

ผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาลโตนดและแป้งมันสำปะหลัง ต่อสมบัติของแผ่นใยไม้อัดปลอดสารพิษ

Effect of Palmyra Fruit Fiber and Tapioca Starch Contents on Properties of Non-Toxic Fiberboard

ชาตรี หอมเขียว^{1*} วรพงศ์ บุญช่วยแทน¹ วรรัตนพร ชีววุฒิมิพงส์¹

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

¹หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุ (Materials Processing Technology Research Unit)

* Corresponding Author, E-mail: chatree.h@rmutsv.ac.th

บทคัดย่อ

การผลิตแผ่นใยไม้อัดโดยใช้เส้นใยผลตาลโตนดเป็นตัวเสริมแรงและแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานเป็นนวัตกรรมของการผลิตแผ่นใยไม้อัด ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาลโตนดและปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัด ในการขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัดเป็นชิ้นงานตัวอย่างกระทำโดยใช้เครื่องอัดร้อนด้วยอุณหภูมิ 190 °C แรงดันอัด 13.8 MPa เป็นระยะเวลา 30 นาที ซึ่งจากการทดลองพบว่า การเติมเส้นใยผลตาลโตนดเป็นส่วนผสม 7 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ค่าความแข็งแรงดัด และค่ามอดูลัสการดัดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แต่การเติมเส้นใยผลตาลโตนดเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำลดลงอย่างช้าๆ นอกจากนี้การเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าและเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำลดลง อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงดัดและค่ามอดูลัสการดัดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณของแป้งมันสำปะหลังที่เติมเป็นส่วนผสม

คำสำคัญ : แผ่นใยไม้อัด ใยกล้วยไม้ยางพารา เส้นใยผลตาลโตนด แป้งมันสำปะหลัง การอัดร้อน

Abstract

Production of fiberboard using palmyra fruit fiber as reinforcement and tapioca starch as binder is an innovation of this product. Therefore, the objective of this research was to study the effect of palmyra fruit fiber and tapioca starch contents on mechanical and physical properties of fiberboard. The materials were manufactured into sample fiberboards using a hot compression machine with temperature 190 °C, pressure 13.8 MPa and time 30 min. According to the results, addition of palmyra fruit fiber 7% resulted in internal bond strength, modulus of rupture and modulus of elasticity increased clearly. However, the increasing additions of palmyra fruit fiber reduced water absorption slowly. Furthermore, an increase of tapioca starch contents in fiberboard resulted in internal bond strength and water absorption decreased; however, modulus of rupture and modulus of elasticity significantly increased with tapioca starch contents.

Keywords : fiberboard, rubberwood sawdust, palmyra fruit fiber, tapioca starch, hot compression.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้นำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ทรัพยากรป่าไม้ของประเทศไทยในช่วง 2-3 ทศวรรษที่ผ่านมา มีปริมาณลดลงเป็นอย่างมาก ทำให้รัฐบาลได้ประกาศยกเลิกสัมปทานการทำไม้เมื่อปี พ.ศ. 2532 และมีการแก้ปัญหาโดยการนำเข้ามาจากต่างประเทศ เพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมไม้และแผ่นไม้ประกอบ [1] อย่างไรก็ตามเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนไม้อย่างยั่งยืน การวิจัยเกี่ยวกับวัสดุทดแทนไม้ธรรมชาติจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่นักวิจัยให้ความสนใจกันอย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่าง การนำไม้หรือพืชโตเร็ว และวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรมาผลิตเป็นแผ่นปาร์ติเกิล (Particleboard) แผ่นใยไม้อัด ความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Fiberboard; MDF) และแผ่นไม้อัด (Plywood) เป็นต้น โดยนำวัสดุเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ในงานเฟอร์นิเจอร์ งานตกแต่ง และงานก่อสร้าง เป็นต้น [1]

เช่นเดียวกันในการผลิตวัสดุทดแทนไม้ธรรมชาติสามารถผลิตได้โดยการนำเอาวัสดุไม้หรือพืชโตเร็วมาย่อยให้เป็นเส้นใยแล้วนำมาผสมกับสารยึดติดหรือกาว จากนั้นนำมาอัดรวมกันให้เป็นแผ่นโดยใช้ความร้อนและแรงดันอัดที่สูง เพื่อให้ได้แผ่นใยไม้อัดที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น อย่างไรก็ตามแผ่นใยไม้อัดเหล่านี้มักใช้กาวที่มีส่วนผสมของสารฟอร์มาลดีไฮด์เป็นตัวประสานระหว่างอนุภาคของเส้นใยไม้หรือชีเลื่อยไม้ ซึ่งทราบกันดีว่าสารฟอร์มาลดีไฮด์ คือ สารที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมและสุขภาพของคน [2] หรือกล่าวได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นแนวโน้มของการวิจัย การผลิต และการตลาดในอนาคตจะเป็นการผลิตแผ่นใยไม้อัดที่ปราศจากสารฟอร์มาลดีไฮด์ [3] หรือแผ่นใยไม้อัดที่ปลอดสารพิษ

จากการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแผ่นใยไม้อัดพบว่า ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตแผ่นใยไม้อัด เช่น ทะลายปาล์ม น้ำมัน เปลือกทุเรียน เส้นใยมะพร้าว ต้นข้าวโพด แกลบ และเส้นใยยูคาลิปตัส เป็นต้น จากนั้นนำมาอัดร้อนโดยใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เป็นตัวประสาน เช่นเดียวกัน Ali และคณะ [4] ใช้เส้นใยปอแก้วผลิตเป็นแผ่นใยไม้อัดและใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์

และกาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์เป็นตัวประสาน Paridah และคณะ [5] ใช้เส้นใยปอแก้วและชีเลื่อยไม้ยางพาราผลิตเป็นแผ่นใยไม้อัด และใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์เป็นตัวประสาน ซึ่งยังไม่พบการนำชีเลื่อยไม้ยางพาราและเส้นใยผลตาล โคนดมาผลิตเป็นแผ่นใยไม้อัด โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน ซึ่งวัสดุเหล่านี้เป็นวัสดุที่ปลอดสารพิษและมีเป็นจำนวนมากในประเทศไทย

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นผู้วิจัยพบว่า ต้นตาลมีคุณสมบัติและประโยชน์ที่ดีหลายประการ แต่ยังมีปัญหาจากเศษเหลือทิ้งจำนวนมากในธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากชาวบ้านนำผลตาลโคนดไปใช้ประโยชน์เพื่อทำขนมตาล แล้วทิ้งส่วนของผลตาลโคนดเป็นจำนวนมาก โดยไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์และปล่อยให้เปื่อยผุไปเองตามธรรมชาติ จากสภาพปัจจุบันผู้วิจัยได้สังเกตเห็นว่าส่วนของเส้นใยจากผลตาลโคนดที่เหลือทิ้งสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับผลิตแผ่นใยไม้อัดได้ เนื่องจากเส้นใยผลตาลโคนดเป็นวัสดุที่มีความเหนียว แข็งแรง และมีเซลลูโลสในปริมาณที่สูง ด้วยเหตุนี้การผลิตแผ่นใยไม้อัดโดยใช้เส้นใยผลตาลโคนดเป็นตัวเสริมแรง และใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานจึงเป็นนวัตกรรมใหม่ของการผลิตแผ่นใยไม้อัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาลโคนด ปริมาณชีเลื่อยไม้ยางพารา และปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัดปลอดสารพิษ ซึ่งผลจากการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในทางวิชาการสำหรับผู้ที่สนใจนำเส้นใยผลตาลโคนดไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ

เส้นใยผลตาลโคนด จัดหามาจากพื้นที่ใน อ.สทิงพระ จ.สงขลา แต่ก่อนนำไปใช้งานเส้นใยถูกย่อยลดขนาดให้มีขนาดสั้นกว่า 1 ซม. ชีเลื่อยไม้ยางพารา ได้รับมาจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราในจังหวัดสงขลา เช่นเดียวกันก่อนนำไปใช้งานชีเลื่อยถูกแยกขนาดโดยการร่อนให้ผ่านตะแกรงขนาด 12 เมช (mesh) และแป้งมันสำปะหลังชนิดพิเศษ ตราแมวแดงดาวเทียมลูกโลก จัดซื้อมาจาก หจก. เกரியงไกรคำแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การขึ้นรูปแผ่นชิ้นงานตัวอย่าง

นำส่วนผสมเส้นใยผลตาลโตนดและขี้เลื่อยไม้ยางพาราตามอัตราส่วนต่างๆ ที่กำหนดดังแสดงในตารางที่ 1 มาทำการผสมคลุกเคล้ากัน แล้วจึงนำน้ำแป้งมันสำปะหลังเทลงในถังผสมโดยใช้เวลาในการกวนผสมประมาณ 5 นาที จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดเทใส่ในกรอบไม้ (Wooden frame) และแม่พิมพ์ที่มีขนาดกว้าง 200 มม. × ยาว 250 มม. หนา 6 มม. ต่อจากนั้นอัดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดร้อนด้วยอุณหภูมิ 190 °C แรงดันอัด 13.8 MPa (2000 psi) เป็นระยะเวลา 30 นาที ซึ่งในแต่ละสูตรการทดลองขึ้นรูปแผ่นชิ้นงานแบบสุ่ม 3 แผ่นตัวอย่าง

ตารางที่ 1 สูตรส่วนผสมของแผ่นใยไม้อัดปลอดภัย

Sample code	RWF (%)	PPF (%)	CSF (%)
R90P0C10	90.0	0.0	10.0
R82P7C10	82.4	7.6	10.0
R71P18C10	71.8	18.2	10.0
R58P30C12	58.0	30.0	12.0
R50P30C20	50.0	30.0	20.0

หมายเหตุ: ในแต่ละสูตรมีการผสมน้ำ 200 มิลลิเมตรต่อส่วนผสมทั้งหมด 265 กรัม; RWF คือ ขี้เลื่อยไม้ยางพารา PPF คือ เส้นใยผลตาลโตนด และ CSF คือ แป้งมันสำปะหลัง

