุเรียน) ดังภาพที่ 2 และปริมาณสารเสริมให้เกิดเจล (DPG) ปัจจัยข้างต้นถือว่าเป็นปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) สำหรับส่วนผสมอื่นถูกกำหนดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) สำหรับการศึกษา การกำหนดระดับปัจจัยดังตารางที่ 2 การกำหนดค่าของระดับปัจจัยสำหรับปริมาณน้ำยางพารา และปริมาณสารเสริมให้เกิดเจลเป็นตามสัดส่วนของสูตรยางสังเคราะห์ชนิดไนไตรล์ [13]

ตารางที่ 1 องค์ประกอบพื้นฐานในการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางพารา

องค์ประกอบ	ประเภท	รายละเอียด
วัตถุดิบหลัก	น้ำยางพารา	น้ำยางพาราชั้น 60%
สารเคมี	สารทำให้ยางคงรูป	กำมะถัน (Sulphur)
	สารตัวเร่ง	ZDEC (Zinc Diethyl Dithiocarbamate)
	สารเสริมให้เกิดเจล	DPG (Dipropylene Glycol)
	สารกระตุ้น	ZnO (Zinc Oxide)
	สารทำให้เกิดเจล	SSF (Sodium Silicofluoride)

ตารางที่ 2 การกำหนดปัจจัย (Factor) และระดับปัจจัย (Level) สำหรับการทดลอง

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับปัจจัย		หน่วย
		สูง	ต่ำ	
ปริมาณน้ำยางพารา	A	83	167	กรัม
ปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียน	B	2	4	กรัม
ปริมาณสาร DPG	C	0.50	1	กรัม
กำมะถัน	-	2		กรัม
ZDEC	-	1		กรัม
ZnO	-	5		กรัม
SSF	-	1		กรัม



ภาพที่ 2 ลักษณะเส้นใยจากเปลือกทุเรียน

เทคนิคการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design) ด้วยโปรแกรม Minitab ถูกประยุกต์ใช้สำหรับการวิจัยนี้ ซึ่งเป็นการทดลองที่ตัวแปรตอบสนองมีค่าผันแปรขึ้นอยู่ กับผลกระทบจากปัจจัยมากกว่าหนึ่งปัจจัย โดยกำหนดระดับ ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 โดยกำหนดการ ทำซ้ำ 4 รอบ ดังนั้น จำนวนการทดลองทั้งสิ้นเป็นไปตามสมการที่

2

จำนวนการทดลอง=ผลคูณของระดับปัจจัยทุกปัจจัย

$$\times \text{จำนวนครั้งที่ทำซ้ำ} \quad (2)$$

$$\text{จำนวนการทดลอง} = 2^3 \times 4 = 32 \text{ การทดลอง}$$

4.ผลการดำเนินงานวิจัย

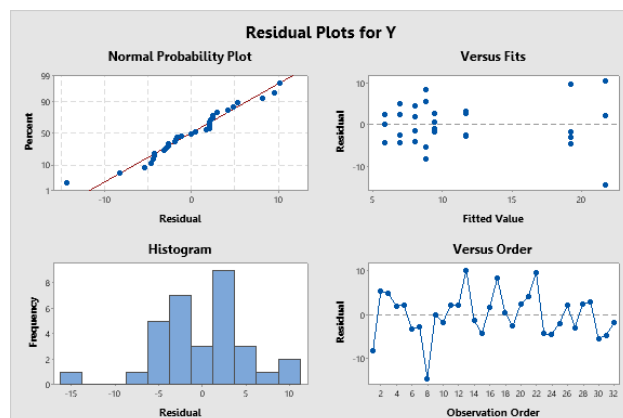
การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design) ถูกประยุกต์ใช้สำหรับกำหนดระดับของปัจจัย ที่เหมาะสมต่อการทดลองดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2 โดยงานวิจัย นี้กำหนดตัวแปรต้น (Independent Variables) คือ ปริมาณน้ำ ยางพารา ปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียน และปริมาณสาร DPG ดังตารางที่ 2 ตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือ ร้อยละ การดูดซึมน้ำ ดังสมการที่ 3 โดยกำหนดให้จานรองแก้วต้องมีร้อยละการดูดซึมน้ำที่ต่ำ ทั้งนี้ การทดลองและตรวจสอบสถานะของ การปฏิบัติงานต้องเป็นไปตามลำดับของการทดลอง (Run Order) ซึ่งประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง ($2^3 \times 4$) ด้วยระดับความเชื่อมั่น 0.95

