

การหาอัตราส่วนผสมของผักตบชวาเพื่อพัฒนาเป็นฝ้าเพดาน Determination of Water Hyacinth Mixture Rates to Develop into Ceilings

ลาวัลย์ ขันเกษตร^{1*}

Lawan Kankaset¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ศูนย์สุพรรณบุรี

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of
Technology Suvarnabhumi, Suphan Buri Center

วันที่ส่งบทความ : 9 พฤศจิกายน 2564 วันที่แก้ไขบทความ : 26 เมษายน 2565 วันที่ตอบรับบทความ : 6 ธันวาคม 2565

Received: 9 November 2021, Revised: 26 April 2022, Accepted: 6 December 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาหาอัตราส่วนผสมของผักตบชวาในการพัฒนาเป็นฝ้าเพดาน โดยมีการนำผักตบชวามาเป็นส่วนผสมเพิ่ม เพื่อนำมาเป็นข้อพิจารณาในการพัฒนาแผ่นฝ้าเพดาน และลด ปริมาณผักตบชวาที่มีมากในปัจจุบัน โดยผู้วิจัยได้นำแผ่นฝ้าเพดานที่มีอัตราส่วนระหว่าง ยิปซัม : น้ำ : โซเดียมซิลิเกต และผักตบชวา โดยน้ำหนัก นำมาทดสอบหาค่าแรงกดแตกตามยาวและตามขวาง การแอ่นตัว การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และแรงต้านทานการดัดงอ ตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 219-2552 จำนวน 5 อัตราส่วน คือ 1:1:0.03:0, 1:1:0.03:0.60, 1:1:0.03:0.65, 1:1:0.03:0.70 และ 1:1:0.03:0.75 จากการทดสอบ พบว่า แผ่นฝ้าเพดานที่มีส่วนผสม ผักตบชวาเพิ่มในอัตราส่วน 1:1:0.03:0.60 มีค่ามากที่สุดในการทดสอบ เนื่องจากมีค่าแรงกดแตก ตามยาวและตามขวาง ค่าแรงต้านทานการดัดงอสูงสุด ค่าการแอ่นตัวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อเทียบกับ อัตราส่วนผสมอื่น ๆ แผ่นฝ้าเพดานที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถลดปริมาณผักตบชวาที่มีมากในปัจจุบัน และช่วย ในเรื่องของสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

คำสำคัญ : ฝ้าเพดาน ผักตบชวา อัตราส่วนผสม

Abstract

The research aims to study water hyacinth ingredient rates in ceiling development, with water hyacinth being added as an added ingredient. As a consideration for the development of ceiling panels and reducing the current large amount of hyacinths, the

*ที่อยู่ติดต่อ E-mail address: kkklawan@yahoo.com

researchers took a ceiling panel with a ratio between gypsum: water: sodium silicate and hyacinth by weight. Tested for breaking strength and transverse crack pressure. Swamping, water absorption, density The coefficient of thermal conductivity and nail pull resistance according to the TISI 219- 2009 industrial product standard of 5 ratios is 1: 1:0.03: 0, 1:1:0.03:0.60, 1:1:0.03:0.65, 1:1:0.03:0.70 and 1:1:0.03:0.75 Test showed that ceiling panels containing hyacinth mixtures added to the ratio of 1:1:0.03:0.60 were the most valuable in terms of testing due to longitudinal and transverse pressure. Maximum nail pull resistance labor The benchmark value is in the benchmark. Compared to other ingredient rates, this developed ceiling sheet can reduce the amount of water hyacinth that are currently available and help with the environment.

Keywords: Ceiling panel, Water hyacinth, Ingredient rate

1. บทนำ

ผักตบชวา (Water Hyacinth) มีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า *Echhorniacrassipers* จัดเป็นวัชพืชที่มีถิ่นกำเนิดในแถบกลุ่มน้ำเมซอน ประเทศบราซิล ในทวีปอเมริกาใต้ เนื่องจากผักตบชวาเป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตสูงทนทานต่อสภาพแวดล้อม เป็นพืชที่มีหุ่นลอยสามารถอยู่ได้ทั้งน้ำนิ่งและน้ำไหล และมีการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วทั้งทางเมล็ดและการแตกหน่อ ดังนั้นจึงทำให้ผักตบชวามีการแพร่ระบาดอย่างรุนแรงก่อให้เกิดปัญหาต่อแหล่งน้ำต่าง ๆ ทั่วประเทศ และก่อให้เกิดผลเสียต่อเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม ผักตบชวามีอัตราการเจริญเติบโตสูงมาก มีการสะสมมวลชีวภาพสูงถึง 20 กรัม น้ำหนักแห้งต่อตารางเมตรต่อวัน โดยมีอัตราการเจริญเติบโตสัมพันธ์สูงสุดเท่ากับร้อยละ 1.5 ต่อวัน ประเทศไทยได้มีการนำผักตบชวามาจากประเทศอินโดนีเซีย และได้แพร่กระจายไปสู่แหล่งน้ำต่าง ๆ ทั่วประเทศ ก่อให้เกิดปัญหากับแหล่งน้ำต่าง ๆ มากกว่า 64 จังหวัด ทั่วประเทศ คิดเป็นปริมาณน้ำหนักสดจะมีมากกว่า 5 ล้านตันต่อปี [1]

เส้นใยจากผักตบชวาเป็นเส้นใยธรรมชาติประเภทเส้นใยเซลลูโลส ลักษณะของเส้นใยจะค่อนข้างหยากคล้ายลินิน ในตัวเส้นใยประกอบด้วยเส้นใยกลวง เกาะติดกัน เป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีรูปทรงจึงดูความขึ้นได้ดี ส่วนที่พบว่ามีเส้นใยมากที่สุดจะเป็นในส่วนของลำต้น มีลักษณะเหนียว และแข็งแรง เหมาะกับการผลิตเครื่องจักสานต่าง ๆ ขึ้นรูปเป็นแผ่นผนังในบ้าน หรือถูกบดให้ละเอียดและผสมกับวัสดุต่าง ๆ เพื่อขึ้นรูปเป็นคอมโพสิต (Composite) ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันตามความต้องการในการใช้งาน เช่น นำมาผสมกับแผ่นหลังคา [2] นำมาเสริมความแข็งแรงผสมกับน้ำยางธรรมชาติเพื่อขึ้นรูปเป็นฉนวนกันความร้อน นอกจากนี้ การนำเส้นใยผักตบชวามาทอร่วมกับเส้นด้าย เพื่อขึ้นรูปเป็นผืนผ้าทอ [3] คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำแบบผสมเส้นใยผักตบชวา พบว่า การผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมทำให้เกิดความต้านทานแรงอัดและความต้านทานแรงดัดเพิ่มมากขึ้น [4] จากคุณสมบัติของผักตบชวาในด้านความเหนียวซึ่งมีประโยชน์ทางด้านแรงดึงและน้ำหนักเบาสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักน้อย จึงมีการนำคุณสมบัติด้านต่าง ๆ เหล่านี้มาประยุกต์ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรม

โดยมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำเส้นใยผักตบชวามาใช้ผสมในคอนกรีตเพื่อทดสอบ สามารถนำไปพัฒนาเป็นผนังสำเร็จรูป เนื่องจากในปัจจุบันการสร้างบ้านส่วนใหญ่ โดยเฉพาะการทำบ้านจัดสรร จะมีการนำแผ่นผนังสำเร็จรูปไปใช้ในการก่อสร้างเพราะประหยัดระยะเวลาในการก่อสร้าง และลดค่าใช้จ่าย โดยวัสดุที่นำมาใช้ควรมีลักษณะกันความร้อนจากแสงแดดภายนอกได้ [5]-[6] มีการศึกษาวิจัยในการทำเส้นใยต่าง ๆ เช่น ใยปอแก้ว ใยป่าน ฯลฯ มาผสมกับคอนกรีตเพื่อเสริมเส้นใยทดแทนวัสดุที่ใช้ทั่วไป รวมทั้งมีการนำผักตบชวามาผสมเพื่อพัฒนาเป็นคอนกรีตอิฐบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักสำหรับใช้ในการลดความร้อน ซึ่งสามารถใช้ในตัวอาคารและได้ราคาที่ถูกกว่าอิฐบล็อกตามท้องตลาด [7]-[9] อย่างไรก็ตามสัดส่วนของผักตบชวาที่เหมาะสมก็เป็นส่วนสำคัญในการผสมเป็นวัสดุเช่นกัน ทั้งนี้การใช้วัสดุที่เหลือทิ้ง และวัสดุที่เป็นมลภาวะกับสิ่งแวดล้อม ดังเช่น ขานอ้อย แกลบ ฟางข้าว และผักตบชวา เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันมองเป็นเพียงว่าเป็นสิ่งที่ต้องกำจัดทิ้ง สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ถ้านำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์นั้นว่าเป็นการช่วยลดมลภาวะทางธรรมชาติ ลดภาวะโลกร้อนที่อาจเกิดขึ้นได้ และยังเป็นการสนับสนุนในเรื่องการอนุรักษ์พลังงานซึ่งในปัจจุบันเป็นเรื่องที่ให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง กล่าวคือเมื่อนำผักตบชวามาเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกประสานในอัตราส่วนที่เหมาะสมนั้นจะสามารถป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับอิฐบล็อกมาตรฐาน และมีความหนาแน่นที่น้อยลงทำให้อิฐบล็อกประสานมีน้ำหนักเบาอีกด้วย [10] ดังนั้นผักตบชวาจึงน่าสนใจในการนำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อน อีกทั้งผักตบชวายังเป็นวัชพืชที่ร้ายแรงในแหล่งน้ำทั่วไป แต่อย่างไรก็ตามการที่จะพัฒนานวัตกรรมทางด้านวัสดุนั้นจำเป็นต้องทำการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ให้เป็นไปตามมาตรฐาน เพื่อให้สามารถต่อยอดนำไปใช้งานได้จริง ดังนั้นในการผลิตแผ่นยิปซัม หรือแผ่นยิปซัมบอร์ด (Gypsum Board) เป็นวัสดุก่อสร้างที่นิยมนำไปกั้นผนังห้องและติดตั้งเป็นฝ้าเพดานภายในอาคาร เนื่องจากน้ำหนักเบา ต้นทุนต่ำ ตัดและติดตั้งง่าย และผลิตได้ภายในชุมชนท้องถิ่น (Local Community) แผ่นยิปซัมบอร์ดนี้มีปัญหาเรื่องทนความชื้นของเนื้อยิปซัมและกระดาษ รวมทั้งการฟุ้งกระจายของเส้นใยแก้ว (Glass Fiber) เมื่อแผ่นยิปซัมเกิดการชำรุด [11] ผู้บริโภคจึงหันมาเลือกใช้งานแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่มีการดูดซึมน้ำต่ำ แต่มีราคาแพง น้ำหนักมาก และเจาะตัวยากกว่าแผ่นยิปซัมบอร์ดแทน อย่างไรก็ตามแผ่นซีเมนต์บอร์ดเป็นวัสดุที่ไม่สามารถผลิตได้ภายในชุมชนท้องถิ่นเพราะต้องใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ การแก้ไขปัญหของแผ่นยิปซัมบอร์ดให้ทนความชื้นมากขึ้นสามารถทำได้โดยปรับปรุงอัตราส่วนผสมด้วยการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และยางพาราที่มีความทึบน้ำ [12]-[14] ลงในส่วนผสม และเปลี่ยนเส้นใยแก้วเป็นเส้นใยผักตบชวา เส้นใยผักตบชวานี้เป็นเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose Fiber) ซึ่งโมเลกุลสายยาวซ้ำยึดเกาะด้วยพันธะ C-O-C ในหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จับกับหมู่ธาตุอื่น ๆ เรียงตัวเป็นระเบียบ (Crystalline) และระหว่างสายโมเลกุลมีการยึดด้วยพันธะไฮโดรเจน เป็นระยะ ๆ จึงมีความเหนียว แข็งแรงและน้ำหนักเบา [15]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาอัตราส่วนผสม และคุณสมบัติต่าง ๆ ของฝ้าเพดานตาม มอก. 219-2552 [16] ประกอบด้วย การทดสอบแรงกดแตกตามยาวและตามขวาง การแอ่นตัว การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และแรงต้านทานการดิ่งตะปู จากการเสริมเส้นใยผักตบชวา เพื่อที่จะสามารถนำไปพัฒนาเป็นแผ่นฝ้าเพดานที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก. 219-2552 [16] ซึ่งจะช่วยลดปัญหาปริมาณผักตบชวาที่แพร่พันธุ์อยู่ในแหล่งน้ำต่าง ๆ รวมทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าของผักตบชวาอีกด้วย

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

ในการศึกษาการวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบ แรงกดแตกตามยาวและตามขวาง การแ่นตัว การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และแรงต้านทานการดึงตะปู ของผ้าเปดานเสริมเส้นใย ผักตบชวา เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานทางวิศวกรรม โดยมีการทดสอบหาส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างเส้นใย ต่อผ้าเปดานโดยน้ำหนัก เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดในการผลิต โดยในการทดลองมีวัสดุและอุปกรณ์ ในการทดลองดังนี้

- 1) ปูนยิปซัม ผักตบชวา โซเดียมซิลิเกต น้ำ
- 2) อุปกรณ์ใช้ในการผสม เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 3) แบบหล่อขนาด 60x60x0.9 เซนติเมตร
- 4) การทดสอบความหนาแน่น ความชื้นและการดูดซึมน้ำ
- 5) เครื่องทดสอบ (Universal Testing Machine: UTM)
- 6) การทดสอบสภาพนำความร้อน