2.3 การทดสอบสมบัติทางกล

การทดสอบสมบัติทางกลประกอบด้วย การทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal Bond Strength; IBS) และการทดสอบแรงดัด (Flexural testing) ในการทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าชิ้นงานทดสอบมีขนาดกว้าง 50 มม. × ยาว 50 มม. × หนา 6 มม. ความเร็วที่ใช้ทดสอบดึงคือ 2 มม./นาที เช่นเดียวกันในการทดสอบแรงดัดเป็นการทดสอบดัดแบบ 3 จุด (Three-point bending) ซึ่งชิ้นงานทดสอบมีขนาดกว้าง 50 มม. × ยาว 200 มม. × หนา 6 มม. ระยะห่างระหว่างบารองรับชิ้นงานมีระยะ 150 มม. ความเร็วในการทดสอบดัดคือ 10 มม./นาที ในการทดสอบสมบัติทางกลกระทำโดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์รุ่น NRI-TS500-50 จาก บริษัท นรินทร์ อินสตรูเมนต์ จำกัด และปฏิบัติตามมาตรฐาน Japanese Industrial Standard (JIS) A 5905 [6] ซึ่งทดสอบในอุณหภูมิห้อง 25 °C และในแต่ละสมบัติทำการทดสอบซ้ำ 5 ชิ้นงานตัวอย่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

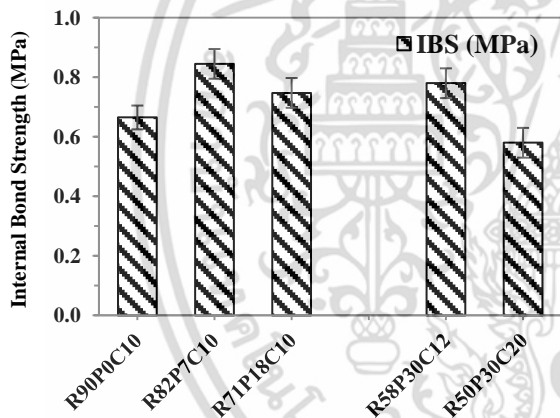
การทดสอบสมบัติทางกายภาพเป็นการทดสอบการดูดซับน้ำ (Water absorption) และการพองตัว (Thickness swelling) เมื่อแผ่นใยไม้อัดถูกแช่น้ำ ซึ่งชิ้นงานทดสอบมีขนาดกว้าง 50 มม. × ยาว 50 มม. × หนา 6 มม. โดยปฏิบัติตามมาตรฐาน JIS A 5905 [6] อย่างไรก็ตามก่อนการทดสอบชิ้นงานถูกอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นวัดขนาดความหนาและชั่งน้ำหนักของชิ้นงานก่อนการทดสอบทันทีด้วยเวอร์เนียร์ดิจิตอลที่มีความละเอียด 0.01 มม. และเครื่องชั่งดิจิตอลที่มีความละเอียด 0.01 กรัม ต่อจากนั้นนำชิ้นงานทดสอบไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดชิ้นงานถูกหยิบขึ้นจากน้ำและถูกชั่งด้วยกระดาษซับน้ำ สุดท้ายนำชิ้นงานวัดขนาดความหนาและชั่งน้ำหนักทันที เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักหรือเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ และเปอร์เซ็นต์การพองตัว ในการทดสอบกระทำซ้ำ 5 ชิ้นงานตัวอย่าง

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลกระทบของส่วนผสมต่อสมบัติการดึง

ผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาลโตนดและปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นใยไม้อัดถูกแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งพบว่าค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นใยไม้อัดที่มีส่วนผสมของเส้นใยผลตาลโตนด 7 เปอร์เซ็นต์ และ 18 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ไม่เติมเส้นใยเป็นส่วนผสม 26.86 เปอร์เซ็นต์ และ 11.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สิ่งนี้เกิดจากการเติมเส้นใยผลตาลโตนดเป็นส่วนผสมช่วยเสริมแรงให้แก่แผ่นใยไม้อัดสามารถต้านทานต่อแรงดึงได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างแผ่นใยไม้อัดที่เติมเส้นใยผลตาลโตนดเป็นส่วนผสม 7 เปอร์เซ็นต์ และ 18 เปอร์เซ็นต์ พบว่าแผ่นใยไม้อัดที่มีส่วนผสมของเส้นใยผลตาลโตนดสูงกว่า มีค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าที่ต่ำกว่า สิ่งนี้เป็นไปได้ว่า เมื่อมีการเติมเส้นใยผลตาลโตนดเป็นส่วนผสมที่มากเกินไป ภายในโครงสร้างของแผ่นใยไม้อัดจะมีรูพรุนหรือมีช่องว่างระหว่างเฟสของเส้นใยกับขี้เลื่อยไม้ และระหว่างเฟสของเส้นใยกับเส้นใย

เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการถ่ายทอดแรงระหว่างเฟสภายในโครงสร้างของแผ่นใยไม้อัดลดต่ำลง ทำให้ความสามารถต้านทานต่อแรงดึงลดลง นอกจากนี้ผลการทดสอบเหล่านี้ยังมีการยืนยันผลโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า ปริมาณเส้นใยผลดาดโตนดมีผลกระทบต่อความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เช่นเดียวกันเมื่อวิเคราะห์โดยใช้ Tukey's test พบว่า แผ่นใยไม้อัดที่ไม่เติมเส้นใยเป็นส่วนผสม (ตัวอักษร *a*) มีความแข็งแรงดึงต่ำกว่าแผ่นใยไม้อัดที่เติมเส้นใย 7 เปอร์เซ็นต์ (ตัวอักษร *b*) และ 18 เปอร์เซ็นต์ (ตัวอักษร *b*) อย่างมีนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$) แต่การเติมเส้นใยเพิ่มจาก 7 เปอร์เซ็นต์ เป็น 18 เปอร์เซ็นต์ มีผลกระทบต่อความแข็งแรงดึงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$)



