

การใช้ประโยชน์จากยางพาราเพื่อการออกแบบ ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสร้างสรรค์ด้านความปลอดภัย Rubber Utilization for Safe Creative Industrial Product Design

ภัทรภรณ์ จุงพันธ์^{1*}, เกียรติศักดิ์ เขียวมั่ง² และมียอง ซอ³

Pattharaporn Joongpun^{1*}, Kriangsak Khiaomang² and Miyoung Seo³

^{1*,2,3}คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

169 ถนน ลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี ชลบุรี 20131

^{1*,2,3}Faculty of Fine and Applied Art Burapha University

169 Long Hard-Bangsaen Road Tambon Saensuk Amphoe Muang Chonburi 20131

E-mail: pattharaporn19333@gmail.com

วันที่รับบทความ 29 กันยายน 2565

Received: Sep. 29, 2022

วันที่รับแก้ไขบทความ 15 ธันวาคม 2565

Revised: Dec. 15, 2022

วันที่ตอบรับบทความ 16 ธันวาคม 2565

Accepted: Dec. 16, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยการใช้ประโยชน์จากยางพารา เพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสร้างสรรค์ด้านความปลอดภัยเป็นกระบวนการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์ ได้แก่ 1) เพื่อปรับปรุงและพัฒนาวัตถุดิบจากน้ำยางพาราที่มีความเหมาะสมสำหรับการแปรรูป โดยทำการปรับปรุงสมบัติน้ำยางพาราสดเพื่อให้ได้เป็นน้ำยางข้นที่เหมาะสมสำหรับการนำไปแปรรูป พัฒนาสมบัติด้านความแข็งแรงด้วยการผสมเส้นใยธรรมชาติ 2) เพื่อทดสอบสมบัติของวัตถุดิบยางพารา เพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยการทดสอบปริมาณเนื้อยางแห้ง การทดสอบความแข็งแรงเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานในอนาคต 3) เพื่อประยุกต์สู่การออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสร้างสรรค์ด้านความปลอดภัยโดยการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญ ผ่านการตัดสินใจด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP) เพื่อใช้ในการคัดเลือกประเภทของผลิตภัณฑ์ด้านความปลอดภัย

ผลการวิจัยพบว่า สำหรับการปรับปรุงสมบัติของน้ำยางพาราสดด้วยวิธีการคริมมิง น้ำยางข้นที่ได้จากสูตร POCMC มีปริมาณเนื้อยางแห้งอยู่ที่ร้อยละ 61.70 และมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจากการผสมด้วยเส้นใยธรรมชาติ โดยเส้นใยที่เหมาะสมจากการคัดเลือก ได้แก่ เส้นใยฝ้าย นุ่น และกล้วย และสูตรที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานโดยพิจารณาจากค่าความแข็งแรงได้จากสูตร CKB4 ที่มีค่าความแข็งแรงมากที่สุดที่ 73.93 ± 3.80 สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ด้านความปลอดภัย ผลการวิเคราะห์สถิติผ่านกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น พบว่าผลิตภัณฑ์ความปลอดภัยด้านสิ่งแวดล้อมมีค่าน้ำหนักความสำคัญที่มีความเหมาะสมมากที่สุด (0.465) โดยนำไปออกแบบเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับแรงบันดาลใจมาจากรูปทรงของผลจากต้นยางพาราและพื้นผิวยางพาราผสมเส้นใย จำนวน 4 ต้นแบบ และจำลองการสร้างต้นแบบด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ พร้อมทั้งแนวทางการนำไปใช้งานบริเวณชายฝั่งเพื่อลดและป้องกันการกัดเซาะจากคลื่นทะเล

คำสำคัญ: ยางพารา, เส้นใยธรรมชาติ, ผลิตภัณฑ์ด้านความปลอดภัย, กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

Abstract

This study focused on the evolution of rubber utilization in an experimental research process. The steps were divided into sections based on the objectives: 1) to improve and develop raw materials derived from para rubber that are suitable to produce rubber products- to enhance the properties of fresh rubber latex to make it suitable for latex processing, and increase strength by incorporating natural fibers; 2) to investigate the properties of rubber materials for product design by testing the amount of dry rubber content and hardness to determine the suitable formulation for future applications; and 3) to apply the design of products to the creative industries. Analysis of statistical values via the hierarchical decision-making process of the Analytic Hierarchy Process (AHP) was used in the selection of safety products.

The results showed that the creaming method was successful in improving the properties of rubber latex. The dry rubber content of the concentrated latex obtained from the POCMC formulation was 61.7%, and the hardness properties were increased by blending with natural fibers. The suitable fibers from the selection were cotton, kapok, and banana fibers, and the hardness value determined the appropriate formula for use from the CKB4, with the highest hardness at 73.93 ± 3.80 . For the design of safety products, statistical analysis results via a hierarchical decision-making process for safety products indicated that the environmental safety product had the highest suitability value (0.465). Four prototypes were replicated with a 3D printer using a creation inspired by the shape of a rubber fruit and a fiber composite surface, along with instructions for reducing and preventing coastal erosion.

Keywords: Rubber, Natural fibers, Safety products, Analytic Hierarchy Process (AHP)

1. บทนำ

จากสภาพปัญหาราคายางพาราโลกที่มีการผันผวน เกษตรกรชาวสวนยางในประเทศไทย จึงมีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบ อีกทั้งยังมีเรื่องของผลผลิตยางพาราไทยล้นตลาดในประเทศ ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่ามาจากการการเพาะปลูกยางพาราเพิ่มมากขึ้น จากเดิมที่มีการเพาะปลูกเพียงภาคใต้ แต่ในปัจจุบันพบการเพาะปลูกกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาค ศูนย์วิเคราะห์เศรษฐกิจทีเอ็มบี ได้กล่าวถึงว่าราคายางพารามีความเสี่ยงที่จะเกิดเหตุการณ์ที่ราคาจะผันผวนและตกลงได้เสมอ จึงได้แนะนำผู้ประกอบการปรับตัว เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบโดยผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากราคาผลิตภัณฑ์นั้น ไม่ผันผวนตามราคาวัตถุดิบยางพารา โดยเน้นการส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดผู้ผลิตปลายน้ำมากขึ้น (TMB Economic Analysis Center, 2019)

