

# การผลิตแผ่นไม้ปูพื้นจากต้นมันสำปะหลังโดยใช้ยางเครพเป็นกาวประสาน

## The Production of Wood Flooring from Cassava Stem Using Crepe Rubber is a Binder

ณิชาภา มินาบุญ<sup>1\*</sup> พรชัย ชันทะวงศ์<sup>2\*</sup> ชัชชติภักษ์ เดชจirimณี<sup>2</sup> และจุฬาลักษณ์ ไพบุญฝุ่งเฟื่อง<sup>1</sup>  
Nichapha Minaboon,<sup>1\*</sup> Pornchai Kuntawong,<sup>2</sup> Chutchatiput Dachjiramane<sup>2</sup>  
and Chulalak Paiboonfungfeang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

<sup>1</sup>Faculty of Architecture and Design, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

<sup>2</sup>วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

<sup>2</sup>College of Innovation Management, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

\*Corresponding author: Pornchai.kun@rmutr.ac.th, nichapha.min@rmutr.ac.th

Received: May 26, 2021

Revised: August 1, 2021

Accepted: August 9, 2021

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาถึงกระบวนการผลิตแผ่นไม้ปูพื้นจากต้นมันสำปะหลังโดยไม่ใช้สารเคมีเป็นตัวประสาน ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำยางเครพมาเป็นตัวประสานในกระบวนการผลิตแผ่นไม้ปูพื้น และศึกษาคุณสมบัติการผลิตแผ่นไม้ปูพื้นจากต้นมันสำปะหลังโดยใช้ยางเครพเป็นตัวประสาน โดยใช้ยางเครพในปริมาณร้อยละ 0 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักต่อผงต้นมันสำปะหลัง อัดขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ด้วยแรงอัด 50 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร ระยะเวลา 10 นาที ได้แผ่นกระเบื้องยาง ขนาด 40x40x0.16 เซนติเมตร ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ การวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test การทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.876-2547) ผลการวิจัยพบว่า แผ่นไม้อัดจากต้นมันสำปะหลังโดยใช้ยางเครพเป็นกาวประสาน สามารถผลิตเป็นแผ่นขึ้นไม้อัดจากต้นมันสำปะหลัง โดยอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ที่คุณสมบัติด้านความแข็งแรงได้ดีที่อัตราส่วนผสมของยางเครพที่ 15% สามารถใช้ทดแทนเป็นไม้อัดความหนาแน่นปานกลางที่สามารถใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง ตกแต่งภายในอาคาร และสามารถใช้เป็นแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบได้อีกทางเลือกหนึ่ง

**คำสำคัญ:** แผ่นไม้ปูพื้น ต้นมันสำปะหลัง ยางเครพ สมบัติเชิงกล

## Abstract

This research aims to study the process of producing wood planks from cassava stems without using chemicals in a binder. To study the feasibility of using crepe rubber as a binder in the wood flooring production process and to study the properties of the production of planks from cassava stem by using crepe rubber as a binder. The crepe rubber was 0, 5, 10, and 15 % by weight per cassava powder. Then extruded by hot compression method at 150 Co with compression force of 50 kg/cm<sup>2</sup> for 10 minutes. Received a rubber tile size 40x40x0.16 cm. Three repetitions of the experiment, statistical differences were analyzed using Analysis of Variance (ANOVA), and mean differences were analyzed using Duncan's New Multiple Range Test. Qualification test according to the Thai Industrial Standard (TIS. 876-2547). The research results were that wood Flooring from cassava stem using crepe rubber is a binder, it can produce plywood pieces from cassava. The ratio was suitable for use with good stiffness properties of 15%, it can be substituted for medium density plywood that can be used as a building material for interior decoration. Can be used to compress the standpoints of infantry and the building was used as an alternative.

**Keyword:** wood flooring, cassava stem, crepe rubber, mechanical properties



## บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยอีกชนิดหนึ่ง และในปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยมีส่วนแบ่งตลาดสูงถึงร้อยละ 70 ส่วนในตลาด ASEAN นั้นประเทศไทยสามารถครองอันดับ 1 ในการส่งออกมาเป็นเวลานานกว่า 10 ปี National Science and Technology Development Agency. (2020) ในปัจจุบันประเทศไทยมีการบริโภคทั้งภายในประเทศและการส่งออก มีการปลูกมันสำปะหลังโดยทั่วไปทุกภูมิภาคของประเทศอย่างแพร่หลายจากการศึกษาพบว่าประเทศไทยมีการผลิตมันสำปะหลังได้ประมาณปีละกว่า 40 ล้านตัน และในส่วนของลำต้นมันสำปะหลังเป็นส่วนหนึ่งของผลผลิตการเกษตรที่เหลือทิ้ง ซึ่งมีจำนวนมากและราคาถูกลงลดทอนของเสียจากเกษตรกรรมอุตสาหกรรม และการลดการทำลายทรัพยากรป่าไม้ในธรรมชาติ มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งที่ทำรายได้เข้าสู่ประเทศเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมนิยมนำไปใช้ในการแปรรูปมาเป็นแผ่นไม้อัดผนวกันความร้อนหรือภาชนะบรรจุอาหาร จาก

คุณสมบัติเชิงกลมีความแข็งแรงและมอดูลัสสูง ความหนาแน่นต่ำทำให้มีน้ำหนักเบา ต้านทานความร้อนซึ่งในปี 2562 คาดการณ์ว่าจะมีผลผลิตต่อเนื่องที่เก็บเกี่ยวได้ในปริมาณที่ลดลงซึ่งเป็นผลมาจากภาวะภัยแล้ง บางพื้นที่ต้องประสบปัญหาฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานาน ไม่สามารถปลูกมันสำปะหลังได้ จึงส่งผลให้พันธุ์มันสำปะหลังที่เตรียมไว้ตาย เกิดปัญหาขาดแคลนต้นพันธุ์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อตรงต่อการปลูกมันสำปะหลังและผลผลิตที่ลดลง (Office of Agricultural Economics, 2019)

จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นไม้อัดพบว่า ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตแผ่นไม้อัด เช่น ทะลายปาล์มน้ำมัน เปลือกทุเรียนเส้นใยมะพร้าว ใบตะไคร้ ใบไม้ยางพารา ผักตบชวา และเส้นใยยูคาลิปตัส เป็นต้น จากนั้นนำมาอัดร้อนโดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสาน เช่นเดียวกับ Ali, Jayaraman and Bhattacharyya (2014) ใช้เส้นใยปอแก้วผลิตเป็นแผ่นไม้อัดและใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์และกาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัว

ประสาน ส่วน Paridah, Juliana, El-Shekeil, Jawaid and Alothman (2014) ใช้เส้นใยปอแก้วและซีลีอียไม้ยางพาราผลิตเป็นแผ่นใยไม้อัด โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสาน ซึ่งยังไม่พบการนำต้นมันสำปะหลังมาผลิตเป็นแผ่นใยไม้อัดโดยใช้ยางเครพเป็นตัวประสาน ซึ่งวัสดุมีเป็นจำนวนมากในประเทศไทย (Homkraw, Bunchuaytan & Cheewuthipong, 2016).

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นจึงมีต้นมันสำปะหลังที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวโดยที่ลำต้นจะนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารสัตว์ ผู้วิจัยจึงได้แนวคิดที่จะใช้ประโยชน์จากลำต้นมันสำปะหลังนำมาผลิตเป็นวัสดุไม้ปูพื้น จึงนำลำต้นมันสำปะหลังมาพัฒนาและเข้าสู่กระบวนการผลิต และทดสอบตามสมมุติฐานที่ได้ตั้งไว้ จนออกมาเป็นชิ้นงานได้ โดยการตั้งสมมุติฐานในการศึกษาโดยการนำต้นมันสำปะหลังเป็นสมมุติฐานหลักและการนำยางเครพที่มีราคาถูกมาเป็นสมมุติฐานรอง โดยนำไปทำเป็นแผ่นไม้ปูพื้น โดยการใช้เทคโนโลยีอื่นได้แก่ เครื่องจักร เครื่องกล โดยมีตัวประสานได้แก่ ยางเครพเข้ามาช่วยเพื่อให้แผ่นไม้ปูพื้น มีความแข็งแรงทนทานโดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปพร้อมด้วยไฮดรอลิค และคุณสมบัติเชิงกลของต้นมันสำปะหลังที่มีการยึดเกาะกันได้ดี

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงกระบวนการผลิตแผ่นไม้ปูพื้นจากต้นมันสำปะหลังโดยไม่ใช้สารเคมีเป็นตัวประสาน
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการนำยางเครพมาเป็นตัวประสานในกระบวนการผลิตแผ่นไม้ปูพื้น
3. ศึกษาคุณสมบัติการผลิตแผ่นไม้ปูพื้นจากต้นมันสำปะหลังโดยใช้ยางเครพเป็นตัวประสาน

### ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

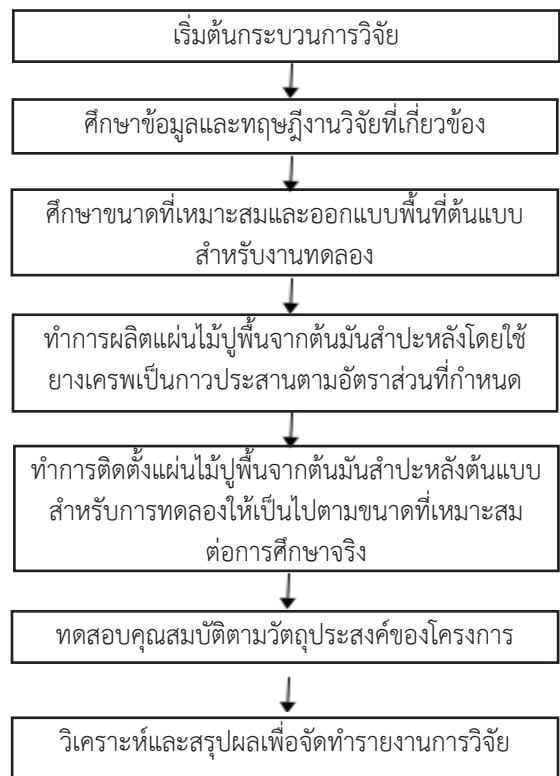
1. ขอบเขตการศึกษา โดยใช้ของเหลือจากต้นมันสำปะหลังจากภาคเกษตรกรรม
2. สถานที่ทำการวิจัย ห้องปฏิบัติการ 1 อาคารสิรินธร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์พื้นที่ศาลายา
3. เวลาที่ใช้ในการศึกษา 1 ตุลาคม 2560 ถึง 30 กันยายน 2562

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณที่ศึกษาการผลิตแผ่นไม้ปูพื้นจากต้นมันสำปะหลัง ความละเอียดต่ำกว่า 0.2 มม. โดยใช้ยางเครพเป็นกาวประสาน โดยมีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้ปูพื้น โดยมีแนวคิดของการศึกษาวิจัยจากการการตั้งสมมุติฐานของเหลือภาคเกษตรกรรมมาเป็นแนวคิดหลัก และการนำยางเครพที่มีราคาถูกมาเป็นสมมุติฐานรอง โดยการกระบวนการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการอัดร้อน ซึ่งมีข้อดี คือ เหมาะกับกระบวนการที่ศึกษาเนื่องจากวัสดุต้นมันสำปะหลังจะเข้ากันได้ดีหลักจากโดนความร้อน ซึ่งมีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