รูปที่ 1 ผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลดาดโตนดและแป้งมันสำปะหลังต่อความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าโดยใช้ Student's t-test พบว่าการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นจาก 12 เปอร์เซ็นต์ (ตัวอักษร *D*) เป็น 20

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติในสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัด

Properties	R90P0C10	R82P7C10	R71P18C10	<i>P-value</i>	R58P30C12	R50P30C20	<i>P-value</i>
IBS (MPa)	0.67 <i>a</i>	0.85 <i>b</i>	0.75 <i>b</i>	0.031*	0.78 <i>D</i>	0.58 <i>E</i>	0.015*
MOR (MPa)	6.72	7.14	6.07	0.530	9.72 <i>D</i>	11.54 <i>E</i>	0.039*
MOE (GPa)	1.07 <i>a</i>	1.26 <i>b</i>	0.85 <i>c</i>	0.022*	1.00 <i>D</i>	1.40 <i>E</i>	0.028*
WA (%)	112.46	107.92	105.74	0.224	104.49 <i>D</i>	91.71 <i>E</i>	0.041*
TS (%)	24.79	23.51	22.08	0.798	32.54 <i>D</i>	28.71 <i>D</i>	0.184

เปอร์เซ็นต์ (ตัวอักษร *E*) ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เนื่องจากการเกิดแนวแตกร้าวบริเวณชั้นแกนกลาง (Core layer) ของแผ่นใยไม้อัดในสูตรที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมมากกว่า ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้จากในรูปที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในสูตรที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม 12 เปอร์เซ็นต์ บริเวณชั้นแกนกลางของแผ่นใยไม้อัดมีการประสานกันแบบแนบชิดสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัดของแผ่นใยไม้อัด แต่ในแผ่นใยไม้อัดที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม 20 เปอร์เซ็นต์ เกิดแนวแตกร้าวขึ้นบริเวณชั้นแกนกลางตลอดทั้งพื้นที่หน้าตัด สิ่งนี้เกิดจากแป้งมันสำปะหลังไม่เกิดการสุก (Curing) บริเวณชั้นแกนกลางของแผ่นใยไม้อัด ทำให้เกิดเป็นแนวแตกร้าวขึ้น ในความเป็นจริงเมื่อแป้งมันสำปะหลังถูกใช้เป็นส่วนผสมมากขึ้น การสุกของส่วนผสมนั้นต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น และเหตุผลที่บริเวณชั้นแกนกลางเกิดการไม่สุกแต่บริเวณขอบนอกเกิดการสุกของแป้งมันสำปะหลังนั้น พฤติกรรมนี้เกิดขึ้นจากหลักการถ่ายเทความร้อน ที่ในการขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัดเป็นการถ่ายเทความร้อนจากฮีตเตอร์ไปยังแม่พิมพ์ และจากแม่พิมพ์ถ่ายเทไปยังส่วนผสมของแผ่นใยไม้อัด ทำให้บริเวณขอบนอกสุดทั้งสองด้านของแผ่นใยไม้อัดจะได้รับความร้อนสูงสุด และบริเวณชั้นแกนกลางจะได้รับความร้อนต่ำสุด [7] ส่งผลให้ความสามารถการสุกของแป้งมันสำปะหลังลดต่ำลงที่บริเวณชั้นแกนกลาง เช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาลักษณะการวิบัติของแผ่นใยไม้อัดดังแสดงในรูปที่ 3 เห็นได้ว่าการวิบัติหรือการขาดออกจากกันของแผ่นใยไม้อัด เกิดขึ้นที่บริเวณชั้นแกนกลางของแผ่นใยไม้อัด ซึ่งเป็นบริเวณที่แข็งแรงน้อยสุดของแผ่นใยไม้อัดที่มีส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง 20 เปอร์เซ็นต์

หมายเหตุ: ผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาล โตนดและแป้งมันสำปะหลังมีนัยสำคัญเมื่อ $P < 0.05$ และในแต่ละสมบัติหากมีตัวอักษรเหมือนกันหมายถึง มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($\alpha=0.05$) (ตัวอักษร a-c และ D-E สำหรับผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาล โตนด และปริมาณแป้งมันสำปะหลัง ตามลำดับ



รูปที่ 2 การยึดเกาะบริเวณชั้นแกนกลางของแผ่นใยไม้อัดที่มีส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง (ก) 12 เปอร์เซ็นต์ และ (ข) 20 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 3 ลักษณะการวิบัติของแผ่นใยไม้อัดที่เสริมแรงด้วยเส้นใยผลตาล โตนดหลังจากทดสอบการดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

3.2 ผลกระทบของส่วนผสมต่อสมบัติการตัด

สมบัติการตัดคือ สมบัติที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการตัดสินใจประยุกต์ใช้งานแผ่นใยไม้อัด เพราะการประยุกต์ใช้งานของแผ่นใยไม้อัดส่วนใหญ่จะเป็นการใช้ในลักษณะของการรับแรงดัด ผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาล โตนดและแป้งมันสำปะหลังต่อค่าความแข็งแรงดัด (Modulus of Rupture; MOR) และค่ามอดูลัสการดัด (Modulus of Elasticity; MOE) ของแผ่นใยไม้อัดถูกแสดง