จากปัญหาพบว่าการนำน้ำยางพารามาใช้ประโยชน์ ไม่เพียงแต่เป็นการลดความผันผวนของราคายางพาราแต่ยังกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้ และมีทางเลือกในการจัดการกับวัตถุดิบที่ตนมีอยู่ มุ่งเน้นการนำไปสู่การสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรชาวสวนยางขนาดเล็ก ส่งเสริมให้เกิดการนำมาพัฒนา

และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยการนำวัตถุดิบน้ำยางพาราที่มีอยู่ในท้องถิ่นสู่การสร้างรายได้ จากเดิมที่เป็นการจำหน่ายน้ำยางพาราสดจากหน้าสวนของเกษตรกร โดยจะมีเปอร์เซ็นต์เนื้อยาง อยู่ในปริมาณร้อยละ 20 - 30 เป็นการผลิตน้ำยางพาราชั้นที่มีปริมาณเนื้อยางร้อยละ 60 ทำให้สร้าง รายได้สูงขึ้นมากกว่า 3 เท่า (ราคาน้ำยางพารา อ้างอิง ณ เดือนตุลาคม - พฤศจิกายน 2565 อยู่ที่ 43.60 - 47.00 บาทต่อกิโลกรัม (Thailand rubber price, 2022) การทำน้ำยางชั้นดังกล่าว ผ่านกระบวนการพื้นฐานในการใช้ต้นทุนทางวัตถุดิบ ร่วมกับการคิดสร้างสรรค์ (Creativity) นวัตกรรม (Innovation) หรือเทคโนโลยีเพื่อนำมาสู่การสังเคราะห์เพื่อสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ โดยใช้การเชื่อมโยงองค์ความรู้ที่มีความเกี่ยวข้อง ทั้งทางตรงหรือทางอ้อมและนำมาผสมผสาน เพื่อการต่อยอดสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์จากยางพาราที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มในเชิงพาณิชย์ (Commercialization) หรือการเพิ่มคุณค่าของวัตถุดิบที่มีในท้องถิ่นในรูปแบบอุตสาหกรรม สร้างสรรค์ (Thaothong, 2019) และในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางพาราได้มีการนำสารตัวเติม มาใช้ในการปรับปรุงอย่างแพร่หลาย แนวทางหนึ่งคือการใช้เส้นใยจากธรรมชาติ ซึ่งเส้นใยธรรมชาติ ถือเป็นวัสดุชีวมวล ข้อดีคือไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเส้นใยธรรมชาติมีทั้งจากพืช ที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืชและเส้นใยจากสัตว์ที่ได้จากโปรตีนจากขนสัตว์ และเส้นใยที่ห่อหุ้มรัง ของตัวอ่อน

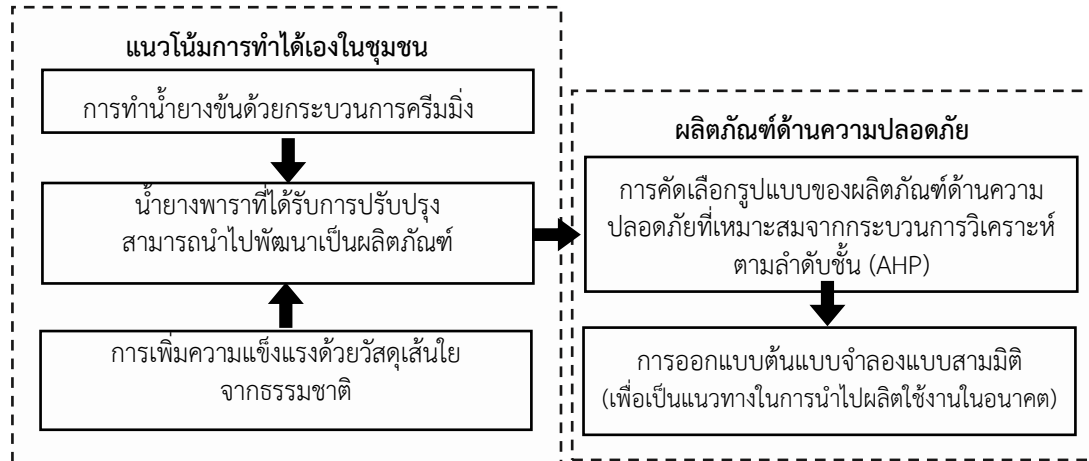
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาในเรื่องของการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากยางพารา ที่สามารถทำได้ ในท้องถิ่นเน้นการนำวัตถุดิบที่มีในชุมชนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และสามารถแปรรูปน้ำยางพารา ขึ้นพื้นฐานควบคู่กับการปรับปรุงสมบัติที่สำคัญ อันได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สมบัติพื้นผิว สมบัติเชิงกลและอื่น ๆ ด้วยการนำเอาวัตถุดิบจากธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใยจากธรรมชาติ (Ayar et.al., 2021; Roy et.al, 2021; Sivasubramanian et.al, 2020 and Zhao et.al, 2022.) มาประกอบกัน และศึกษาความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ และทำการคัดเลือกรูปแบบการนำไปใช้งาน ด้านปลอดภัยที่เหมาะสมโดยประยุกต์ใช้กระบวนการตัดสินใจ ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อน โดยทำให้ง่าย ต่อความเข้าใจ เพราะเป็นการเลียนแบบวิธีคิดและการใช้เหตุผลของมนุษย์ในการแยกปัญหา ออกเป็นลำดับชั้น สำหรับในการคัดเลือกประเภทของผลิตภัณฑ์ ท้ายสุดทำการออกแบบผลิตภัณฑ์ ด้านความปลอดภัยและสร้างต้นแบบที่มีความเป็นไปได้ พร้อมทั้งจำลองการนำไปใช้งานต่อไป ในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อปรับปรุงและพัฒนาวัตถุดิบจากน้ำยางพาราที่มีความเหมาะสมสำหรับการแปรรูป
- 2.2 เพื่อทดสอบสมบัติของวัตถุดิบยางพารา เพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์
- 2.3 เพื่อประยุกต์สู่การออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสร้างสรรค์ด้านความปลอดภัย

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นกระบวนการวิจัยเชิงทดลอง (Experiment research) โดยมีกรอบแนวคิดแสดงดังภาพที่ 1 วิธีการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย การกำหนดขอบเขตการวิจัย และการดำเนินงานวิจัยตามวัตถุประสงค์ดังนี้