### การออกแบบสูตรแผ่นไม้อัด

การออกแบบสูตรของแผ่นไม้อัดปูพื้นจากต้นมันสำปะหลังโดยใช้ยางเครพเป็นกาวประสาน โดยเริ่มจากสูตรแผ่นไม้อัดที่ไม่ผสมยางเครพ แล้วจึงเพิ่มปริมาณยางเครพมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนด ทั้งนี้แต่ละสูตรจะขอใช้อัตราส่วนผสมเทียบจาก 100 ส่วนของต้นมันสำปะหลังโดยน้ำหนัก (Part Per Hundred Rubber--pphr, pphr) ดังตาราง 1



ภาพ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

## การเตรียมวัตถุดิบ

**การเตรียมต้นมันสำปะหลัง** ลำต้นมันสำปะหลังมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย เซลลูโลส ลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ซึ่งมีคุณสมบัติในการยึดเกาะเมื่อถูกความร้อน โดยนำต้นมันสำปะหลัง ที่มาทำการย่อยขนาดให้เล็กลง นำชิ้นมันสำปะหลังที่ย่อยขนาดแล้วมาทำการบดละเอียด ที่ความละเอียดต่ำกว่า 0.2 มม. และนำผงมันสำปะหลัง มาผึ่งแดดให้แห้ง เพื่อไล่ความชื้น และมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 65

**การเตรียมยางเครฟ** โดยนำยางก้อนถ้วย ที่ได้มาจากจังหวัดตรัง ซึ่งเป็นยางที่มีคุณภาพต่ำ สีน้ำตาลเข้ม และราคาถูก นำมาลดความชื้นในยางเครฟ โดยใช้วิธีการตัดยางเครฟเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปผึ่งลมโดยใช้พัดลมเป่าหรืออบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และนำยางไปแช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ความเข้มข้น 3% ทำให้ค่าความหนืดแข็งลดลงอย่างมาก ทดสอบคุณสมบัติ

ของยางเครฟและทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของยางเครฟเพื่อควบคุมสัดส่วนปริมาณเนื้อยางที่อยู่ในยางเครฟ

## วิธีการผลิตแผ่นไม้อัด

โดยนำซีลี้อยต้นมันสำปะหลังที่เตรียมไว้ผสมลงยางเครฟที่แช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ในเครื่องผสมกาวตามอัตราส่วนที่กำหนด (ดังภาพ 3) แล้วนำมาทำเป็นแผ่นในกล่องเหล็กที่มีขนาด 40x40 เซนติเมตร นำแผ่นที่ได้ทำการอัดร้อนด้วย อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ด้วยแรงอัด 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ระยะเวลา 10 นาที เพื่อให้ได้แผ่นขึ้นไม้อัดที่มีความหนาแน่น 0.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความหนา 16 มิลลิเมตร จากนั้นทำการปรับสภาวะแผ่นขึ้นไม้อัด โดยการผึ่งในห้องที่มีอุณหภูมิ  $20 \pm 2$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ  $65 \pm 3$  ดังภาพ 3-4

## ตาราง 1

สูตรแผ่นไม้อัดปูพื้น เทียบจาก 100 ส่วนของต้นมันสำปะหลังโดยน้ำหนัก (Part Per Hundred Rubber: phr, pphr)

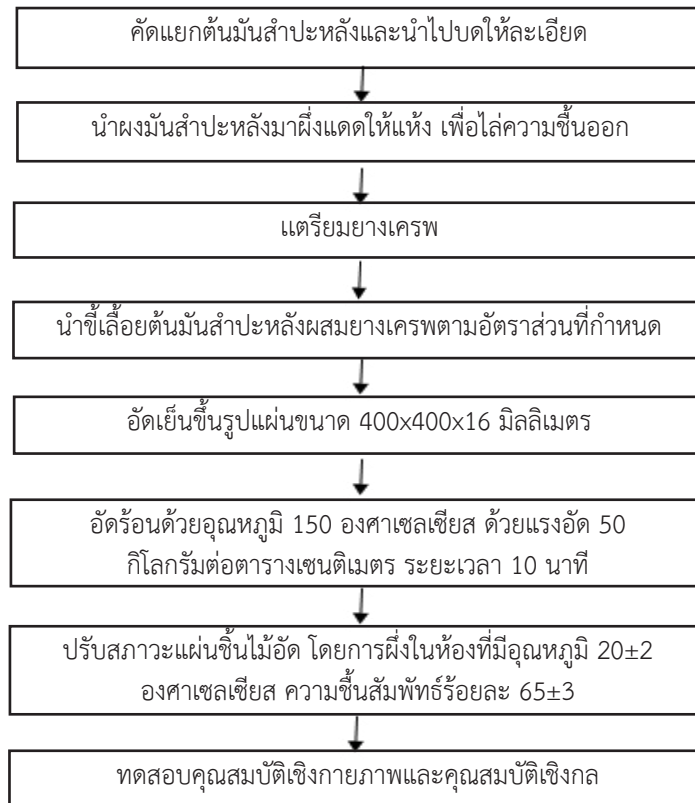
สูตร (ตามสมมุติฐานที่ได้ตั้งไว้)	ยางเครฟ (ซียาง)	ผงต้นมันสำปะหลัง
A-0	0	100
A-5	5	100
A-10	10	100
A-15	15	100



ภาพ 2 แสดงต้นมันสำปะหลังบดละเอียด



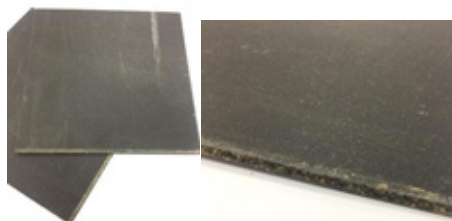
ภาพ 3 แสดงลักษณะยางก้อนถ้วยที่แช่ในสารละลาย ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )



ภาพ 4 ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นไม้อัดปูพื้น



ภาพ 5 แสดงการผสมยางเครพที่แช่ในสารละลาย  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  กับผงต้นมันสำปะหลังที่อัตราส่วนร้อยละ 15