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

การดำเนินงานวิจัยการหาอัตราส่วนผสมของผักตบชวาเพื่อพัฒนาเป็นผ้าเปดานมีขั้นตอนในการดำเนินงานต่าง ๆ ดังนี้

- 1) การออกแบบส่วนผสมของผ้าเปดานผสมผักตบชวา จำนวน 5 อัตราส่วน โดยทำการเพิ่มผักตบชวาในอัตราส่วนโดยน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1. อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก

อัตราส่วน	ปูนยิปซัม	น้ำ	โซเดียมซิลิเกต	ผักตบชวา
E0	1	1	0.03	0
E60	1	1	0.03	0.60
E65	1	1	0.03	0.65
E70	1	1	0.03	0.70
E75	1	1	0.03	0.75

- 2) การขึ้นรูปตัวอย่างแผ่นผ้าเปดาน เริ่มจากการย่อยผักตบชวาโดยการหั่นและปั่นให้ละเอียดดังแสดงในรูปที่ 1 และนำผักตบชวาที่ละเอียดแล้ว ตากให้แห้งด้วยอุณหภูมิปกติมีค่าอุณหภูมิเท่ากับ 32-36 องศาเซลเซียสโดยใช้ระยะเวลาในการตาก 16 ชม. ดังรูปที่ 2 แล้วทำการขึ้นรูปตามแบบที่เตรียมไว้ขนาด 60x60x0.9 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3 นำตัวอย่างชิ้นงานทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ตาม มอก. 219-2552 เรื่องแผ่นยิปซัม [16] มาตรฐาน ASTM C177 [17] ประกอบด้วย การทดสอบแรงกดแตกตามยาวและตามขวาง การแ่นตัว การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น สัมประสิทธิ์การนำความร้อน และแรงต้านทานการดึงตะปู ที่อายุการบ่มในอากาศที่ 28 วัน ที่อุณหภูมิ 28-30 องศาเซลเซียส และความชื้นเท่ากับ 53-56 % โดยใช้ตัวอย่างการทดสอบ จำนวน 5 ตัวอย่างต่ออัตราส่วน



รูปที่ 1. การยอยผักตบชวา



รูปที่ 2. การทำแห้งด้วยการตากแดดของเส้นใยผักตบชวา



รูปที่ 3. เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM)

3) เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบตัวอย่างในการทดสอบต่าง ๆ ได้ทำการทดสอบตามขั้นตอนที่มาตรฐานกำหนดโดยการทดสอบในด้านการรับแรงกดแตก การต้านทานการดึงตะปูโดยใช้เครื่องทดสอบ (Universal Testing Machine :UTM) ดังรูปที่ 3 การทดสอบการนำความร้อนได้นำตัวอย่างส่งไป

ทดสอบ ณ ศูนย์ทดสอบมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน การทดสอบการดูดซึมน้ำทำการทดสอบโดยการนำชิ้นตัวอย่างไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักก่อนนำไปอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการชั่งน้ำหนักหลังการอบดังแสดงในรูปที่ 4 และคำนวณค่าดังสมการที่ 1 การทดสอบความหนาแน่นทำโดยนำชิ้นตัวอย่างชั่งน้ำหนัก และวัดขนาดของชิ้นตัวอย่าง กว้างXยาวXสูง แล้วนำมาคำนวณค่าดังสมการที่ 2 และการทดสอบค่าการแอ่นตัวทดสอบโดยการนำชิ้นวางบน Support 2 ข้าง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5 แล้วทำการวัดค่าทุก ๆ 6 ชั่วโมงเป็นเวลา 1 สัปดาห์จนค่าคงที่

2.3 การทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างแผ่นผ้าเพดาน

การทดสอบแผ่นผ้าเพดานผสมเส้นใยผักตบชวาเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมใช้ในการพัฒนาแผ่นผ้าเพดาน โดยการนำน้ำประปาผสมสารเร่งการก่อตัวเข้าด้วยกันอย่างสม่ำเสมอ ตาม มอก. 219-2552 เรื่อง แผ่นยิปซัม [16] มาตรฐาน ASTM C 177 [17] และมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยแรงกดแตก ดังแสดงในรูปที่ 6 และคำนวณค่าดังในสมการที่ 3 แรงต้านทานการดึงตะปู แสดงดังรูปที่ 7 สามารถคำนวณค่าดังในสมการที่ 4 การแอ่นตัว การดูดซึมน้ำ ประกอบด้วย อัตราการดูดซึมน้ำ อัตราการดูดซึมน้ำที่ผิว ความหนาแน่น และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นผ้าเพดานผสมเส้นใยผักตบชวา ที่อายุการบ่ม 28 วัน โดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนนั้นคำนวณค่าดังสมการที่ 5 ซึ่งใช้ตัวอย่างทดสอบจำนวน 5 ตัวอย่างต่ออัตราส่วนต่อการทดสอบ (กรณีการทดสอบที่ต้องตัดชิ้นทดสอบให้ดำเนินการตัดบริเวณกึ่งกลาง ซ้ายบน ขวบน ซ้ายล่าง และขวาล่างของแผ่นตัวอย่าง) แสดงดังรูปที่ 8 ซึ่งในการขึ้นรูปตัวอย่างการทดสอบได้มีการนำสีมาผสมในตัวอย่างเพื่อความสวยงามแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 4. การอบตัวอย่างเพื่อทดสอบการดูดซึมน้ำ



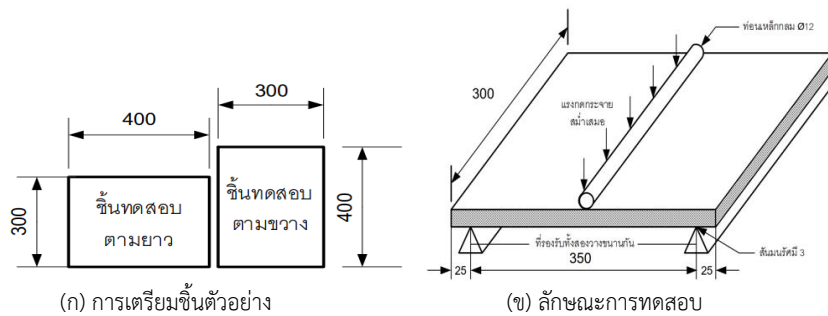
รูปที่ 5. การทดสอบการแอ่นตัว



รูปที่ 6. การทดสอบแรงกดแตก (มิลลิเมตร)



รูปที่ 7. การทดสอบแรงต้านทานการดัดงอ



รูปที่ 8. การตัดชิ้นตัวอย่างตามมาตรฐาน



รูปที่ 9. รูปแผ่นผ้าเปตานผสมเส้นใยผักตบชวาผสมสีเพื่อความสวยงาม

2.4 จากขั้นตอนในการทดสอบค่าต่าง ๆ สามารถนำมาคำนวณหาค่าดังสมการที่ใช้ในการทดสอบดังนี้

2.4.1 สมการการดูดซึมน้ำ

$$MA = MC - MD / MD \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ MA คือ เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)