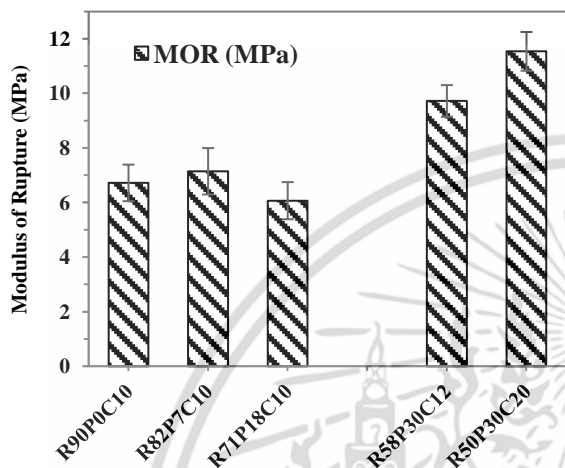
ในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ ทั้งค่าความแข็งแรงดัดและค่า

มอดูลัสการดัดมีพฤติกรรมที่คล้ายกันคือ เมื่อเติมเส้นใยผลตาล โตนดเป็นส่วนผสม 7 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ทั้งค่าความแข็งแรงดัดและค่ามอดูลัสการดัดเพิ่มขึ้น 6.25 เปอร์เซ็นต์ และ 17.76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากเส้นใยที่เติมเป็นส่วนผสมช่วยเสริมแรงให้แก่แผ่นใยไม้อัดสามารถต้านทานต่อแรงดัดได้มากขึ้น เพราะเส้นใยที่เติมเข้าไปจะเข้าไปทำหน้าที่เปรียบเสมือนสะพานที่ช่วยถ่ายทอดแรงระหว่างเฟสของซีเมนต์ภายในโครงสร้างของแผ่นใยไม้อัด แต่เมื่อเติมเส้นใยผลตาล โตนดเป็นส่วนผสม 18 เปอร์เซ็นต์ พบว่าแผ่นใยไม้อัดมีค่าความแข็งแรงดัดและค่ามอดูลัสการดัดต่ำกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ไม่เติมเส้นใยผลตาล โตนด 9.67 เปอร์เซ็นต์ และ 20.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พฤติกรรมนี้สามารถให้เหตุผลได้เช่นเดียวกับสมบัติการดึงที่ว่า การเติมเส้นใยเป็นส่วนผสมมากเกินไป ส่งผลให้ภายในโครงสร้างของแผ่นใยไม้อัดมีรูพรุนหรือมีช่องว่างระหว่างเฟสของส่วนผสมคือ ซีเมนต์ ไม้ยางพารา และเส้นใยผลตาล โตนดมากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถการถ่ายทอดแรงระหว่างเฟสภายในโครงสร้างลดลง ทำให้แผ่นใยไม้อัดมีความสามารถต้านทานต่อแรงดัดได้น้อยลง

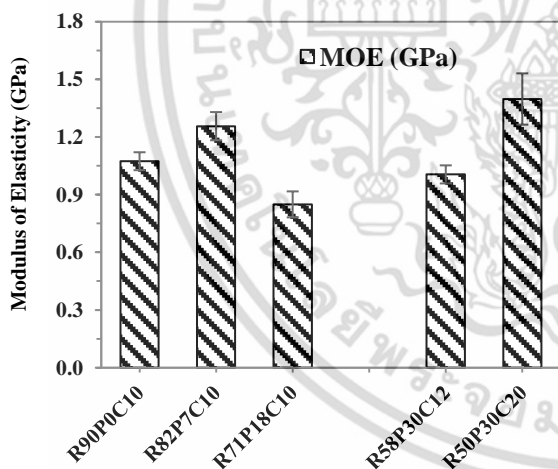
อย่างไรก็ตามการเติมเส้นใยเป็นส่วนผสมเพิ่มมากขึ้นยังส่งผลให้แผ่นใยไม้อัดมีความสามารถในการยืดตัว (Elongation) เพิ่มมากขึ้นเมื่อรับแรงดัด และเมื่อแผ่นใยไม้อัดเกิดการวิบัติ (Failure) แผ่นใยไม้อัดจะไม่เกิดการแยกขาดออกจากกันอย่างสิ้นเชิง ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้จากรูปที่ 6 ที่แสดงลักษณะการวิบัติของแผ่นใยไม้อัดที่เสริมแรงและไม่เสริมแรงด้วยเส้นใยผลตาล โตนดหลังจากทดสอบการตัด เห็นได้ว่าแผ่นใยไม้อัดที่เสริมแรงด้วยเส้นใยถึงแม้จะมีการวิบัติแล้ว แต่แผ่นใยไม้อัดจะยังไม่ขาดออกจากกันอย่างสิ้นเชิง เนื่องจากความสามารถของเส้นใยที่เปรียบเสมือนเป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างเฟสของซีเมนต์ไม้ภายในโครงสร้างแผ่นใยไม้อัดไม่ทำให้ขาดออกจากกัน แต่ทว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นใยไม้อัดที่ไม่เสริมแรงด้วยเส้นใย เห็นได้ว่าเมื่อแผ่นใยไม้อัดเกิดการวิบัติขึ้น แผ่นใยไม้อัดจะขาดออกจากกันอย่างสิ้นเชิงในทันที ดังนั้นในการประยุกต์ใช้