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

3.1 การกำหนดขอบเขตการวิจัย

1) ขอบเขต ด้านเนื้อหาเป็นการศึกษาการพัฒนาวัตถุดิบน้ำยางพาราเพื่อนำไปแปรรูปและประยุกต์ใช้งาน เพื่อการหาวิธีการทำนํ้ายางชั้นที่ง่ายและไม่ซับซ้อนสามารถพัฒนาและทำเองได้ในชุมชนรวมถึงการพัฒนาสมบัติของแผ่นยางพาราโดยใช้เส้นใยธรรมชาติ โดยมีขอบเขตด้านพื้นที่คือ พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

2) ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุ จำนวน 3 ท่านและผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญทางการออกแบบผลิตภัณฑ์ จำนวน 3 ท่าน

3) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสัมภาษณ์ แบบสอบถามความเห็นจากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญ เครื่องมือในการวัดและทดสอบปริมาณของแข็ง (TSC) (มาตรฐานการทดสอบ ISO 124:2014) และปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC) (มาตรฐานการทดสอบ ISO 126:2005) การทดสอบความแข็งแรงด้วยเครื่องวัดความแข็ง (Shore A Durometer)

4) การเก็บรวบรวมข้อมูล จากการสังเกตและบันทึกลงในตารางเก็บข้อมูล

5) การวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ การวิเคราะห์สูตรที่เหมาะสมในกระบวนการครีมีมิ่งจากการทดสอบปริมาณเนื้อยางแห้ง การวิเคราะห์สูตรที่เหมาะสมที่ทำให้ให้นํ้ายางพารามีประสิทธิภาพในเชิงสมบัติเชิงกลด้านความแข็งแรง และการวิเคราะห์การหาค่าน้ำหนักโดยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น เพื่อเลือกความเหมาะสมในการออกแบบผลิตภัณฑ์ด้านความปลอดภัย

3.2 การปรับปรุงและพัฒนาวัตถุดิบจากน้ำยางพาราที่มีความเหมาะสมสำหรับการแปรรูป

1) ศึกษาแนวทางการพัฒนาวัตถุดิบน้ำยางพาราและสูตรน้ำยางพาราในการนำไปแปรรูปโดยการสัมภาษณ์ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการปรับปรุงสมบัติของวัสดุ จำนวน 3 ท่าน รวมทั้งการนำผลการศึกษาเอกสารและงานวิจัยเกี่ยวของมาสรุปและกำหนดเป็นแนวทางในการพัฒนา จากนั้นทำการศึกษา

และทดลองในขั้นตอนพัฒนากระบวนการทำน้ำยาฟาราชั้นโดยกระบวนการครีมีนึ่ง ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกษตรกรสามารถทำได้ในชุมชน โดยทำการทดลองสูตรในการทำน้ำยาฟาราชั้นในเงื่อนไขและสัดส่วนของสารเคมีตามที่แสดงดังตารางที่ 1 โดยผลของการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเนื่อยาที่ได้เทียบกับกระบวนการปั่นเหวี่ยงที่ใช้ในอุตสาหกรรม

ตารางที่ 1 สูตรยาฟารา

สารเคมี	ปริมาณ(phr)					
	สูตรที่ 1 AOHPMC	สูตรที่ 2 AOCMC	สูตรที่ 3 AOHEC	สูตรที่ 4 POHPMC	สูตรที่ 5 POCMC	สูตรที่ 6 POHEC
น้ำยาฟาราสด	100	100	100	100	100	100
Ammonia	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Hydroxypropyl methyl cellulose (HPMC)	0.4	-	-	0.4	-	-
Carboxymethyl cellulose (CMC)	-	0.4	-	-	0.4	-
Hydroxyethyl Cellulose (HEC)	-	-	0.4	-	-	0.4
Ammonium oleate	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.5

2) ศึกษาการพัฒนาสมบัติของการผสมวัสดุเส้นใยจากธรรมชาติ เพื่อเสริมความแข็งแรงสำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเส้นใยธรรมชาติที่มีโครงสร้างประกอบไปด้วย เส้นใยจากใบ (Hard Fibers) เส้นใยที่หุ้มเมล็ด (Surface Fibers) เส้นใยจากเปลือกไม้ (Soft Fibers) และเส้นใยจากสัตว์ ซึ่งเป็นสารประเภทโปรตีน ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้เป็นวัตถุดิบที่หาได้ในประเทศไทย จึงมีความน่าสนใจอย่างยิ่งที่จะนำเพิ่มความแข็งแรงให้กับยาฟารา โดยเส้นใยที่ผู้วิจัยได้นำมาทดลองมีทั้งหมด 11 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เส้นใยที่ใช้ในการผสมน้ำยาฟารา

เส้นใยจากใบ	เส้นใยที่หุ้มเมล็ด	เส้นใยจากเปลือกไม้	เส้นใยจากสัตว์
สับปะรด	ฝ้าย	ไผ่	ไหม
ป่านครนารายณ์	นุ่น	กล้วย	
อากาเว่	มะพร้าว	กล้วย	
ลาน			

3.3 การทดสอบสมบัติของวัตถุดิบยาฟารา เพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์

1) การทดสอบหาปริมาณของแข็ง (TSC) และปริมาณเนื่ออย่างแห้ง (DRC) โดยการทดสอบปริมาณของแข็ง (TSC) ตามมาตรฐานการทดสอบ ISO 124:2014 และปริมาณเนื่ออย่างแห้ง (DRC) (มาตรฐานการทดสอบ ISO 126:2005)

2) การทดสอบความแข็งแรงของแผ่นยาฟาราที่ได้จากการขึ้นรูป โดยขั้นตอนการขึ้นรูปเพื่อทำการทดสอบจะทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการเทหล่อแบบแผ่นยาฟารา ความกว้าง 9 เซนติเมตร และความยาว 14 เซนติเมตร โดยใช้เนื่ออย่างทั้งหมดปริมาณ 25 มิลลิลิตร ขึ้นต้นเทเนื่ออย่างปริมาณ