MC คือ มวลของวัสดุเปียก (kg)

MD คือ มวลของวัสดุที่แห้ง (kg)

2.4.2 สมการหาความหนาแน่น

$$p = m / v \quad (2)$$

เมื่อ p คือ ความหนาแน่น (g/cm³)

m คือ มวลของวัสดุ (kg)

v คือ ปริมาตรของวัสดุ (cm³)

2.4.3 สมการหาค่าแรงกดแตก

$$\sigma_b = P / A \quad (3)$$

เมื่อ σ_b คือความเค้นกดหรือหน่วยแรงกดที่เกิดขึ้น (N)

P คือแรงกระทำที่มีทิศทางตั้งฉากกับผิวสัมผัส (N)

A คือพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัตถุสองชิ้น (cm²)

2.4.4 สมการหาแรงดึงตะปู

$$\sigma_t = P/A \quad (4)$$

เมื่อ σ_t คือความเค้นดึงหรือหน่วยแรงกดที่เกิดขึ้น (N)

P คือแรงดึงในแนวแกนของวัตถุ (N)

A คือพื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่ระนาบตั้งฉากกับวัตถุตามทิศทางของแรงดึง (cm^2)

2.4.5 สมการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

$$K = Q/A \cdot L/\Delta T \quad (5)$$

เมื่อ K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m-K)

Q คือ ความร้อนที่ไหลผ่านต่อพื้นที่ผิว (W)

L คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ (m)

A คือ พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน (m^2)

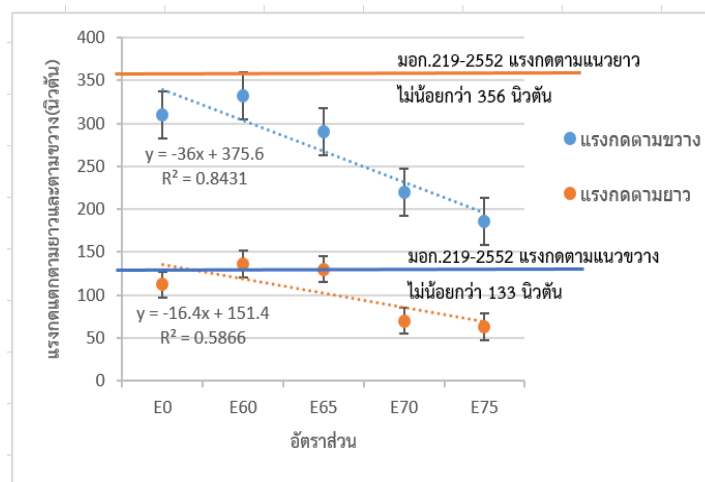
ΔT คือ อุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างผิววัสดุด้านอุณหภูมิและอุณหภูมิต่ำ (K)

3. ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของผ้าเพดานผสมเส้นใยผักตบชวา ตามมาตรฐาน มอก. 219-2552 เรื่องแผ่นยิปซัม [16] และมาตรฐานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังต่อไปนี้

3.1 แรงกดแตกตามแนวยาวและแนวขวาง

การทดสอบแรงกดแตกของแผ่นผ้าเพดานผสมเส้นใยผักตบชวา ทั้ง 5 อัตราส่วน ในแนวยาวและตามขวาง โดยมีการคำนวณค่า Standard Error (SE) ซึ่งในแต่ละส่วนผสมมีค่า SE เท่ากับ 2.46, 2.81, 3.91, 4.27 และ 1.05 ของแรงกดตามยาว ค่า SE ของแรงกดตามขวาง มีค่าเท่ากับ 3.13, 2.02, 2.12, 1.70 และ 2.74 ตามลำดับ สามารถสรุปผลการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 10

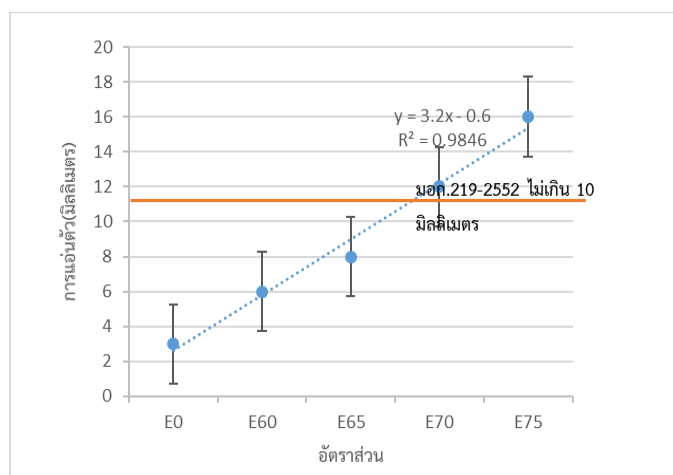


รูปที่ 10. แรงกดแตกของผ้าเพดานผสมเส้นใยผักตบชวาตามแนวยาวและแนวขวาง

จากผลการทดสอบแรงกดแตกยามแนวยาวและแนวขวาง พบว่าอัตราส่วนของผักตบชวาที่มีค่ามากที่สุดสำหรับการทดสอบการรับแรงกดแตก คืออัตราส่วนผสมปูนยิปซัมต่อเส้นใยผักตบชวาเท่ากับ 1:1:0.03:0.60 ลองลงมาคืออัตราส่วน 1:1:0.03:0 อัตราส่วน 1:1:0.03:0.65 และอัตราส่วน 1:1:0.03:0.70 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากผักตบชวามีส่วนที่เป็นเส้นใยเซลลูโลสซึ่งมีความสามารถในการรับแรงดึงได้ดี ทำให้เมื่อผสมลงในยิปซัมจะสามารถช่วยพัฒนาคุณสมบัติด้านทานแรงดึง ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของแรงกดแตกทั้งตามแนวยาวและแนวขวาง อย่างไรก็ตามการเพิ่มเส้นใยผักตบชวาในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ปูนยิปซัมไม่สามารถเชื่อมประสานเส้นใยผักตบชวาและส่วนผสมทั้งหมดให้เป็นผ้าที่แข็งแรงได้ [18] เมื่อเทียบกับ มอก. 219-2552 เรื่องแผ่นยิปซัม [16]