ภาพ 6 แสดงชิ้นงานที่จากการทดลองเพื่อผลิตแผ่นไม้อัดที่อัตราส่วนร้อยละ 15

## การทดสอบคุณสมบัติ

การวิเคราะห์ข้อมูล ทำการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัด ทั้งคุณสมบัติเชิงกายภาพ ได้แก่ (1) ความชื้น (moisture content) มาตรฐานอุตสาหกรรมการทดสอบแผ่นไม้อัดชนิดอัดราบ (มอก. 876-2547) (2) ความหนาแน่น (density) (มอก. 876-2547) คุณสมบัติเชิงกล (มอก. 876-2547) ได้แก่ (1) การพองตัวทางด้านความหนา (thickness swelling) (2) โมดูลัสแตกร้าว (Modulus of rupture) (3) โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) (4) ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (internal bonding) (Thai Industrial Standard. TIS. 876-2547, 2004) และวิเคราะห์ข้อมูลค่าความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) ตลอดจนวิเคราะห์ ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test

## ผลการวิจัย

ผลการศึกษาระบบการผลิตแผ่นไม้ปูพื้นจากต้นมันสำปะหลังโดยไม่ใช้สารเคมีเป็นตัวประสาน จากการศึกษา พบว่า คุณสมบัติของยางเครพมีความเป็นกาวธรรมชาติทำให้ไม่ต้องใช้สารเคมีในการผสมเข้าไปในกระบวนการผลิต จึงนับว่ามีความเป็นไปได้ในการนำยางเครพมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ในภาคอุตสาหกรรม เป็นไปตามเกณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 876-2547

**การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ** การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าคุณสมบัติเชิงกายภาพ ของแผ่นไม้ปูพื้นนำมาทดสอบค่าความหนาแน่น (density) ปริมาณความชื้น (moisture content) การดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง (water absorption) การพองตัวตามความหนาที่ 24 ชั่วโมง (thickness swelling) ความต้านทานแรงดึงและโมดูลัสยืดหยุ่น การทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 876-2547 แผ่นไม้อัดชนิดอัดราบ

**การทดสอบค่าความหนาแน่น** การทดสอบค่าความหนาแน่นมีค่าลดลงเมื่อทำการลดอัตราส่วนผสมของยางเครพ แผ่นขึ้นไม้อัดที่มีอัตราส่วนต่อวัสดุประสานเท่ากับในปริมาณร้อยละ 0 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักต่อผงต้นมันสำปะหลัง ตามภาพ 7 พบว่า ความหนาแน่น มีค่าลดลงเมื่อทำการลดอัตราส่วนของวัสดุประสานค่าความหนาแน่น

อยู่ในช่วง 615.32-882.14 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งมาตรฐานกำหนดไว้ที่ความหนาแน่นระหว่าง 400-900 mg/m<sup>3</sup> ซึ่งผลการทดลองเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด โดยปริมาณยางเครพทุกอัตราส่วนส่งผลต่อความหนาแน่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการทดสอบค่าความชื้น ค่าความชื้นของแผ่นไม้ปูพื้นเกิดจากสองปัจจัย คือ ค่าความชื้นของต้นมันสำปะหลังก่อนขึ้นรูปแผ่นไม้ปูพื้น และดูดกลับของเศษไม้หลังการขึ้นรูป โดยได้ผลการทดสอบ จากภาพ 8 พบว่า ความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 4.85 ถึง 11.76 โดยค่าความชื้น จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มยางเครพ อย่างไรก็ตามค่ามาตรฐาน มอก.876-2547 ได้กำหนดไว้ว่า ให้ค่าความชื้นของแผ่นไม้ปูพื้น ต้องมีค่าความชื้นอยู่ระหว่างช่วงร้อยละ 4-13 % ซึ่งในทุกอัตราส่วน จะมีค่าปริมาณความชื้นตามมาตรฐานที่กำหนด โดยปริมาณยางเครพทุกอัตราส่วนส่งผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง** การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 ซึ่งกำหนดไว้ว่า จะต้องมีการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง จากการทดลอง จากภาพ 9 พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำตามมาตรฐานจะมีอัตราการดูดซึมน้ำที่สูงขึ้น เมื่อทำการลดอัตราส่วนวัสดุประสานลง พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มที่ลดลงตามมาตรฐานเมื่อเพิ่มปริมาณอัตราส่วนวัสดุประสาน พบว่า แผ่นไม้ปูพื้น ที่ในปริมาณร้อยละ 0 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักต่อผงต้นมันสำปะหลัง มีค่าการดูดซึมน้ำที่เกินมาตรฐานกำหนด คือ ค่าการดูดซึมน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 80 ขึ้นอยู่กับปริมาณของวัสดุประสานที่ผสมจะมีปริมาณที่น้อย ทำให้วัตถุเกิดพันธะทางเคมีกับน้ำแทน และยังมีสาเหตุอื่นอีก เช่น การดูดซึมน้ำ และการขึ้นรูปของเนื้อไม้สามารถดูดซึมน้ำได้ดีกว่าวัสดุทั่วไป แต่มีการขยายตัวที่ต่ำกว่าวัสดุอื่นโดยการศึกษาไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

**ผลการทดสอบค่าการขยายตัวตามความหนาที่ 24 ชั่วโมง** การทดสอบการขยายตัวและความหนา โดยการนำไปแช่น้ำที่ 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน มอก.876-2547 กำหนดไว้ต้องไม่เกิน 12% ซึ่งในทุกอัตราส่วน มีค่าการดูดซึมน้ำที่เกินมาตรฐาน และมีค่าที่สูงขึ้นเมื่อทำการลดปริมาณของอัตราส่วนผสมของยางเครพลงเมื่อทำการทดสอบ

ค่าการขยายตัว จากภาพ 10 พบว่า ค่าของการขยายตัวของแผ่นไม้ จะมีค่าที่ลดลงตามปริมาณของวัสดุประสานพบว่า ในอัตราส่วนที่ 5% 10% และ 15% มีค่าการดูดซึมน้ำสูงเกินกว่าที่ มาตรฐาน มอก. กำหนดไว้ และการขยายตัวของแผ่นไม้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของวัสดุประสานที่น้อยเกินไป จะไม่พอต่อการปกปิดหรือเติมเต็มช่องว่าง

**ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล** การทดสอบคุณสมบัติทางกล (mechanical properties) ประกอบด้วย ค่าความต้านทานมอดูลัสและค่าความแตกร้าว และมอดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of rupture and elasticity) ค่าความแข็งแรงของการกระแทก (impact strength) ตามมาตรฐาน มอก. 876-2547

**การทดสอบค่าความต้านทานแรงดัด** จากภาพ 11 พบว่า ค่ามอดูลัสแตกร้าวของแผ่นไม้อัดที่ร้อยละ 15 ของแผ่นไม้ปูพื้นจากต้นมันสำปะหลังมีค่ามอดูลัสไม่น้อยกว่า 15 MPa ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนด ยกเว้นแผ่นไม้ปูพื้นที่มีอัตราส่วนประสานเท่ากับร้อยละ 5 และ 10 มีค่ามอดูลัสแตกร้าวต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของสารยึดติดน้อย ประสิทธิภาพการเชื่อมยึดเกาะลดลงตามปริมาณของวัสดุประสาน โดยปริมาณยางเครพที่ปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

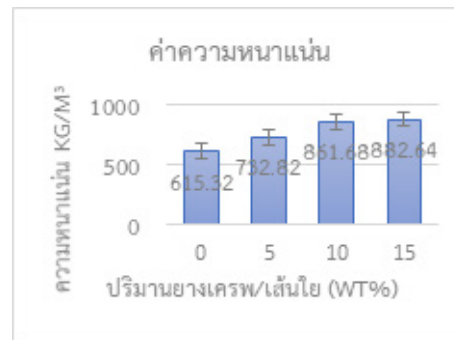
**ผลการทดสอบค่าความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่น** จากภาพ 12 พบว่า ค่าความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปูพื้นทุกอัตราส่วนมีค่าความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่นไม่น้อยกว่า 1950 MPa ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม กำหนด ค่าความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่นจะมี ค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของวัสดุประสานเพิ่มขึ้นนั้นแสดงว่า ค่าความยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปูพื้นจากมันสำปะหลัง จะมีค่าลดลงซึ่งจะตรงข้ามกับค่ามอดูลัสแตกร้าว แต่อย่างไรก็ตามค่าจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณยางเครพที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณยางเครพที่ทุกอัตราส่วน ส่งผลต่อค่าความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง** จากภาพ 13 พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงจะมีค่าที่สูง เมื่อทำการผสมวัสดุประสาน (ยางเครพ) เมื่อมีปริมาณของวัสดุผสมลดลง ก็จะมีแนวโน้มลดลงด้วย แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของยางเครพที่เพิ่มขึ้นในการผสม จะส่งผลต่อค่า

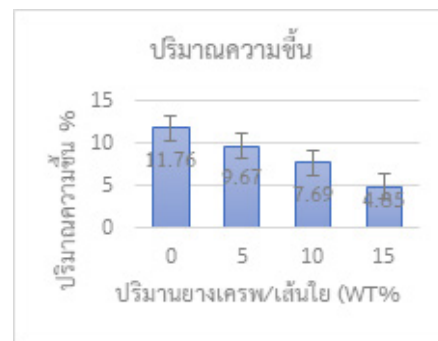
ความต้านทานแรงดึงของแผ่นไม้ปูพื้น ตามที่มาตรฐานกำหนด โดยปริมาณยางเครพที่ปริมาณร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึง แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**ค่าการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงผิวหน้า** จากภาพ 14 พบว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงผิวหน้า กับปริมาณยางเครพ จะมีค่าความต้านทานแรงดึงผิวหน้าไม่เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด เนื่องจากคุณสมบัติของยางเครพที่มีความยืดหยุ่นทำให้เกิดการอ่อนตัวและฉีกขาดได้ง่าย

**ค่าการทดสอบคุณสมบัติของยางเครพ** ยางเครพที่ได้จากการศึกษา พบว่า การที่นำยางเครพไปแช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) โดยใช้ความเข้มข้น 3% จะช่วยให้ยางเครพ (ยางก้อนถ้วย) มีความอ่อนตัวลงทำให้ค่าความหนืดของยางเครพลดลงอย่างมาก ทำให้เหมาะที่จะนำไปผสมกับผงต้นมันสำปะหลังตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้



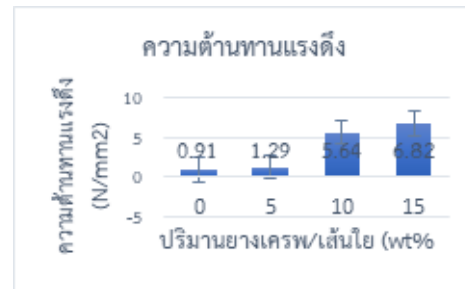
ภาพ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น กับปริมาณยางเครพ



ภาพ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้น กับปริมาณยางเครพ



ภาพ 9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำกับปริมาณยางเครฟ



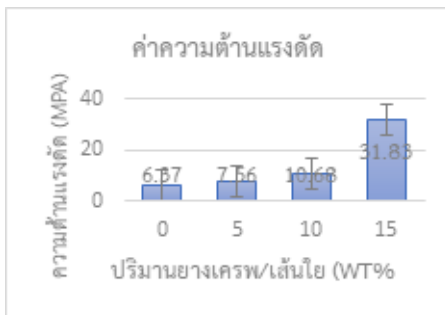
ภาพ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงกับปริมาณยางเครฟ



ภาพ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการขยายตัวตามความหนากับปริมาณยางเครฟ