5 มิลลิลิตร จากนั้นนำเส้นใยผสมลงไปใต้น้ำอย่างกดยให้เรียบและเทน้ำบางส่วนที่เหลือผสมลงไป ผึ่งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำแผ่นยางพาราเข้าเตาอบลมร้อนด้วยอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ท้ายสุดผึ่งทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ขั้นตอนการเตรียมแผ่นยางพาราผสมเส้นใย แสดงดังภาพที่ 2 ขั้นตอนการวัดโดย Shore A Durometer โดยทำการวัดทั้งหมด 50 ตำแหน่ง นำค่าที่ได้มาเฉลี่ยและแสดงผลการเปรียบเทียบ



1) เตรียมน้ำยาง 2) ผสมเส้นใย 3) ทิ้งไว้ให้แห้ง 4) นำเข้าเตาอบ 5) แผ่นยางพารา
ภาพที่ 2 ขั้นตอนการผสมเส้นใยและการขึ้นรูปยางพารา

3.4 การประยุกต์สู่การออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสร้างสรรค์ด้านความปลอดภัย

1) การคัดเลือกรูปแบบของการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสร้างสรรค์ด้านความปลอดภัย โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น โดยแบ่งกลุ่มได้ 3 ประเภท ดังนี้
1) ผลิตภัณฑ์ด้านความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม 2) ผลิตภัณฑ์ด้านความปลอดภัยทางถนน
3) ผลิตภัณฑ์ด้านความปลอดภัยต่อร่างกาย โดยผู้วิจัยได้ตั้งเกณฑ์ในการตัดสินใจ เป็นไปในลักษณะพัฒนาและสร้างสรรค์ (Saributr, 2006) โดยการนำเอาเกณฑ์การออกแบบมาใช้ในการสร้างสรรค์ การออกแบบผลิตภัณฑ์ ทั้งหมด 5 ด้าน (Deboonmee, 2007) ได้แก่ สมบัติของวัสดุ กระบวนการผลิต ประโยชน์ใช้สอย ความสวยงาม และความคงทน โดยขั้นตอนกระบวนการออกแบบ และดำเนินการ วิเคราะห์ตามขั้นตอนดังนี้

(1) สร้างแผนภูมิโครงสร้างลำดับชั้นในขั้นตอนการตัดสินใจ สำหรับการคัดเลือก ประเภทผลิตภัณฑ์ยางพาราผสมเส้นใยธรรมชาติ

(2) สร้างตารางเมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการจัดอันดับ ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจคัดเลือกประเภทผลิตภัณฑ์ยางพาราผสมเส้นใยธรรมชาติ เริ่มจากการเปรียบเทียบ รายคู่ โดยเกณฑ์การให้คะแนนความสำคัญ เป็นเกณฑ์ระดับคะแนน 1 - 9 และคำนวณค่าน้ำหนัก แต่ละเกณฑ์ (สมบัติของวัสดุ กระบวนการผลิต ประโยชน์ใช้สอย ความสวยงาม และความคงทน) นำค่าน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณในเมตริกซ์ (เพื่อหาค่า Eigenvector) ทำการเปรียบเทียบรายคู่ในกรณี เกณฑ์ทางเลือก (ผลิตภัณฑ์ด้านความปลอดภัยในต่อสิ่งแวดล้อม, ผลิตภัณฑ์ด้านความปลอดภัย ทางถนน และผลิตภัณฑ์ด้านความปลอดภัยต่อร่างกาย) สร้างเมตริกซ์และหาค่าปัจจัยน้ำหนักร่วมกับ Eigenvector ของเกณฑ์หลักเพื่อได้ค่าน้ำหนักที่มีนัยสำคัญในการเลือกท้ายสุด



ภาพที่ 3 แผนภูมิโครงสร้างลำดับขั้นตอนการตัดสินใจ

2) การออกแบบต้นแบบอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ด้านความปลอดภัยต่อการนำไปใช้ประโยชน์ โดยนำเอารูปร่างรูปทรงที่มีความเป็นเอกลักษณ์ของส่วนประกอบจากต้นยางพารา และพื้นผิวที่มีลักษณะเฉพาะของยางพาราผสมเส้นใยธรรมชาติ มาใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์จำนวน 4 รูปแบบ และนำไปสร้างเป็นต้นแบบและต้นแบบของการจำลองการนำไปใช้งาน

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการปรับปรุงและพัฒนาวัตถุดิบจากน้ำยางพาราที่มีความเหมาะสมสำหรับการแปรรูป

1) ผลการศึกษาแนวทางการพัฒนาวัตถุดิบน้ำยางพารา และสูตรน้ำยางพาราในการนำไปแปรรูป จากการสัมภาษณ์ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการปรับปรุงสมบัติของวัสดุ พบว่าการนำเส้นใยจากธรรมชาติสามารถนำมาปรับปรุงสมบัติความแข็งแรงให้กับยางพาราได้ โดยสามารถนำไปผสมเข้ากับน้ำยางพาราเพื่อให้สมบัติด้านต่าง ๆ มีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติทางพื้นผิว เป็นต้น และยังสามารถนำยางพาราที่ได้รับการปรับปรุงสมบัติไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ได้ อย่างเป็นรูปธรรม สำหรับการพัฒนาสูตรน้ำยางแต่ละสูตรด้วยวิธีการครีมีมิ่งให้ผลการแยกชั้นของเนื้อยาง โดยพบข้อสังเกตในเรื่องสมบัติเชิงกลโดยน้ำยางพาราที่ได้จะมีความเหนียวสูงกว่าน้ำยางชั้นจากการปั่นเหวี่ยง ในการเพิ่มความแข็งแรงของน้ำยางทำได้โดยการปรับปรุงด้วยการผสมสารเคมีเพื่อพัฒนาสมบัติให้มีความแข็งแรง ทนทานต่อการเสื่อมสภาพ และเพิ่มให้น้ำยางมีความเสถียรมากขึ้นดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สูตรทางเคมีสำหรับการเพิ่มสมบัติของน้ำยางข้น

น้ำยางและสารเคมี	น้ำหนัก(กรัม)	สัดส่วนน้ำหนัก(%)
60% น้ำยางข้น	100	93.72
10% โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	0.2	0.19
50% กำมะถัน	2.5	2.34
50% แซตดีอีซี	1.5	1.41
50% วิงสเตย์แอล	1.0	0.94
50% นาโนซิงค์ออกไซด์	1.5	1.41
น้ำหนักรวม	106.7	100