3.2 การแอ่นตัว

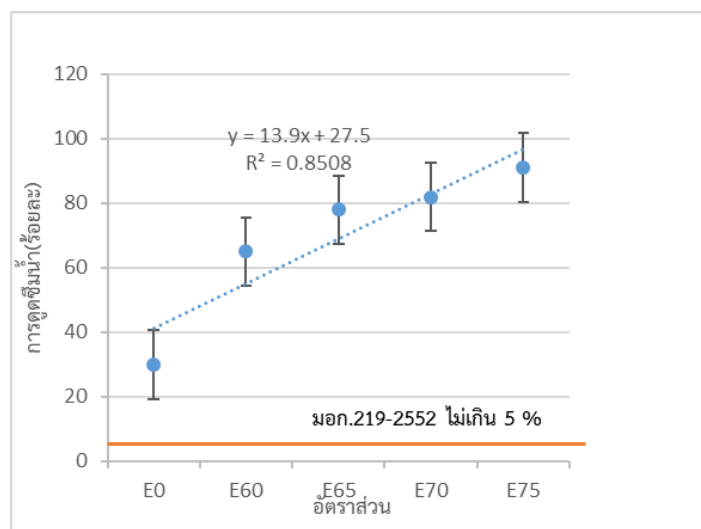
ผลการทดสอบการแอ่นตัวของผ้าเปดานผสมเส้นใยผักตบชวา ตามมาตรฐาน มอก. 219-2552 เรื่องแผ่นยิปซัม [16] ดังแสดงในรูปที่ 11 พบว่าแผ่นผ้าเปดานผสมเส้นใยผักตบชวาในปริมาณน้อย หรือไม่มากจนเกินไป จะมีการแอ่นตัวที่ต่ำกว่าผ้าเปดานที่ไม่ผสมเส้นใยผักตบชวา และแผ่นผ้าเปดานที่ผสมเส้นใยผักตบชวามากกว่าอัตราส่วน 1:1:0.03:0.70 ขึ้นไปมีค่าการแอ่นตัวที่มากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากความสามารถในการรับแรงดึงของเส้นใยผักตบชวา การผสมเส้นใยผักตบชวาในแผ่นผ้าเปดานที่มากเกินไป จะทำให้ความสามารถในการเชื่อมประสานของยิปซัมลดน้อยลง และมีการแอ่นตัวที่มากขึ้น ตามมาตรฐาน มอก. 219-2552 เรื่องแผ่นยิปซัม [16] กำหนดให้การแอ่นตัวไม่เกิน 10 มิลลิเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่า อัตราส่วน 1:1:0.03:0.70 และ 1:1:0.03:0.60 ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนด โดยในการทดสอบค่าการแอ่นตัวนั้น ได้ทำการเก็บตัวอย่างในอัตราส่วนละ 5 ตัวอย่าง และได้คำนวณค่า Standard Error (SE) เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบขึ้นตัวอย่าง ในแต่ละอัตราส่วนผสมมีค่า SE เท่ากับ 0.35, 0.24, 0.31, 0.28 และ 0.22 ตามลำดับ



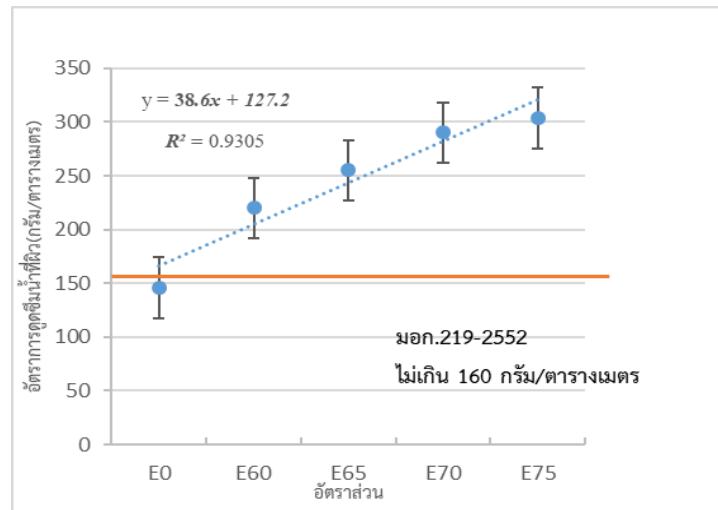
รูปที่ 11. การแอ่นตัวของผ้าเปดานผสมเส้นใยผักตบชวา

3.3 การดูดซึมน้ำ

จากลักษณะของเส้นใยผักตบชวาที่มีช่องว่างเป็นรูพรุนค่อนข้างมาก เมื่อผสมกับยิปซัมเพื่อเป็นแผ่น ฝ้าเพดานจึงทำให้มีผลต่อพฤติกรรมการดูดซึมน้ำของแผ่นฝ้าเพดานผสมเส้นใยผักตบชวาที่เพิ่มมากขึ้นตาม อัตราส่วนผสม ดังแสดงในรูปที่ 12 และ รูปที่ 13 โดยแผ่นฝ้าเพดานที่ไม่มีการผสมเส้นใยผักตบชวาจะมีการดูดซึมน้ำที่ต่ำที่สุด รองมาคืออัตราส่วน 1:1:0.03:0.60, 1:1:0.03:0.65, 1:1:0.03:0.70 และ 1:1:0.03:0.75 เป็นอัตราส่วนที่มีการดูดซึมน้ำได้มากที่สุด ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำที่เกิดขึ้นกับมาตรฐาน มอก. 219-2552 เรื่องแผ่นยิปซัม [16] พบว่า มาตรฐานดังกล่าวจะกำหนดให้แผ่นยิปซัม เฉพาะประเภททน ความชื้น ต้องมีค่าการดูดซึมน้ำ ไม่เกินร้อยละ 5 และอัตราการดูดซึมน้ำที่ผิวไม่เกิน 160 กรัมต่อตารางเมตร ซึ่งแผ่นฝ้าเพดานผสมเส้นใยผักตบชวาทั้งหมดที่พัฒนานั้นมีค่าการดูดซึมน้ำและอัตราการดูดซึมน้ำที่ผิวเกิน จากมาตรฐานกำหนด อย่างไรก็ตาม ฝ้าเพดานผสมเส้นใยผักตบชวาที่พัฒนาขึ้นมานั้น ยังสามารถผลิตเป็น ฝ้าเพดานยิปซัมประเภทไม่ทนความชื้นตามมาตรฐาน มอก. 219-2552 เรื่องแผ่นยิปซัม [16] โดยในการ ทดสอบค่าการดูดซึมน้ำได้ทำการเก็บตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วน 5 ตัวอย่าง และได้คำนวณค่า SE เพื่อหาค่า ความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบขึ้นตัวอย่าง ในแต่ละอัตราส่วนผสมมีค่า SE เท่ากับ 1.14, 2.00, 2.51, 1.92 และ 1.58 และในการทดสอบการดูดซึมน้ำที่ผิว มีค่า SE เท่ากับ 2.12, 8.38, 15.96, 3.70 และ 6.20 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนในอัตราส่วน 1:1:0.03:65 (E65) มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ แตกต่างจากอัตราส่วนอื่น ๆ เกิดจากการ Error ของผลการทดสอบโดยผู้ทดสอบและเครื่องมือที่ใช้