ไม่ว่าการฉีกใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานจริงแผ่นใยไม้อัดที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจะมีความปลอดภัยมากกว่าแผ่นใยไม้อัดที่ไม่เสริมแรงด้วยเส้นใย เพราะถึงแม้แผ่นใยไม้อัดจะรับแรงจนเกิดการวิบัติ แต่ด้วยความสามารถของเส้นใยที่เติมเข้าไป จะช่วยชะลอการขาดออกจากกันอย่างสิ้นเชิงของแผ่นใยไม้อัดไว้ได้อีกระยะหนึ่ง ก่อนที่ความเสียหายจะเกิดขึ้น



รูปที่ 4 ผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาล โคนดและแป้งมันสำปะหลังต่อค่าความแข็งแรงดัด



รูปที่ 5 ผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาล โคนดและแป้งมันสำปะหลังต่อค่ามอดูลัสการดัด

เช่นเดียวกันเมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อค่าความแข็งแรงดัดและค่ามอดูลัสการดัด พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม ส่งผลให้ทั้งค่าความแข็งแรงดัดและค่ามอดูลัสการดัดมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น 18.72 เปอร์เซ็นต์ และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากการประสานและการยึดเกาะระหว่างเฟสของส่วนผสมคือ

ใยสังเคราะห์เป็นใยสังเคราะห์ที่ผลิตขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อใยไม้และเส้นใยเกิดขึ้นได้ดีและแข็งแรงมากขึ้น ส่งผลให้การถ่ายทอดแรงระหว่างเฟสภายในโครงสร้างของแผ่นใยไม้อัดมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้แผ่นใยไม้อัดสามารถต้านทานต่อแรงดัดได้มากขึ้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับสมบัติการดัด พบว่าแผ่นใยไม้อัดให้ผลที่ตรงกันข้ามกับสมบัติการดัด สิ่งนี้เป็นเพราะเมื่อแผ่นใยไม้อัดรับแรงดัด จุดที่รับแรงสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณขอบนอกสุดของแผ่นใยไม้อัด แต่ทว่าเมื่อแผ่นใยไม้อัดรับแรงดัด จุดที่แผ่นใยไม้อัดขาดออกจากกันจะเป็นบริเวณที่มีความแข็งแรงหรือต้านทานต่อแรงดัดได้น้อยที่สุด [7] นั่นคือบริเวณชั้นแกนกลางของแผ่นใยไม้อัด ซึ่งเป็นไปตามเหตุผลที่ได้อธิบายในสมบัติการดัดที่ว่า บริเวณชั้นแกนกลางเกิดการไม่สุกของแป้งมันสำปะหลัง แต่บริเวณขอบนอกเกิดการสุกของแป้งมันสำปะหลัง ทำให้บริเวณขอบนอกของแผ่นใยไม้อัดมีความแข็งแรงมากกว่าบริเวณชั้นแกนกลาง เพราะการประสานและการยึดเกาะระหว่างเฟสของส่วนผสมที่แข็งแรงกว่าเกิดขึ้นบริเวณขอบนอกของแผ่นใยไม้อัด ดังนั้นการเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมมากขึ้น ส่งผลให้แผ่นใยไม้อัดมีค่าความแข็งแรงดัดและค่ามอดูลัสการดัดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 6 ลักษณะการวิบัติของแผ่นใยไม้อัด (ก) ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยผลตาล โคนด และ (ข) ที่ไม่เสริมแรงด้วยเส้นใยผลตาล โคนด หลังจากทดสอบการดัด

3.3 ผลกระทบของส่วนผสมต่อสมบัติการดูดซับน้ำ

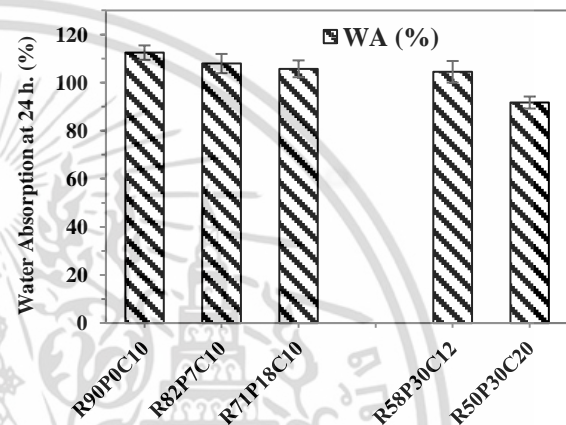
สมบัติการดูดซับน้ำ (Water absorption) และการพองตัว (Thickness swelling) เมื่อแช่น้ำของแผ่นใยไม้อัด เป็นอีกสมบัติที่จำเป็นต้องทำการวัดหรือทดสอบเมื่อมีการพัฒนาแผ่นใยไม้อัด เพราะเป็นที่ทราบกันดีว่าแผ่นใยไม้อัดถูกผลิตมาจากวัสดุธรรมชาติที่มีเซลลูโลสเป็น