2) ผลการศึกษาการพัฒนาสมบัติของการผสมวัสดุเส้นใยจากธรรมชาติ เพื่อเสริมความแข็งแรง ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ เพื่อนำไปสู่ความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ และได้ทำการคัดเลือกเส้นใยธรรมชาติ จากการสังเกตเบื้องต้นจากเส้นใยทั้งหมด 11 ชนิด ผู้วิจัยได้คัดเลือกใช้เส้นใยฝ้าย นุ่น และกล้วย โดยแต่ละเส้นใยนั้นมีลักษณะและสมบัติเฉพาะตัวในการผสมกับน้ำยางพารา มีข้อสังเกตพบว่า

- เส้นใยฝ้ายมีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีขนาดเล็กและเกาะกันเป็นกลุ่ม สมบัติในการดูดซับน้ำยางพาราได้ดี กระจายตัวในน้ำยางพาราได้ไม่สม่ำเสมอ แผ่นยางพารามีลักษณะไม่คงรูป แต่พบว่าการยืดหยุ่นที่ดี เมื่อทิ้งไว้แผ่นยางพาราไว้เป็นเวลา 30 วัน เกิดเชื้อราขึ้นบนแผ่นยาง

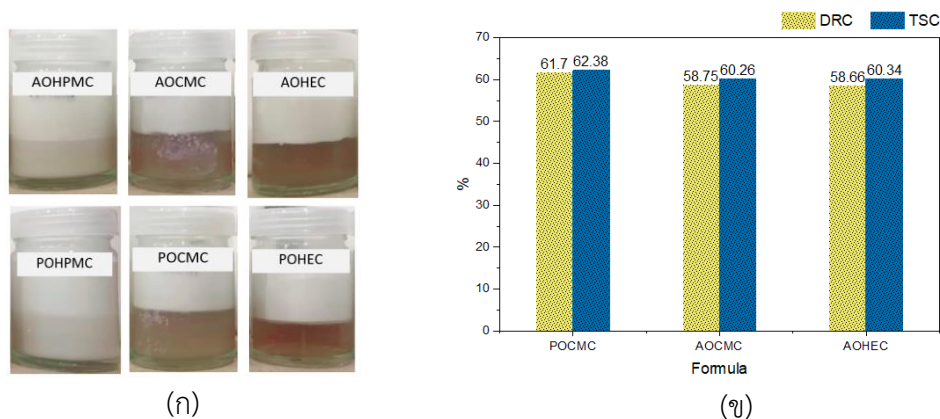
- เส้นใยนุ่น เป็นเส้นใยที่มีขนาดเล็กและสั้น ดูดซับน้ำยางพาราได้ดีมาก เส้นใยสามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำยาง มีลักษณะคงรูปแต่ขาดความยืดหยุ่น เมื่อทิ้งไว้แผ่นยางพาราเป็นเวลา 30 วัน เกิดเชื้อราขึ้น

- เส้นใยกล้วย เป็นเส้นใยที่มีไม่สม่ำเสมอ เส้นใยกระจายตัวได้ดี ยางพารามีลักษณะคงรูปแต่ขาดความยืดหยุ่น เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วัน แผ่นยางพาราไม่เกิดเชื้อรา

4.2 ผลการทดสอบสมบัติของวัตถุดิบยางพารา เพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์

1) การทดสอบเพื่อหาปริมาณของแข็งทั้งหมด(TSC) และปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC)

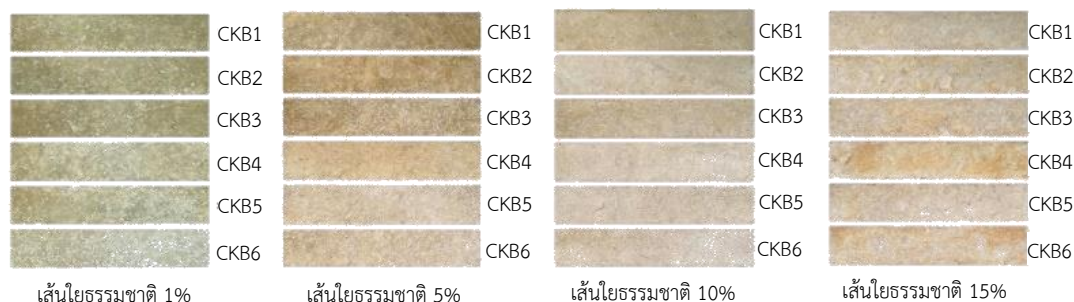
จากน้ำยางข้นด้วยวิธีการครีมีนึ่งจากการทดลองทั้งหมด 6 สูตร พบการแยกชั้นเมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน โดยที่น้ำยาง 3 สูตรที่มีการแยกชั้นที่ดีที่สุดคือสูตร AOCMC, AOHEC และ POCMC แสดงดังภาพที่ 4(ก) จากนั้นนำสูตรที่มีความเหมาะสม 3 อันดับมาทำการทดลองซ้ำ และทำการเก็บข้อมูลภายในระยะเวลา 7 วัน 15 วัน และ 30 วัน ภายในอุณหภูมิห้อง หลังจากผ่านไป 30 วัน พบว่าสูตร POCMC มีปริมาณเนื้อยางแห้งอยู่ที่ 61.70 และปริมาณของแข็งทั้งหมด 62.38 ร้อยละโดยน้ำหนัก มีคุณภาพของปริมาณเนื้อยางแห้งที่ใกล้เคียงกับน้ำยางข้นที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงจากอุตสาหกรรม เกษตรกรเจ้าของสวนยางและชุมชนสามารถนำกระบวนการครีมีนึ่งใช้ในการแปรรูปน้ำยางพาราแทนกระบวนการปั่นเหวี่ยงเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำยางเบื้องต้นได้ โดยมูลค่าของขึ้นกับปริมาณสัดส่วนของเนื้อยางในน้ำยางดิบ



ภาพที่ 4 (ก) ลักษณะการแยกชั้นของน้ำยางพารา (ข) ปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC) และปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC)