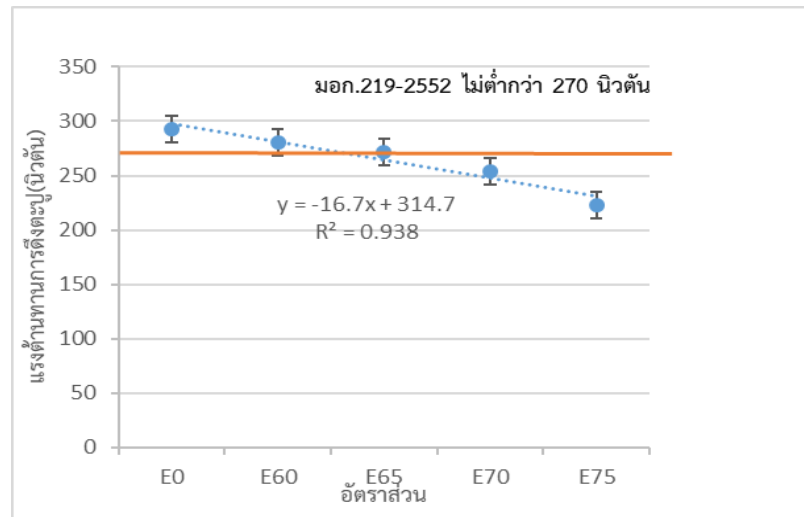
รูปที่ 12. การดูดซึมน้ำของฝ้าเพดานผสมเส้นใยผักตบชวา



รูปที่ 13. การดูดซึมน้ำที่ผิวของผ้าเพดานผสมเส้นใยผักตบชวา

3.4 การต้านทานการดิ่งตะปู

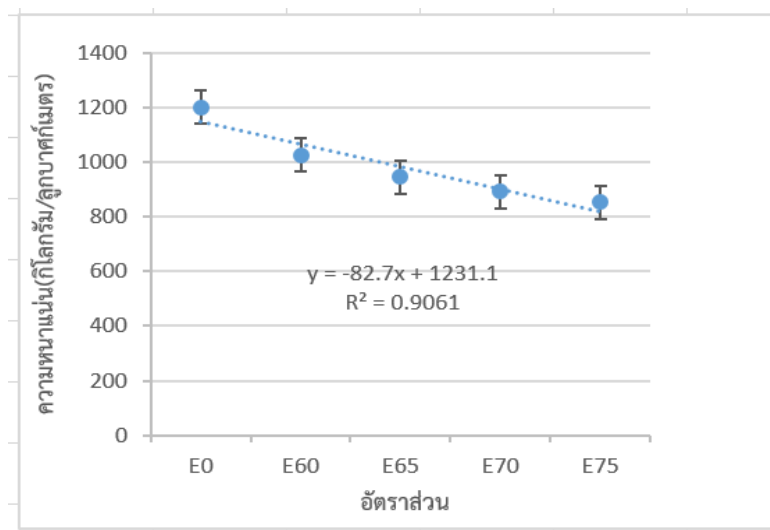
มาตรฐาน มอก. 219-2552 เรื่องแผ่นยิปซัม [16] กำหนดให้แผ่นผ้าเพดาน ต้องรับแรงต้านทานการดิ่งตะปู โดยมีค่าไม่ต่ำกว่า 270 นิวตัน ซึ่งจะช่วยให้แผ่นผ้าเพดานสามารถใช้งานได้อย่างคงทน ดังแสดงในรูปที่ 14 จะเห็นว่าแผ่นผ้าเพดานผสมเส้นใยผักตบชวา อัตราส่วน 1:1:0.03:0, 1:1:0.03:0.60 และ 1:1:0.03:0.65 ทั้ง 3 อัตราส่วน มีเกณฑ์ผ่านตามาตรฐานกำหนด โดยแผ่นผ้าเพดานที่อัตราส่วน 1:1:0.03:0 จะสามารถรับแรงดิ่งตะปูได้มากที่สุด ต่อมาคือ แผ่นผ้าเพดานที่อัตราส่วน 1:1:0.03:0.60, 1:1:0.03:0.65, 1:1:0.03:0.70 และ 1:1:0.03:0.75 ตามลำดับ อัตราส่วนที่รับความต้านทานแรงดิ่งตะปูน้อยกว่ามาตรฐาน ทั้งนี้เป็นผลมาจากเส้นใยผักตบชวาเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นค่อนข้างสูง และมีน้ำหนักเบา ทำให้เมื่อผสมในอัตราส่วนผสมที่มากขึ้น จะทำให้เนื้อของผ้าเพดานมีความหนาแน่นที่น้อยลง จึงมีความต้านทานแรงดิ่งตะปูที่น้อยลง ซึ่งในการทดสอบค่าการต้านทานการดิ่งตะปูได้ทำการเก็บตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วน 5 ตัวอย่าง และได้คำนวณค่า Standard Error (SE) เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบตัวอย่าง ในแต่ละอัตราส่วนผสมมีค่า SE เท่ากับ 2.12, 4.28, 3.21, 2.68 และ 9.42 ตามลำดับ



รูปที่ 14. แรงต้านทานการดึงตลับของผ้าเพดานผสมเส้นใยผักตบชวา

3.5 ค่าความหนาแน่น

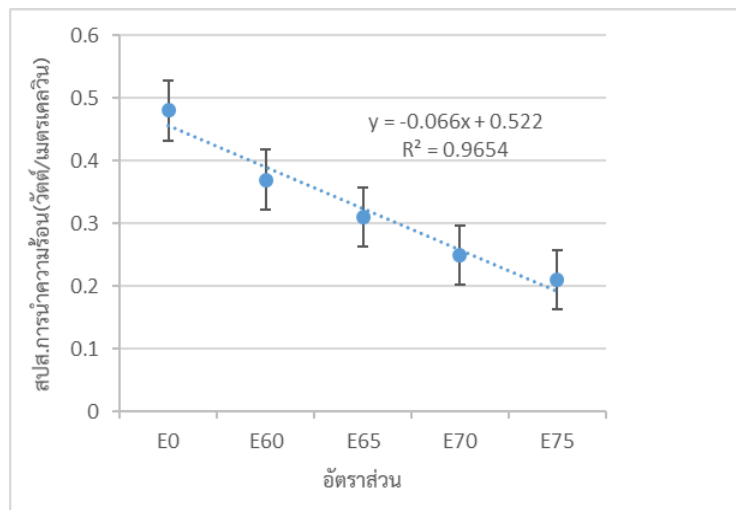
ผลกระทบของปริมาณเส้นใยผักตบชวาเนื่องจากลักษณะของช่องว่างของเส้นใยผักตบชวาที่มีผลต่อความหนาแน่นของแผ่นผ้าเพดานดังแสดงในรูปที่ 15 พบว่า ช่องว่างของเส้นใยผักตบชวาจะมีผลต่อการดูดซึมน้ำแล้ว ยังมีผลต่อค่าความหนาแน่นของแผ่นผ้าเพดานยิปซัมอีกด้วย โดยแผ่นผ้าเพดานที่ไม่ผสมเส้นใยผักตบชวามีความหนาแน่นสูงสุด เท่ากับ 1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ แผ่นผ้าเพดานผสมเส้นใยผักตบชวาที่อัตราส่วน 1:1:0.03:0.60 มีค่าเท่ากับ 1,025 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 1:1:0.03:0.65 มีค่าเท่ากับ 946 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 1:1:0.03:0.70 มีค่าเท่ากับ 892 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 1:1:0.03:0.75 มีค่าความหนาแน่นที่น้อยที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 853 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจากค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุจำพวกเซลลูโลสของเส้นใยผักตบชวาที่มีค่าเพียง 0.6 [19] ในขณะที่ยิปซัมจะมีค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงกว่าซึ่งส่งผลให้แผ่นผ้าเพดานมีน้ำหนักที่เบากว่าแผ่นผ้าเพดานในท้องตลาด และในการทดสอบหาค่าความหนาแน่นได้ทำการเก็บตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วน 5 ตัวอย่าง และได้คำนวณค่า SE เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วนผสมมีค่า SE เท่ากับ 13.33, 2.95, 8.00, 3.97 และ 7.82 ตามลำดับ