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = (\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อน แช่น้ำ}) / \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ} \quad (3)$$

4.1 การทดสอบข้อมูล

การวิเคราะห์ความเหมาะสมของตัวแบบจำลองนี้สามารถ วิเคราะห์ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ดังภาพที่ 3 สามารถสรุป ได้ดังนี้

1. เส้นกราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงว่า ข้อมูลจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability) ของ ค่าความผิดพลาด (Residuals)
2. การกระจายตัวของข้อมูลแบบสุ่มจากค่าศูนย์ แสดงว่า ข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน
3. รูปแบบของฮิสโตแกรม (Histogram) มีการกระจายตัว จากค่าเฉลี่ยเกือบจะสมมาตร ถือได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัว แบบปกติ
4. ลักษณะของข้อมูลเป็นรูปแบบไม่มีแนวโน้ม รวมถึงมี การกระจายตัวรอบค่าศูนย์ แสดงว่า ข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน



ภาพที่ 3 การทดสอบข้อมูล

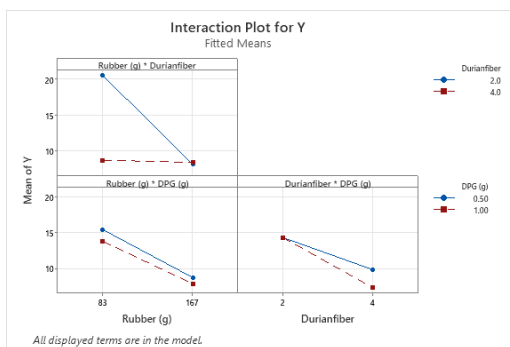
4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์และสรุปผลโดยการประยุกต์ใช้โปรแกรม สำเร็จรูปทางสถิติ โดยพิจารณาผลกระทบของปัจจัยหลักและ

ปัจจัยร่วมที่มีผลต่อค่าตอบสนองที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 ($\alpha = 0.05$) พบว่า ปัจจัยร่วม Rubber * Durian Fiber มีค่า p-value น้อยกว่าค่า α หมายถึง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำยางพารา และปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมีผลกระทบต่อร้อยละการดูดซึมน้ำ จากนั้น ทำการพิจารณาปัจจัยเดี่ยว พบว่า ปริมาณน้ำยางพาราและปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมีค่า p-value น้อยกว่าค่า α หมายถึง ปริมาณน้ำยางพารา และปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมีผลกระทบต่อร้อยละการดูดซึมน้ำ สำหรับปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมอื่นไม่มีผลกระทบต่อร้อยละการดูดซึมน้ำ ดังตารางที่ 3

4.3 การวิเคราะห์ระดับปัจจัย

จากตารางที่ 3 พบว่า ผลกระทบร่วมของปริมาณน้ำยางพาราและปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมีอันตรกิริยาร่วมกัน ค่า P-Value ของผลกระทบร่วมมีค่าน้อยกว่า α ดังนั้น จึงไม่ทำการพิจารณาผลกระทบหลัก การกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมจึงกำหนดโดยการพิจารณาจากพล็อตอันตรกิริยา ดังภาพที่ 4 จึงควรกำหนดค่าของปัจจัย ดังนี้ ปริมาณน้ำยางพารา คือ 167 กรัม ปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียน คือ 2 กรัม