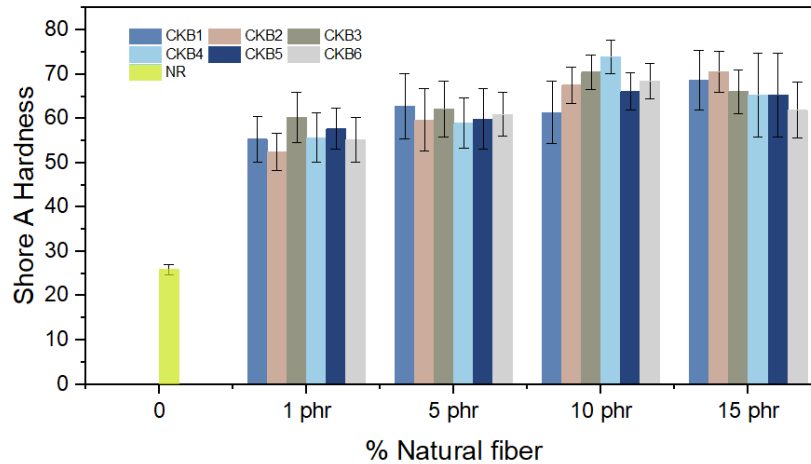
2) ผลการทดสอบความแข็งของแผ่นยางพาราที่ได้จากการขึ้นรูป

จากการผสมเส้นใยในทั้งสามส่วนตามอัตราส่วน (เส้นใยฝ้าย: เส้นใยนุ่น: เส้นใยกล้วย, Cotton: Kapok: Banana) จำนวน 6 สูตร ได้แก่ 1) 60:20:20 (CKB1) 2) 40:20:40 (CKB2) 3) 40:40:20 (CKB3) 4) 20:20:60 (CKB4) 5) 20:40:40 (CKB5) และ 6) 20:60:20 (CKB6) จากการคำนวณอัตราส่วนผสม ของน้ำยางพาราจากทฤษฎีเชิงเส้น (Lind Blend) ในการกำหนดสัดส่วนของเส้นใยธรรมชาติในน้ำยางพารา จำนวน 4 สูตร ได้แก่ 1, 5, 10 และ 15 ร้อยละโดยน้ำหนัก รวมทั้งสิ้น 24 สูตร



ภาพที่ 5 น้ำยางพาราผสมเส้นใยธรรมชาติ 24 สูตร

ลักษณะแผ่นยางจากการขึ้นรูปแสดงดังภาพที่ 5 จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของแผ่นยางแต่ละสูตร ในเรื่องความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ประโยชน์ กล่าวคือส่วนประกอบของทั้งสามเส้นใยผสมในน้ำยางพาราและสามารถขึ้นรูปได้ และมีความคงรูปเมื่อระยะเวลาผ่านไปมากกว่า 30 วัน เมื่อทำการทดสอบความแข็งแสดงดังภาพที่ 6 เปรียบเทียบระหว่างแผ่นยางพาราปกติและแผ่นยางพาราที่ผสมเส้นใย แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของความแข็งอย่างมีนัยสำคัญ โดยเส้นใยผสมสามารถเพิ่มสมบัติด้านความแข็ง (Shore A hardness) ให้กับแผ่นยางพาราโดยมีค่ามากกว่า 50 ในทุกสูตร เมื่อเทียบกับแผ่นยางพาราปกติที่มีความแข็ง 25.94 ± 1.13 โดยสูตรที่มีความแข็งสูงที่สุดคือสูตร CKB4 (20:20:60) ที่สัดส่วนการผสมในยางพาราร้อยละ 10 โดยน้ำหนักมีค่าความแข็งเท่ากับ 73.93 ± 3.80



ภาพที่ 6 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งของแผ่นยางพารา

จากสมบัติการคงรูปและความแข็งที่ถูกปรับปรุงดังกล่าว สามารถประยุกต์ใช้งานกรณีใช้เป็นชิ้นงานและแผ่นเคลือบบนผิวซีเมนต์ คอนกรีต เป็นต้น และเมื่อคำนวณเป็นมูลค่ากรณีแผ่นยางพาราผสมเส้นใยในปริมาณน้ำยางพารา 1 ลิตร สามารถผลิตเป็นแผ่นยางพาราผสมเส้นใยได้พื้นที่ 1.4 ตารางเมตร คิดเป็นต้นทุนการผลิตโดยประมาณน้อยกว่า 70 บาท (คำนวณได้จากราคา น้ำยาง, เส้นใย, สารเคมี) ซึ่งในกรณีเป็นเกษตรกรเจ้าของสวนยางต้นทุนลดลงได้น้อยกว่า 40 บาท

4.3 ผลการประยุกต์สู่การออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสร้างสรรค์ด้านความปลอดภัย

1) ผลการคัดเลือกรูปแบบของการออกแบบ และพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสร้างสรรค์ด้านความปลอดภัย โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น

การเปรียบเทียบในแต่ละปัจจัยจากการสร้างเมตริกซ์ จะทำการเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบความปลอดภัยด้านต่าง ๆ แยกตามปัจจัยด้านต่าง ๆ จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่สอดคล้อง จากการวิเคราะห์การประเมินเกณฑ์หลักค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่มีนัยสำคัญของเกณฑ์ในการจัดอันดับที่ส่งผลต่อการตัดสินใจคัดเลือกประเภทผลิตภัณฑ์ความปลอดภัย เพื่อหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักเกณฑ์ทั้ง 5 ด้าน พบว่า ปัจจัยความสำคัญในการออกแบบโดยเรียงตามอันดับสามอันดับแรก ได้แก่ 1) สมบัติของวัสดุ 2) กระบวนการผลิต 3) ประโยชน์ใช้สอย ตามลำดับ สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ด้านความปลอดภัยทั้งสามด้านที่นำมาเปรียบเทียบรายประเด็นโดยมีการให้น้ำหนัก 5 ด้านจากผลของตารางที่ 4 ค่าที่ได้แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยหลักในการคัดเลือกผลิตภัณฑ์จากยางพาราผสมเส้นใย

เกณฑ์	สมบัติของวัสดุ	กระบวนการผลิต	ประโยชน์ใช้สอย	ความสวยงาม	ความคงทน	ผลรวมคะแนน	ค่าเฉลี่ยน้ำหนัก
สมบัติของวัสดุ	0.480	0.672	0.462	0.250	0.296	2.160	0.432
กระบวนการผลิต	0.120	0.168	0.308	0.313	0.296	1.205	0.241
ประโยชน์ใช้สอย	0.160	0.084	0.154	0.250	0.296	0.944	0.189
ความสวยงาม	0.120	0.034	0.038	0.063	0.037	0.292	0.058
ความคงทน	0.120	0.042	0.038	0.125	0.074	0.400	0.080
ผลรวมเฉลี่ย	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	5.000	1.000