รูปที่ 15. ค่าความหนาแน่นของผ้าเพดานผสมเส้นใยผักตบชวา

3.6 สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนเป็นการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นผ้าเพดานที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการป้องกันความร้อนจากหลังคาสู่ภายในตัวอาคาร โดยผลการทดสอบสามารถสรุปผลดังแสดงในรูปที่ 16 พบว่าแผ่นผ้าเพดานที่มีปริมาณเส้นใยผักตบชวา ที่อัตราส่วน 1:1:0.03:0.75 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.21 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน รองลงมาคือ อัตราส่วน 1:1:0.03:0.70 มีค่าเท่ากับ 0.25 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน อัตราส่วน 1:1:0.03:0.65 มีค่าเท่ากับ 0.31 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน อัตราส่วน 1:1:0.03:0.60 มีค่าเท่ากับ 0.37 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน และอัตราส่วน 1:1:0.03:0 มีค่าเท่ากับ 0.48 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน เป็นอัตราส่วนที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากลักษณะของเส้นใยผักตบชวาที่มีช่องว่างมากจึงส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่น้อยลง [20] โดยในการทดสอบได้ทำการเก็บตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วน 5 ตัวอย่าง และได้คำนวณค่า SE เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบตัวอย่าง ในแต่ละอัตราส่วนผสมมีค่า SE เท่ากับ 0.028, 0.022, 0.049, 0.0045 และ 0.0081 ตามลำดับ



รูปที่ 16. ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผ้าเพดานผสมเส้นใยฝักตบชา

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผลจากการหาอัตราส่วนผสมของฝักตบชาเพื่อพัฒนาเป็นผ้าเพดาน ตามมาตรฐาน มอก.219-2552 เรื่องแผ่นยิปซัม [10] สามารถสรุปได้ว่า กระบวนการผลิตแผ่นผ้าเพดานผสมเส้นใยฝักตบชาสามารถขึ้นรูปได้ด้วยวิธีการหล่อขึ้นรูป โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแผ่นผ้าเพดานผสมเส้นใยฝักตบชาที่ผ่านมาตรฐานดังกล่าว ประเภทไม่ทนความชื้น คือ อัตราส่วนปูนยิปซัมต่อน้ำต่อสารโซเดียมซิลิเกตต่อเส้นใยฝักตบชา เท่ากับ 1:1:0.03:0.60 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีคุณสมบัติ ได้แก่ แรงกดแตกตามยาว 332 นิวตันซึ่งมีค่าน้อยกว่ามาตรฐานร้อยละ 7.23 แรงกดแตกตามขวาง 136 นิวตัน มีค่ามากกว่ามาตรฐานร้อยละ 2.26 เนื่องจากผลของการผสมฝักตบชาด้วยยิปซมนั้นก่อให้เกิดช่องว่างในตัวยิปซัมอันเนื่องมาจาก ยิปซัมบางส่วนถูกแทนที่ด้วยฝักตบชาซึ่งทำให้การจับตัวกันของยิปซัมไม่เป็นเนื้อเดียวกันโดยจะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วน 1:1:0.03:0.60 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมฝักตบชาน้อยที่สุดให้กำลังรับแรงกดแตกได้มากกว่าส่วนผสมอื่น ๆ ค่าการแอ่นตัวมีค่าเท่ากับ 6 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าที่ดีกว่ามาตรฐานร้อยละ 4 ส่งผลมาจากเส้นใยของฝักตบชาที่มีความยืดหยุ่นที่สูงจึงทำให้เมื่อผสมฝักตบชาในปริมาณที่มากเกินไปค่าการแอ่นตัวก็มากขึ้นตามไปด้วย เช่น อัตราส่วนผสมที่ 1:1:0.03:0.70 และ 1:1:0.03:0.75 ที่มีค่าเท่ากับ 12 และ 16 ตามลำดับ โดยมีค่ามากกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ไม่เกิน 10 มิลลิเมตร ค่าแรงต้านการดึงตะปูมีค่าเท่ากับ 281 นิวตัน มีค่ามากกว่ามาตรฐานร้อยละ 4 โดยความสามารถในการต้านทานแรงดึงตะปูจะมีค่าอยู่ระหว่าง 223-293 นิวตัน ซึ่งอัตราส่วนผสม 1:1:0.03:0.70 และ 1:1:0.03:0.75 มีค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานเนื่องจากฝักตบชาที่มีความพรุนมากทำให้ค่าความหนาแน่นต่ำจึงมีผลต่อการรับกำลังเมื่อผสมมากเกินไปโดยความหนาแน่นจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของฝักตบชา อัตราส่วน 1:1:0.03:0.60 มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 945 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าเท่ากับ 0.31 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน มีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของฝักตบชา เพราะการเพิ่มขึ้นของฝักตบชาส่งผลให้วัสดุมีความพรุน หน่วน้ำหนักต่ำอีกทั้งฝักตบชาเป็นวัสดุการเป็นฉนวนอยู่แล้ว ดังนั้นจากผลการศึกษาดังกล่าวเหมาะสำหรับการพัฒนา