ภาพ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงผิวหน้ากับยางเครฟ



ภาพ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดัดกับปริมาณยางเครฟ



ภาพ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่นกับยางเครฟ

### สรุปผลและการอภิปรายผล

จากการศึกษาทางวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นไม้ปูพื้นจากต้นมันสำปะหลังโดยใช้ยางเครฟเป็นกาวประสาน สามารถสรุป อภิปรายผล การวิจัยการศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกล มีดังนี้

การศึกษาด้านกระบวนการผลิต การผลิตแผ่นไม้ปูพื้นจากต้นมันสำปะหลังโดยใช้ยางเครฟเป็นกาวประสาน ด้วยคุณสมบัติของต้นมันสำปะหลังที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลส ลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ซึ่งมีคุณสมบัติในการยึดเกาะเมื่อถูกความร้อน ประกอบกับคุณสมบัติของยางเครฟที่มีความเหนียว หนืด และเป็นลักษณะของกาว ซึ่งยางเครฟมีพันธะทางเคมี ยางธรรมชาติมีลักษณะการเกาะเกี่ยว หักงอ ความยืดหยุ่นได้ดี สามารถใช้งานได้ดีในลักษณะอุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำ สำหรับด้านความสม่ำเสมอในโครงสร้างทางเคมีทำให้ยางสามารถดกผลึกได้เมื่อมีการยืดออก การดกผลึกทำให้ยางเครฟมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี มีความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงฉีกขาดได้ดี หลังจากการศึกษาทดลองพบว่า ความเป็นไปได้ในกระบวนการผลิตที่อัตราส่วนร้อยละ 15 จะมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้เกือบทุกอัตราส่วน ดังตาราง 2



## ตาราง 2

แสดงเกณฑ์มาตรฐานการผลิตและผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

คุณสมบัติ	เกณฑ์มาตรฐาน	ปริมาณยางเครพ/เส้นใย (wt%)				p-value
		0	5	10	15	
ค่าความหนาแน่น	400-900 mg/m <sup>3</sup>	615.32 <sup>a</sup>	732.82 <sup>b</sup>	861.68 <sup>c</sup>	882.64 <sup>c</sup>	.035*
ปริมาณความชื้น	4-13 %	11.76 <sup>a</sup>	9.67 <sup>b</sup>	7.69 <sup>c</sup>	4.85 <sup>d</sup>	.046*
การดูดซึมน้ำ	ไม่เกินร้อยละ 80	133.67	125.73	103.89	89.14	.225
ค่าการขยายตามความหนา	ไม่เกิน 12 %	142.36	138.29	110.22	97.51	.214
ค่าความต้านแรงดัด	ไม่น้อยกว่า 15 Mpa	6.37	7.56	10.68	31.83 <sup>a</sup>	.039*
ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น	ไม่น้อยกว่า 1950 Mpa	2510.89 <sup>a</sup>	3213.53 <sup>b</sup>	5532.61 <sup>c</sup>	2987.57 <sup>d</sup>	.019*
ความต้านทานแรงดึง	ไม่น้อยกว่า 0.45 MPa	0.91	1.29	5.64 <sup>a</sup>	6.82 <sup>b</sup>	.028*
ความต้านทานแรงดึงผิวหน้า	ไม่น้อยกว่า 0.8 MPa	0.11	0.17	0.38	0.46	.741

หมายเหตุ: ผลกระทบของปริมาณยางเครพ/และปริมาณเส้นใยมันสำปะหลัง (wt%) มีนัยสำคัญเมื่อ  $P < .05$  และในแต่ละสมบัติหากมีตัวอักษรเหมือนกันหมายถึง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $\alpha = .05$ ) (ตัวอักษร <sup>a-d</sup> สำหรับผลกระทบของปริมาณยางเครพและปริมาณเส้นใยมันสำปะหลัง ตามลำดับ

การศึกษาด้านความเป็นไปได้พบว่า การผลิตแผ่นไม้ปูพื้นจากต้นมันสำปะหลังโดยใช้งานเครพเป็นกาบประสาน ในระบบอุตสาหกรรมนั้นมีความเป็นไปได้อย่างมาก เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้มีราคาถูกและหาได้ง่ายทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำประกอบกับปัจจุบันมีการพัฒนาวัสดุทดแทนเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การดูดซึมน้ำ และการพองตัวทางความหนา ปริมาณยางเครพที่ใช้ในปริมาณร้อยละ 0 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักต่อผงต้นมันสำปะหลัง พบว่า ค่าความหนาแน่นมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 615.32-882.64 kg/m<sup>3</sup> ค่าปริมาณความชื้น อยู่ระหว่าง 4.85-11.76% ค่าการดูดซึมน้ำ อยู่ระหว่าง 189.14-133.67% และค่าการพองตัวอยู่ระหว่าง 97.51-142.36% ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jangchad, Unhachok, Sarathamlee and Unchittichai, (2002); Prungsuk, Songklod and Veenin, (2019) พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำเมื่อใส่สารช่วยผสม สามารถใช้ทดแทนแผ่นขึ้นไม้ได้ การดูดซึมน้ำ การพองตัว และกลื่นวัสดุที่ใช้ในการเรียงตัวของเส้นใยที่ดี จะส่งผลให้การสัมผัสของเส้นใยทำให้เกิด

การรวมตัวกันของเนื้อไม้ เนื้อไม้โดยทั่วไปจะมีความหนาแน่นต่ำกว่า จะถูกบีบอัดได้ดีกว่าเนื้อไม้ที่มีความหนาแน่นสูงกว่า หากต้องการให้แผ่นไม้อัดมีความแข็งแรง โดยต้องทำการผสมวัสดุให้เข้ากันดี ต้นมันสำปะหลังจะบีบอัดเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี เนื่องจากเนื้อไม้มีความหนาแน่นสูงทำให้ชิ้นส่วนเนื้อไม้ภายในที่ได้รับการบีบอัดสัมผัสกันได้ดี