องค์ประกอบหลัก และเซลลูโลสเป็นสารที่ชอบดูดซับน้ำ (Hydrophilic) [8, 9] ทำให้เมื่อแผ่นใยไม้อัดถูกแช่น้ำจะมีการดูดซับน้ำและการพองตัวในอัตราที่สูง จากการทดสอบการแช่น้ำของแผ่นใยไม้อัดเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง สามารถแสดงผลของเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและการพองตัวของแผ่นใยไม้อัดได้ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าการเติมเส้นใยผลตาลโตนดเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและการพองตัวมีค่าลดลงอย่างช้าๆ ตามปริมาณเส้นใยที่เติมเป็นส่วนผสม ยกตัวอย่าง เมื่อเติมเส้นใยผลตาลโตนดเป็นส่วนผสม 7 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและการพองตัวลดลง 4.03 เปอร์เซ็นต์ และ 5.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เช่นเดียวกันเมื่อเติมเส้นใยผลตาลโตนดเป็นส่วนผสม 18 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและการพองตัวลดลง 5.97 เปอร์เซ็นต์ และ 10.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สิ่งนี้เป็นไปได้ว่า เส้นใยผลตาลโตนดจะมีความสามารถในการดูดซับน้ำน้อยกว่าขี้เลื่อยไม้ยางพารา เนื่องจากหากพิจารณาจากผิวของเส้นใย เส้นใยจะมีลักษณะผิวเรียบและมัน แต่ขี้เลื่อยไม้ยางพาราจะมีผิวขรุขระและมีรูพรุน ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่า การแทรกซึมของน้ำเข้าสู่โครงสร้างของขี้เลื่อยไม้จะง่ายและรวดเร็วกว่าเข้าสู่โครงสร้างของเส้นใย และอีกหนึ่งเหตุผลสามารถอธิบายได้ว่า เส้นใยผลตาลโตนดมีค่าความหนาแน่น (Density) ต่ำกว่าขี้เลื่อยไม้ยางพารา นั้นหมายความว่า ในการขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัดสูตรที่มีเส้นใยเป็นส่วนผสมจะมีปริมาตรของแผ่นใยไม้อัดก่อนการอัดมากกว่าสูตรที่ไม่เติมเส้นใย และเมื่อส่วนผสมถูกอัดให้มีความหนาแน่นเท่ากันทุกสูตร สิ่งที่เกิดขึ้นคือ ในสูตรที่มีส่วนผสมของเส้นใยเพิ่มขึ้น การอัดแน่นระหว่างเฟสของส่วนผสมจะมากขึ้น ทำให้การแทรกซึมของน้ำเข้าสู่โครงสร้างแผ่นใยไม้อัดที่มีส่วนผสมของเส้นใยมากขึ้น เป็นไปได้ยากขึ้น ดังนั้นเมื่อเติมเส้นใยเป็นส่วนผสมในแผ่นใยไม้อัดเพิ่มขึ้น การดูดซับน้ำและการพองตัวของแผ่นใยไม้อัดจึงมีค่าลดลง

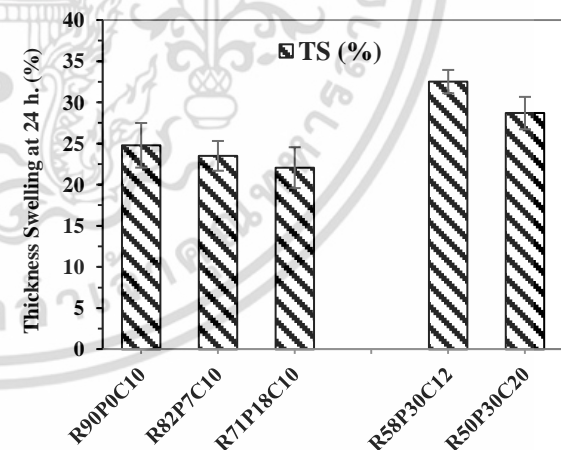
เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณแป้งมันสำปะหลัง ต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและการพองตัว พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมในแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้เอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใยไม้อัด ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญแต่การพองตัวลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งมีค่าลดลง 12.23 เปอร์เซ็นต์ และ 11.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังสามารถเพิ่มการประสานภายในโครงสร้างของแผ่นใยไม้อัด โดยปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างเฟสของส่วนผสม (ขี้เลื่อยไม้และเส้นใย) ของแผ่นใยไม้อัด ดังนั้นเมื่อแป้งมันสำปะหลังสามารถประสานหรือเคลือบผิวของเส้นใยธรรมชาติได้ทั่วถึงมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการดูดซับน้ำของแผ่นใยไม้อัดลดลง



รูปที่ 7 ผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาลโตนดและแป้งมันสำปะหลังต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ



รูปที่ 8 ผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาลโตนดและแป้งมันสำปะหลังต่อเปอร์เซ็นต์การพองตัว

นอกจากนี้เมื่อสังเกตพฤติกรรมในการดูดซับน้ำและการพองตัว จะเห็นได้ว่ามีพฤติกรรมที่สอดคล้องกัน ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าอัตราการพองตัวจะมีความผันแปร โดยตรงตามอัตราการดูดซับน้ำ เมื่อขี้เลื่อยไม้หรือเส้นใยธรรมชาติดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น วัสดุเหล่านี้จะเกิดการบวมหรือพองตัว

เพิ่มขึ้นเช่นกันตามปริมาณของน้ำที่ถูกดูดซับเข้าไปในโครงสร้าง อย่างไรก็ตามเมื่อถึงจุดที่ขี้เลื่อยไม้หรือเส้นใยธรรมชาติดูดซับน้ำจนอิ่มตัว (Saturation) วัสดุเหล่านี้จะไม่ดูดซับน้ำและพองตัวเพิ่มขึ้นอีก ยกตัวอย่างในงานวิจัยของ Adhikary และคณะ [10] ที่พบว่า การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบพลาสติกที่เสริมแรงด้วยขี้เลื่อยไม้ปริมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ มีการดูดซับน้ำและการพองตัวจนอิ่มตัว เมื่อถูกแช่น้ำเป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์