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์การจัดลำดับทางเลือกในการคัดเลือกผลิตภัณฑ์

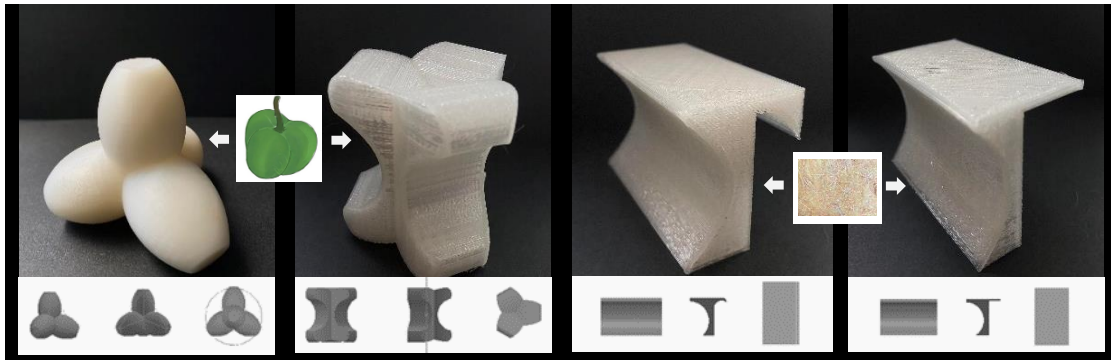
เกณฑ์	สมบัติ ของวัสดุ	กระบวนการ การผลิต	ประโยชน์ ใช้สอย	ความ สวยงาม	ความ คงทน	ค่าเฉลี่ย น้ำหนัก
ความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม	0.180	0.107	0.117	0.014	0.048	0.465
ความปลอดภัยต่อการจราจร	0.198	0.093	0.042	0.032	0.010	0.376
ความปลอดภัยต่อร่างกาย	0.055	0.041	0.029	0.012	0.022	0.159
ผลรวมค่าเฉลี่ยน้ำหนัก						<u>1.000</u>

ผลการทดสอบค่าสถิติผ่านกระบวนการตัดสินใจ ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น จากค่าที่ได้ พบว่า อันดับ 1 คือ ผลิตภัณฑ์ความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักมากที่สุด (0.465) อันดับ 2 คือ ผลิตภัณฑ์ความปลอดภัยต่อการจราจร (0.376) และอันดับ 3 คือ ผลิตภัณฑ์ความปลอดภัยต่อร่างกาย (0.159) จากกระบวนการตัดสินใจที่ได้จึงมีความเหมาะสมในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

2) ผลการการออกแบบต้นแบบอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ ด้านความปลอดภัยต่อการนำไปใช้ประโยชน์

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึงความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม โดยมุ่งเน้นที่ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลของประเทศไทยส่งผลกระทบต่อชุมชน สังคม และวิถีชีวิต ในการทำกิจกรรมของมนุษย์ โดยแนวทางในการออกแบบผลิตภัณฑ์มุ่งเน้นในช่วยชะลอพลังงานคลื่น ลดผลกระทบที่เกิดจากคลื่นทะเล โดยทำการออกแบบโดยคำนึงถึงเกณฑ์ทั้ง 5 ด้าน เรียงตามลำดับ ได้แก่ สมบัติของวัสดุ กระบวนการผลิต ประโยชน์ใช้สอย ความคงทน และความสวยงาม อีกทั้งสมบัติของยางพาราที่ได้จากการศึกษาในขั้นต้น โดยยางพาราเมื่อเทียบกับหุ่นคอนกรีตสามารถช่วยซับแรงกระแทก ลดพลังงานจลน์ และกระจายพลังงาน (Energy dissipation) ที่เกิดจากคลื่นน้ำ (Suwannarat et al, 2020) ลดปัจจัยเสี่ยงในการเกิดความไม่ปลอดภัยเช่น การลุดและป้องกันการกัดเซาะจากคลื่นทะเล

ผู้วิจัยจึงได้นำเอารูปทรงของผลลูกยางมาใช้ในการออกแบบในครั้งนี้ จำนวน 2 รูปแบบ เพื่อการใช้งานริมฝั่งใต้ผิวน้ำตามแนวคิด การออกแบบให้มีการรับแรงหรือดูดซับพลังงานจลน์ที่เกิดจากคลื่น มีส่วนโค้งเว้าแบบหลายด้าน และการออกแบบเป็นแผ่นป้องกันชายฝั่งเหนือผิวน้ำ 2 รูปแบบ โดยมีแนวคิดการแสดงออกถึงลักษณะความสวยงามเฉพาะของพื้นผิวที่มีเส้นใยเป็นส่วนประกอบโดยการนำไปใช้งานจริงในอนาคต อาจทำได้โดยเป็นแผ่นเคลือบบนผนังกันของชายฝั่งและวัสดุผิวปิดของสภาพแวดล้อมบริเวณชายฝั่ง จากนั้นทำการสร้างต้นแบบ 3 มิติ ผลการออกแบบแสดงดังภาพที่ 7 และการจำลองการเคลือบบนผิวซีเมนต์และตัวอย่างการจำลองการนำไปใช้งานแสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 7 ต้นแบบ 3 มิติ



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 8 (ก) การทดลองเคลือบยางพาราผสมเส้นใยบนวัสดุซีเมนต์ (ข, ค) การจำลองการนำไปใช้

5. สรุปและการอภิปรายผล

จากแนวคิดในการวิจัยเชิงทดลอง โดยบูรณาการองค์ความรู้และนวัตกรรมเพื่อปรับปรุงวัสดุใหม่เพื่อเพิ่มมูลค่า โดยเน้นให้ผู้สนใจสามารถนำเอากระบวนการทดลองที่ได้มาปรับใช้ ร่วมกับการนำแนวคิดด้านการออกแบบและใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมมาสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ นำไปสู่การต่อยอดผลิตภัณฑ์จากยางพาราในรูปแบบอื่น ๆ ที่มีหลากหลายมากขึ้น สรุปผลการวิจัย ดังนี้