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกล การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล พบว่า ความสัมพันธ์ของค่าการต้านทานมอดูลัส การแตกร้า และค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น และค่าความแข็งแรงที่กระทำต่อแผ่นไม้ ปริมาณยางเครพ ในปริมาณร้อยละ 0 5 10 และ 15 โดยน้ำหนักต่อผงต้นมันสำปะหลัง จากการทดลองพบว่า ค่าความต้านทานมอดูลัสแตกร้า มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.37-31.83 MPa และค่ามอดูลัสยืดหยุ่น มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2,510.89-2,987.57 MPa ค่าต้านแรงดึง มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.91-6.82 N/mm<sup>2</sup> ค่าต้านแรงดึงผิวหน้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.11-0.46 MPa ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pholsuwan, Khamput and Phuengphaingarm (2005)

Khamput and Phuengphaingarm (2005) พบว่า ค่าของการทนแรงดึงยึด ค่าของการทนแรงกระแทก

และค่าการต้านทานการโก่งงอ จะลดต่ำลงเมื่อปริมาณซีลี้อยเพิ่มมากขึ้น และที่อัตราส่วนผสมเดียวกันเมื่อปริมาณของไซเลนเพิ่มขึ้นค่าของการทนแรงกระแทก และค่าการต้านทานการโก่งงอจะสูงขึ้น Desthalumpoo and Wannaharnon (2020) พบว่า ค่าของการทนแรงดึงยึดของการทนแรงกระแทก จะลดต่ำลงเมื่อปริมาณซีลี้อยเพิ่มมากขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wattanakitpaiboon and Songthusrisakul (2005) พบว่าการนำเส้นใยกาบมะพร้าวมาใช้ทำเป็นวัสดุเสริมแรงในโพลีเอสเตอร์เรซินจะมีลักษณะการแตกหักเป็นแบบเปราะ การฉีกขาดจะมีเส้นใยกาบมะพร้าวที่ทำหน้าที่ช่วยในการยึดเกาะได้ จากการเปรียบเทียบอัตราส่วนของยางเครพของแผ่นไม้อัด ที่เปลี่ยนแปลงจะส่งผลทำให้ยางเครพเกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุลระหว่างชั้นเส้นใยอย่างมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ยังทำให้แผ่นเกิดความต้านทานสมบัติเชิงกลได้ดีด้วยลักษณะของชั้นเส้นใยที่ยาว สั้น และสัดส่วนความเปรี้ยวของเส้นใย จะให้ความแข็งแรงต้านทานแรงดัดของแผ่นที่สูง เนื่องจากเส้นใยน้อยกว่าทำให้แผ่นมีช่องว่างน้อยลง จึงสามารถกระจายความเค้นที่เกิดจากการดัดได้สม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งแผ่น Yotinwattanagumtorn (2004) แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยธรรมชาติลงในวัสดุพอลิพรอพิลีนส่งผลให้ความแข็งแรงและความเหนียวของพอลิพรอพิลีนซึ่งเป็นเมตริกซ์ลดลง การเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทกสามารถปรับปรุงความเหนียวของวัสดุคอมโพสิตได้ ในอัตราส่วนของเส้นใยธรรมชาติ 10-30% โดยน้ำหนัก จากการทดสอบสมบัติของวัสดุคอมโพสิต การใช้ซีลี้อยมีความเหมาะสม เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่น แต่การเพิ่มปริมาณซีลี้อยมีผลให้สมบัติความต้านทานแรงกระแทกและความแข็งแรงของวัสดุ คอมโพสิตมีแนวโน้มลดลง จึงใช้สารปรับปรุงความทนทานต่อแรงกระแทก และใช้สารคู่ควบปรับปรุงสมบัติของวัสดุคอมโพสิต ซึ่ง Klinphikul (2014) พบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่ 20% 30% และ 40% เป็นอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติเหมาะสมอยู่ในช่วงเกณฑ์ที่กำหนด สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์และการตกแต่งภายใน และ Yingprasert and Suhansa (2020) พบว่า ใช้เส้นใยกาบมะพร้าวเป็นวัสดุเสริมแรงในโพลีเอสเตอร์เรซิน จะมีการแตกหักเป็นแบบเปราะ จากการเปรียบเทียบกับยางเครพ ค่าการดูดซับน้ำ หรือการแพร่

กระจายของการยึดเกาะเชิงเคมี กันวัสดุประสาน หรือแรงดึงดูดจัดเป็นสารประกอบที่มีขั้วทั้งคู่ ทำให้วัสดุทั้งสองชนิดข้างต้น เกิดแรงดึงดูด แบบแวนเดอร์วาลส์ และในการที่ต้นมันสำปะหลังนั้นมีฤทธิ์เป็นกรด เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการอัดรีด คุณสมบัติความเป็นกรดของต้นมันสำปะหลัง ส่งผลกระทบต่ออย่างมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sukeetham, Jarusombat and Veenin (2019) แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยธรรมชาติลงในวัสดุพอลิพรอพิลีนส่งผลให้ความแข็งแรงลดลง การเพิ่มปริมาณสารทนทานต่อแรงกระแทกในอัตราส่วน 10-30% จากการทดสอบ การใช้ซีลี้อยมีความเหมาะสม เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับเส้นใยธรรมชาติ แต่การเพิ่มปริมาณซีลี้อยมีผลให้สมบัติความต้านทานแรงกระแทกและความแข็งแรงของวัสดุ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khempila, Namprai and Kaewsai (2019) พบว่า อัตราส่วน 20% 30% และ 40% เป็นอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติเหมาะสมอยู่ในช่วงเกณฑ์ที่กำหนด สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์

จากงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่าจากการศึกษาแผ่นไม้ปูพื้นจากต้นมันสำปะหลังโดยใช้ยางเครพเป็นกาวประสาน สามารถผลิตเป็นแผ่นขึ้นไม้อัดจากต้นมันสำปะหลัง โดยการนำไปใช้ที่คุณสมบัติด้านความแข็งแรงได้ดีที่อัตราส่วนผสมของยางเครพที่ 15% โดยสามารถใช้ทดแทนเป็นไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง ความสามารถที่จะนำมาเป็นวัสดุตกแต่งอาคาร ซึ่งจากการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นไม้อัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 876-2547 ได้อย่างดี