4. สรุป

ผลกระทบของปริมาณเส้นใยผลตาลโตนดและปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นใยไม้อัดถูกศึกษา ซึ่งพบว่าแผ่นใยไม้อัดมีการเปลี่ยนแปลงในสมบัติทางกลและทางกายภาพ เนื่องจากปริมาณของเส้นใยผลตาลโตนดและแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งแผ่นใยไม้อัดมีค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ค่าความแข็งแรงดัด และค่ามอดูลัสการดัดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเติมเส้นใยผลตาลโตนดเป็นส่วนผสม 7 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเส้นใยที่เติมเป็นส่วนผสมช่วยเสริมแรงให้แก่แผ่นใยไม้อัดสามารถต้านทานต่อแรงดึงและดัดได้มากขึ้น แต่พบว่าเมื่อเติมเส้นใยผลตาลโตนดเป็นส่วนผสม 18 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ค่าความแข็งแรงดัด และค่ามอดูลัสการดัดลดลง เช่นเดียวกับการเติมเส้นใยผลตาลโตนดเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและการพองตัวลดลงอย่างช้าๆ นอกจากนี้การเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ และเปอร์เซ็นต์การพองตัวลดลง ในทางตรงกันข้ามค่าความแข็งแรงดัดและค่ามอดูลัสการดัดเพิ่มขึ้น เมื่อเติมแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้น เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังทำให้การยึดเกาะระหว่างอนุภาคขี้เลื่อยไม้และเส้นใยมีความแข็งแรงมากขึ้น ข้อเสนอแนะ การเติมแป้งมันสำปะหลังในปริมาณที่มากจนเกินไป ส่งผลให้แป้งมันสำปะหลังเกิดการไม่สุก (Curing) บริเวณชั้นแกนกลางของแผ่นใยไม้อัด ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิหรือเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัด นอกจากนี้สูตรที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยไม้ยางพารา 50% เส้นใยผลตาลโตนด 30% และแป้งมันสำปะหลัง 20% เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้งาน เนื่องจาก

เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำที่ต่ำ เพราะการประยุกต์ใช้งานของแผ่นใยไม้อัดส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาวะของการรับแรงดัดและสัมผัสกับความชื้นหรือน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก งบประมาณเงินรายได้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ประจำปี 2559 และขอขอบคุณนางสาววิชุดา แก้วคง และนางสาวนิติญา หอยสกุล สำหรับความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Buachongkon and N. Laesak, "Properties of Medium Density Fiberboard Made from Dendrocalamus Hamiltonii and Dendrocalamus Latiflorus with Various Age Classes," Thai Journal of Forestry, Vol. 26, pp. 83-89, 2007.
- [2] R. Hashim, N. Said, J. Lamaming, M. Baskaran, O. Sulaiman, M. Sato, et al., "Influence of Press Temperature on the Properties of Binderless Particleboard Made from Oil Palm Trunk," Materials and Design, Vol. 32, pp. 2520-2525, 2011.
- [3] R. Hashim, S. Hamid, O. Sulaiman, N. Ismail, M. Ibrahim, and H. Jais, "Extractable Formaldehyde from Waste Medium Density Fibreboard," Journal of Tropical Forest Science, Vol. 21, pp. 25-33, 2009.
- [4] I. Ali, K. Jayaraman, and D. Bhattacharyya, "Effects of Resin and Moisture Content on the Properties of Medium Density Fibreboards made from Kenaf Bast Fibres," Industrial Crops and Products, Vol. 52, pp. 191-198, 2014.
- [5] M.T. Paridah, A.H. Juliana, Y.A. El-Shekeil, M. Jawaid, and O.Y. Alothman, "Measurement of Mechanical and Physical Properties of Particleboard by Hybridization of Kenaf with Rubberwood Particles," Measurement, Vol. 56, pp. 70-80, 2014.
- [6] Japanese Industrial Standard (JIS) A 5905, Fibreboards, 2003.
- [7] C. Homkhiew, S. Rawangwong and W. Boonchouytan, "Influence of Wood Species and Thickness Sizes on Mechanical and Physical Properties of Binderless Particleboard," Ladkrabang Engineering Journal, Vol. 33, pp.18-23, 2016.
- [8] H. Bouafif, A. Koubaa, P. Perre and A. Cloutier, "Effects of Fiber Characteristics on the Physical and Mechanical Properties of Wood Plastic Composites," Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 40, pp. 1975-1981, 2009.
- [9] C. Homkhiew, T. Ratanawilai, S. Rawangwong and W. Boonchouytan, "Effect of Temperatures and Water Types on Water Absorption of Rubberwood Flour-Polypropylene Composites," Ladkrabang Engineering Journal, Vol. 32, pp. 49-54, 2015.
- [10] K.B. Adhikary, S. Pang and M.P. Staiger, "Long-Term Moisture Absorption and Thickness Swelling Behaviour of Recycled Thermoplastics Reinforced with Pinus Radiata Sawdust," Chemical Engineering Journal, Vol. 142, 190-198, 2008.

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของวิศวกรรมลาดกระบัง การใช้งานเพื่อการศึกษานี้ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้