1) การปรับปรุงและพัฒนาวัตถุดิบจากน้ำยางพาราที่มีความเหมาะสมสำหรับการแปรรูปจากการศึกษาการนำน้ำยางพาราสด ผ่านกระบวนการปรับปรุงสมบัติของน้ำยางพาราสด ด้วยวิธีการทำน้ำยางชั้นแบบครีมมิ่ง ซึ่งสามารถทำได้ด้วยกระบวนการไม่ซับซ้อน เกษตรกรและชุมชนสามารถนำกระบวนการดังกล่าวไปใช้งานได้ และจากการคัดเลือกเส้นใยจากหลายเส้นใย เส้นใยฝ้าย นุ่น และกล้วยมีความเหมาะสมในการผสมและปรับปรุงสมบัติของยางพารา

2) การทดสอบสมบัติของวัตถุดิบยางพารา เพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ น้ำยางชั้นแบบครีมมิ่งจากสูตร POCMC น้ำยางชั้นที่ได้มีปริมาณเนื้อยางอยู่ที่ร้อยละ 61.70 และในกระบวนการเพิ่มความแข็งแรงด้วย เส้นใยฝ้าย เส้นใยนุ่น และเส้นใยกล้วย พบว่าสามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานมีความคงรูป โดยการผสมเส้นใยถือเป็นปัจจัยในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับยางพารา ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ayar et.al, 2021; Roy et.al, 2021; Sivasubramanian et.al, 2020 and Zhao et.al, 2022. สูตรที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานได้แก่สูตร CKB4 ในสัดส่วนการผสม 10 phr โดยพิจารณาจากค่าความแข็งแรงมากที่สุดที่ 73.93 ± 3.80 จากผลดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์สู่การออกแบบผลิตภัณฑ์ได้ในหลากหลายรูปแบบ

3) การประยุกต์สู่การออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสร้างสรรค์ด้านความปลอดภัย กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมกับยางพารา โดยผลิตภัณฑ์ความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญมากที่สุด (0.465) จึงได้ออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เน้นไปที่สิ่งแวดล้อมทางทะเล โดยอาศัยสมบัติการดูดซับพลังงานของยางพาราเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หุ่นคอนกรีตแบบเดิม โดยวัสดุยางพาราสามารถลดพลังงานของคลื่นทะเลได้ เปรียบเทียบได้จากค่าการกระจายพลังงาน (Energy dissipation, $\Delta E\%$) ดังผลการศึกษาของ Suwannarat et al, 2020 สำหรับในขั้นตอนการออกแบบสามารถออกแบบได้เป็นสองส่วนคือ ส่วนที่ใช้งานใต้ผิวน้ำ 2 รูปแบบ จากแรงดันดาลใจของเอกลักษณ์รูปทรงของผลยางพารา และส่วนที่ใช้งานเหนือผิวน้ำ 2 รูปแบบ โดยการแสดงออกถึงพื้นผิวของแผ่นยางพาราที่แสดงลักษณะของเส้นใยผสมที่โดดเด่น ท้ายสุดพิมพ์ต้นแบบสามมิติ และแสดงลักษณะการใช้งานที่สามารถประยุกต์สู่ภาคอุตสาหกรรมในการผลิตจริงในอนาคต เพื่อผู้ใช้งานด้านวิศวกรรมโยธา ชายฝั่ง และสิ่งแวดล้อม

จากผลการวิจัยในครั้งนี้พบว่า และการใช้ประโยชน์จากน้ำยางพารานั้น ต้องมีการเพิ่มสมบัติให้กับยางพารา เนื่องจากน้ำยางพาราสดนั้นไม่สามารถที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันที การพัฒนาสมบัติของน้ำยางพารานั้นถือเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในรูปแบบใหม่ นอกจากนี้การพัฒนาสมบัติด้วยเส้นใยธรรมชาติเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับยางพารา ส่งผลต่อการลดการใช้วัสดุสังเคราะห์ที่ก่อให้เกิดมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม โดยสามารถประยุกต์ใช้เป็นวัสดุในการผลิตที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบผลิตภัณฑ์ตามความต้องการได้อย่างหลากหลาย หากมีการนำไปพัฒนาในเชิงพาณิชย์จะเป็นการเพิ่มช่องทางการสร้างรายได้ให้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- Ayar, M., Dalkiran, A., Kale, U., Nagy, A., & Karakoc, T. H. (2021). Investigation of the substitutability of rubber compounds with environmentally friendly materials. *Sustainability*, 13(9), 5251.
- Deboonmee, S (2007). *The study of industrial product design*. Bangkok: Odeon Store.
- Roy, K., Debnath, S. C., Pongwisuthiruchte, A., & Potiyaraj, P. (2021). Recent advances of natural fibers based green rubber composites: Properties, current status, and future perspectives. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(35), 50866. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/app.50866>.
- Saributr, S. (2006). *Industrial Product Technology*. Bangkok: O.S. Printing House. (in Thai)
- Sivasubramanian, P., Mayandi, K., Santulli, C., Alavudeen, A., & Rajini, N. (2020). Effect of Fiber Length on Curing and Mechanical Behavior of Pineapple Leaf Fiber (PALF) Reinforced Natural Rubber Composites, *Journal of Natural Fibers*, 19(11), 4326-4337, DOI: 10.1080/15440478.2020.1856281.

- Suwannarat, W., Kositgittiwong, D., Ekkawatpanit, C., Sukjan, R. (2020). "A study of the energy reduction of flow through concrete and natural rubber tetrapods." The 25th National Convention on Civil Engineering 25, WRE05-1-WRE05-8.
- Thailand rubber price. (2022, November 4). *Thailand rubber price*. [online], Available: <https://www.raot.co.th/rubber2012/menu5.php>.
- Thaothong, S. (2019). *Advanced design thinking in art*. Chonburi: Bangsaen printing. (in Thai)
- TMB Economic Analysis Center. (2019). *Export situation in 2019*. [online], Available: <https://www.tmbbank.com/analytics>. Access on June 12, 2020. (in Thai)
- Zhao, X., Copenhaver, K., Wang, L., Korey, M., Gardner, D. J., Li, K., Lamm, M. E., Kishore, V., Bhagia, S., Tajvidi, M., Tekinalp, H., Oyediji, O., Wasti, S., Webb, E., Ragauskas, A. J., Zhu, H., Peter, W. H., & Ozcan, S. (2022). Recycling of natural fiber composites: Challenges and opportunities. *Resources, Conservation and Recycling*, 177, 105962. DOI: /10.1016/j.resconrec. 2021.105962.