ซึ่งจากการทดสอบการผลิตแผ่นไม้ปูพื้นจากต้นมันสำปะหลังโดยใช้ยางเครพเป็นกาวประสาน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์และการตกแต่งภายใน และ Yingprasert and Suhansa (2020) พบว่า ใช้เส้นใยกาบมะพร้าวเป็นวัสดุเสริมแรงในโพลีเอสเตอร์เรซิน จะมีการแตกหักเป็นแบบเปราะ จากการเปรียบเทียบกับยางเครพ ค่าการดูดซับน้ำ หรือการแพร่

## ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาแผ่นไม้ปูพื้นจากต้นมันสำปะหลังโดยใช้ยางเครพเป็นกาวประสาน มีข้อเสนอแนะโดยแผ่นไม้ที่ได้จากการทดลอง สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ หรือวัสดุตกแต่งภายในอาคารต่าง ๆ

2. นอกจากนี้ควรศึกษาด้านการใช้สารยึดเกาะชนิดอื่น ๆ นำมาเปรียบเทียบกับเนื่องจากยางเครพที่นำมาเป็นวัสดุประสาน มีความเหนียวและยืดหยุ่นติดกับเครื่องอัดรีดร้อน ทำให้การนำออกมาจากเครื่องอัดรีดร้อน จะมีปัญหาบ้าง และการศึกษาด้านการใช้อุณหภูมิ เวลาที่มีผลโดยตรงต่อสมบัติด้านต่าง ๆ

3. สำหรับในอัตราส่วนผสมที่มากกว่า 15% นั้น ผู้วิจัยยังไม่ได้ทำการศึกษา ซึ่งอาจมีความเป็นไปได้ว่า

หากมีการทดลอง ในอัตราส่วนผสมที่มากขึ้นและอาจมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่สนับสนุนทุนสำหรับการวิจัยในครั้งนี้



### References

- Ali, I., Jayaraman, K., & Bhattacharyya, D. (2014). Effects of resin and moisture content on the properties of medium density fibreboards made from kenaf bast fibres. *Industrial Crops and Products*, 52, 191-198. doi:10.1016/j.indcrop.2013.10.013
- Desthalumpoo, T., & Wannaharnon, A. (2020). Appropriate ratio for using water hyacinth fibers for making cement fiberboard. *Princess of Naradhiwas University Journal*, 12(3), 262–276. (in Thai)
- Homkraw, C., Bunchuaytan, W., & Cheewuthipong, W. (2016). Effect of palmyra fruit fiber and tapioca starch contents on properties of non-toxic fiberboard. *Ladkrabang Engineering Journal*, 33(3), 39-46. (in Thai)
- Jangchad, I., Unhachok, T., Sarathamlee, P., & Unchittichai, W. (2002). Study of wood-polymer composite from hyacinth fibers and low-density polyethylene using polyethylene-graft-maliic anhydride for mixed. *Annual Forestry Conference 2002* (p. 108). Bangkok: Department of Forestry. (in Thai)
- Khempila, J., Namprai, C., & Kaewsai, A. (2019). Production of particleboard from lemongrass Leaves and rice straws. *Pathumwan Academic Journal*, 9(24), 1–15. (in Thai)
- Klinphikul, N. (2014). *A study of fiberboard sheets made of sawdust with the use of lac as adhesive* (Research report). Bangkok: Rajamangala University of Technology Krungthep. (in Thai)
- National Science and Technology Development Agency. (2020). *Tapioca industry*. Retrieved from <http://www.nstda.or.th/industry/industry-casava>. (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. (2019). *Agricultural economic conditions in 2019*. Retrieved from <http://www.oae.go.th/view/1/TH-TH>. (in Thai)
- Paridah, M. T., Juliana, A. H., El-Shekeil, Y. A., Jawaid, M., & Alothman, O. Y. (2014). Measurement of mechanical and physical properties of particleboard by hybridization of kenaf with rubberwood particles. *Measurement*, 56, 70-80. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.06.019>.

- Pholsuwan, A., Khamput, P., & Phuengphaingarm, B. (2005). Study of the properties of activated high density polyethylene with sawdust, rubber wood. *The 10th national Convention on Civil Engineering. May 2-4, 2005 Ambassador City Hotel, Jomtien, Pattaya* (pp. 39-43). Chonburi: MAT39-MAT43. (in Thai)
- Prungsuk, S., Jarusombat, S., & Veenin, T. (2019). Effect of added boron compounds on physical, mechanical and fire retardant properties in particleboard. *Thai Journal of Forestry*, 38(1), 156-167. (in Thai)
- Sukeetham, S., Jarusombat, S., & Veenin, T. (2019). Particleboard products from bamboo wastes of chopstick factory. *Thai Journal of Forestry*, 38(2), 192-201. (in Thai)
- Thai Industrial Standard.TIS.876-2547. (2004, 5, August). *Flat pressed particleboards. Ministry of Industry.* Volume 121, Part 63, pp. 1-22. <http://research.rid.go.th/vijais/moa/fulltext/TIS876-2547.pdf>. (in Thai)
- Wattanakitpaiboon, S., & Songthusrisakul, J. (2005). Study on the use of coconut clap fibers as reinforcement. *Engineering Today*, 3(34), 128-131. (in Thai)
- Yotinwattanagumtorn, C. (2004). *An investigation in to processability and properties of polypropylene/ Wood Sawdust Composite* (Master's thesis). Mongkut's University of Technology Thonburi. Bangkok. (in Thai)
- Yingprasert, W., & Suhansa, R. (2020). Properties of plywood produced with rubberwood veneer and Urea-formaldehyde Adhesive Added Borax. *Thai Journal of Forestry (TJF)*, 39(1), 191-202. (in Thai)