ภาพที่ 4 พล็อตอันตรกิริยา

ฟังก์ชัน Response Optimization ถูกใช้สำหรับคาดการณ์ร้อยละการดูดซึมน้ำจากค่าของปัจจัยที่ถูกกำหนด ดังภาพที่ 5 พบว่า ค่าคาดการณ์ร้อยละการดูดซึมน้ำ คือ ร้อยละ 6.95 และที่

ช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval) ร้อยละ 95 ค่าคาดการณ์ร้อยละการดูดซึมน้ำ คือ 0.98 ถึง 12.93

Multiple Response Prediction

Variable	Setting
Rubber (g)	167
Durianfiber (g)	2
DPG (g)	1

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
Y	6.95	2.90	(0.98, 12.93)	(-6.41, 20.32)

ภาพที่ 5 การทำนายการตอบสนองหลายรายการ

4.4 การยืนยันผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ขึ้นรูปแผ่นรองแก้วตามระดับของปัจจัยที่เหมาะสม ดังที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ จำนวน 10 ชิ้น ดังภาพที่ 6 เพื่อยืนยันผลการทดลอง ด้วยการทดสอบสมมติฐานการทดลอง ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 นั่นคือ

H_0 : ร้อยละการดูดซึมน้ำยืนยันผลไม่แตกต่างจากการทดลอง

H_1 : ร้อยละการดูดซึมน้ำยืนยันผลมากกว่าร้อยละการดูดซึมน้ำจากการทดลอง

ผลจากการทดสอบสมมติฐาน พบว่า P-Value=0.000 ซึ่งมีค่ามากกว่า $\alpha = 0.05$ ดังภาพที่ 7 นั่นคือ ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก หรือร้อยละการดูดซึมน้ำยืนยันผลมีค่าน้อยกว่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่ได้ผลจากการทดลอง



ภาพที่ 6 แผ่นรองแก้วยางพาราเสริมแรงด้วยเส้นใย

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยเดี่ยวและปัจจัยร่วม

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	959.72	137.102	4.09	0.004
Linear	3	592.93	197.645	5.90	0.004
Rubber (g)	1	318.14	318.143	9.49	0.005
Durianfiber (g)	1	262.25	262.252	7.82	0.010
DPG (g)	1	12.54	12.540	0.37	0.547
2-Way Interactions	3	299.96	99.985	2.98	0.051
Rubber (g)*Durianfiber (g)	1	286.26	286.262	8.54	0.007
Rubber (g)*DPG (g)	1	1.17	1.166	0.03	0.854
Durianfiber (g)*DPG (g)	1	12.53	12.528	0.37	0.547
3-Way Interactions	1	66.83	66.826	1.99	0.171
Rubber (g)*Durianfiber (g)*DPG (g)	1	66.83	66.826	1.99	0.171
Error	24	804.58	33.524		
Total	31	1764.30			

Test

Null hypothesis	$H_0: \mu = 6.95$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu < 6.95$
T-Value	P-Value
-196.96	0.000

ภาพที่ 7 การทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยันผล

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นรองแก้ววัสดุเชิงประกอบเนื้อฟีนอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ด้วยการประยุกต์ใช้แนวคิดการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Experiment) โดยกำหนดระดับของแต่ละพารามิเตอร์เป็น 2 ระดับ ซึ่งสมมติฐานงานวิจัยนี้ คือ ปริมาณน้ำยางพารา ปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียน และปริมาณสาร DPG มีผลกระทบต่อร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นรองแก้ว จึงกำหนดให้ปริมาณน้ำยางพารา ปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียน และปริมาณสาร DPG เป็นพารามิเตอร์ในการศึกษา

จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล พบว่า ผลกระทบร่วมของปริมาณน้ำยางพาราและปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมีอันตรกิริยาร่วมกัน ดังนั้น ปริมาณน้ำยางพารา คือ 167 กรัม ปริมาณเส้นใยจากเปลือกทุเรียน คือ 2 กรัม จึงถูกกำหนดเป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยไม่พิจารณาผลกระทบหลักจากปัจจัยปริมาณสาร DPG ซึ่งค่าคาดการณ์ร้อยละการดูดซึมน้ำจากผลการทดลอง คือ ร้อยละ 6.95 และที่ช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval) ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 ค่าคาดการณ์ร้อยละการดูดซึมน้ำ คือ 0.98 ถึง 12.93 จากนั้น ทำการยืนยันผลการทดลองโดยการขึ้นรูปแผ่นรองแก้วตามระดับปัจจัยที่ได้จากการออกแบบการทดลอง พบว่า ร้อยละการดูดซึมน้ำยืนยันผลมีค่าน้อยกว่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่ได้ผลจากการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95

อย่างไรก็ตาม การศึกษาในอนาคตจะพิจารณาความแตกต่างของส่วนเสริมแรง นั่นคือ ส่วนเสริมแรงจากเปลือกทุเรียนในลักษณะอื่น เช่น การเสริมแรงแบบอนุภาค การเสริมแรงด้วยเส้นใยยาว ฯลฯ นอกจากนี้ ผลการทดลองในงานวิจัยนี้เหมาะสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเท่านั้น หากพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อื่นควรพิจารณาถึงผลกระทบของปัจจัยอีกครั้ง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ตามรหัสโครงการวิจัย เลขที่ KUSRCBR67-2014

7. เอกสารเอกสารอ้างอิง

- [1] Ho LH, Bhat R. Exploring the potential nutraceutical values of durian (*Durio zibethinus* L.) - an exotic tropical fruit. *Food Chem.* 2015;168:80-9.
- [2] Thiyajai P, Charoenkiatkul S, Kulpradit K, et al. Nutritional composition of indigenous durian varieties. *Malaysian Journal of Nutrition.* 2020;26(1):93-99.
- [3] Mustaffa MR, Xin Yi N, Abdullah LN, et al. Durian Recognition Based on Multiple Features and Linear Discriminant Analysis. *Malaysian Journal of Computer Science.* 2018;Special Issue:57-72.
- [4] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. ผลพยากรณ์ผลผลิต ทุเรียน ปี 2567. [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ:กระทรวงเกษตรและสหกรณ์;2567 [เข้าถึงเมื่อ 27 เมษายน 2567]. จาก: <https://www.oae.go.th/>.
- [5] ประภาพรณ เกษราพงศ์, จักรินทร์ กลั่นเงิน,จักรพันธ์ จันภิรม, และคณะ. การพัฒนาต้นแบบเครื่องขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางพารา. การประชุมวิชาการราชชมคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 7; 6-8 กรกฎาคม 2565; นครราชสีมา; 2565. น.870-876.
- [6] Toapanta QG, Paredes J, Meneses M, Salinas G. Validation of DOE Factorial/Taguchi/Surface Response Models of Mechanical Properties of Synthetic and Natural Fiber Reinforced Epoxy Matrix Hybrid Material. *Polymers (Basel).* 2024;16(14):1-21.
- [7] Miyahara RY, Melquiades FL, Ligowski E, et al. Preparation and characterization of composites from plastic waste and sugar cane fiber. *Polimeros.* 2018;28(2):147-154.
- [8] Callister WD. *Materials science and engineering an introduction.* 6th ed. John Wiley & Sons (Asia) Pte. Ltd.; 2003.
- [9] Montgomery DC. *Design and analysis of experiments.* 10th ed. USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2019.
- [10] Montgomery DC, Runger GC. *Applied statistics and probability for engineers.* 3rd ed. USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2002.
- [11] จักรินทร์ กลั่นเงิน, อนุเชษฐ์ พลเยี่ยม. การควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตเนื้อสุป้เหลวดด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต.* 2558;5(1):1-12.
- [12] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด; 2551.

- [13] พลวัน เจริญธรรมชัย. เทคโนโลยียางและผลิตภัณฑ์โฟมยาง
ธรรมชาติ. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา; 2566