ต่อยอดเป็นนวัตกรรมด้านวัสดุก่อสร้างซึ่งมีประโยชน์ในการพัฒนาเชิงพาณิชย์ และยังเป็นการพัฒนา ฝ้าย เพดานผสมเส้นใยผักตบชวาให้มีคุณสมบัติผ่านมาตรฐาน มอก. 219-2552 เรื่องแผ่นยิปซัม [10] ประเภท ทนความชื้น และทนไฟ โดยการเพิ่มน้ำยางธรรมชาติ และสารผสมเพิ่มต่าง ๆ เพื่อให้ได้แผ่นฝ้ายเพดานผสม เส้นใยผักตบชวาที่ช่วยในการลดมลพิษทางน้ำ ประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] ดวงจันทร์ เกรียงสุวรรณ. 2555. บทความวิทยุ รายการสาระความรู้ทางการเกษตร คณะทรัพยากร ธรรมชาติมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. [Daungjan KriengSuwan.2012 Agricultural Knowledge Program, Faculty of Natural Truyakorn, Prince of Songkla University Hat Yai Campus (In Thai)]
- [2] ฉัตรวีระ นิมิตยงค์สกุล. 2537. การใช้เส้นใยผักตบชวาเป็นสารเสริมแรงแบบสุ่มในแผ่นหลังคา. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์*, 21(ฉบับพิเศษ 1), 77-92. [Chatveera Nimityongskul. 1994. Use of Water Hyacinth Fiber as Randomly- Oriented Reinforcement in Roofing Sheets, KKU. *Journal of Engineering*, 21(1), 77-92. (In Thai)]
- [3] ชนาทิพย์ จักรกร และสมชาย เจียจิตสวัสดิ์. 2558. ผลิตถนนวนกันความร้อนจากเส้นใยผักตบชวา และน้ำยางธรรมชาติ. *NU วารสารวิทยาศาสตร์นานาชาติ*, 19(2), 59-68. [Chanatip Jaktorn and Somchai Jiajitsawat. 2014. Production of thermal insulator from water hyacinth fiber and natural rubber latex. *NU. International Journal of Science*, 11, 31- 41. (In Thai)]
- [4] อิศรางกูร จันทวงศ์. 2553. การศึกษาสมบัติเชิงกลขององค์ประกอบคอนกรีตมวลเบาที่มีไมโครไฟเบอร์. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*. 19(2), 59-68. [Israngkoon Chantawong. 2010. Study of Mechanical Properties of Autoclaved Aerated Lightweight Concrete Element Containing Microfiber. *Journal of Science Ladkrabang*. 19(2), 59-68. (In Thai)]
- [5] ประโยชน์ผักตบชวา. แหล่งข้อมูล: <http://www.tanud.go.th>. ค้นเมื่อวันที่ 14 กันยายน 2562.
- [6] ถนนวนกันความร้อน. แหล่งข้อมูล: <http://www.rf-m.com/index.php?Lay= show&ac=article&id=538770015>. ค้นเมื่อวันที่ 10 ธันวาคม 2557.
- [7] สุวัฒน์ ปลื้มฤดี . 2551. การพัฒนาคอนกรีตบล็อกจากผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญา สถาปัตยกรรมศาสตร มหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร. [Suwatchai Pleumruedee. 2008. Concrete Block Development from Hyacinth. Master of Architecture Thesis, Department of Architecture, Silpakorn University. (In Thai)]
- [8] พงศ์ศักดิ์ ศรีอำไพ. 2562. ศึกษาคุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มอร์ต้าเส้นใยผักตบชวา. แหล่งข้อมูล: <http://ti-nyurl.com/311-0024Abstract-doc>. ค้นเมื่อวันที่ 10 ธันวาคม 2562.
- [9] กิตติ เต็มมธุรพจน์, โสภา วิศิษฐ์ศักดิ์ และโจเซฟ เคดารี. 2554. การพัฒนาอะลาปาล์มบล็อก น้ำหนักเบาที่มีประสิทธิภาพในการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. [Kitti

- Tommuth, Sopa Wisitsak and Joseph Kedari, 2011. Developed a lightweight palm block shell that is effective in reducing heat entering buildings. Master of Science Thesis in Building Innovation, Faculty of Architecture. Kasetsart University. (In Thai)]
- [10] วรณีย์ เอกศิลป์ และ ชัยรัตน์ บุญถนอมวงศ์. 2557. ประสิทธิภาพฉนวนกันความร้อนของบล็อกคอนกรีตผสมขี้เถ้า, การประชุมวิชาการวิจัยแห่งชาติ ครั้งที่ 1 มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี [Wannee Eksart and Chairat Boonthanomwong. 2014. Thermal Insulator Performance of Water Hyacinth and Sawdust Hollow Concrete Block. Proceedings 1th National Research Conference Rangsit University, Pathumthani. 179-186. (In Thai)]
- [11] ปราโมทย์ วีรานุกูล, กิตติพงษ์ สุวีโร และอิทธิ วีรานุกูล. 2561.ผลิตภัณฑ์แผ่นฝ้าเพดานผสมขุยมะพร้าวที่มีสมบัติความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี*, 16(2), 129- 38. [Pramod Veeranukul, Kittipong Suweero, Itthi Veeranukul. 2018. Coconut coir ceiling board product with thermal insulation property. *Journal of Engineering, RMUTT*. 16(2),129-38. (In Thai)]
- [12] Ohama Y. 1987. Principle of Latex modification and some typical properties of Latex-modified mortars and concretes. *ACI Materials Journal*. 84(45),511-8.
- [13] ปราโมทย์ วีรานุกูล. 2562. ผลิตภัณฑ์แผ่นฝ้าเพดานผสมขุยมะพร้าวที่มีสมบัติความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน สำหรับชุมชนท้องถิ่น. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลแห่งชาติ, ครั้งที่ 11,เชียงใหม่, ศูนย์ประชุมและแสดงสินค้านานาชาติแห่งประเทศไทย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, 244-259 [Pramod Veeranukul . 2019. Coconut coir ceiling board product with water resistance and thermal insulation property for local communities. Proceedings of the 11th National Conference of Rajamangala University of Technology. Chiang Mai, Thailand International Convention and Exhibition Centre. Chiang Mai Rajamangala University of Technology Lanna. 244-259.(In Thai)]
- [14] กิตติพันธ์ บุญโตสิตระกูล 2550. การศึกษาทางกายภาพและทางกลของบล็อกคอนกรีตผสมกับน้ำยางพารา รายงานฉบับเต็ม กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. [Kittiphan Boontositakun. 2007. Study of physical and mechanical of concrete block mixed with Para latex. Full Report. Bangkok: Thailand Research Fund. (In Thai)]
- [15] Ghosh SR, Saikai DC, Goswami T, Chaliha BP and Baruah JN. 1984. Utilization of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) of paper and board making. Proceedings of the International Conference Water Hyacinth. Feb. 7-11; Nairobi:UNEP. 436-460.
- [16] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) 2552.มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฉบับที่ 219- 2552. ยิปซัมบอร์ด. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) [Thai Industrial Standards Institute (TISI). 2009. Thai Industrial Standard No. 219- 2009. Gypsum Board. Bangkok: Thai Industrial Standards Institute. (In Thai)]

- [17] American Society for Testing and Materials (ASTM). 2012. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia; American Society for Testing and Materials.
- [18] ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และคอนกรีต ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : สมาคมคอนกรีตไทย ACI ร่วมกับ สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย 2555. [Parinya Jindaprasert and Chai Chaturpakkul. cement, Pozzolan, and Concrete. 7 th ed. Bangkok : ACI Partners with Thailand Concrete Association; 2012. (In Thai)]
- [19] Fherty, Keith F. and Williamson, Thomas G. 1995. Wood Engineering and Construction Handbook. 2nd ed, New York. Mc Graw - Hill.
- [20] อนุภา สกุลพานิชย์ พ.ศ. 2559. การพัฒนาฉนวนกันความร้อนสู่อาคารจากขี้ข้าวโพดและน้ำยางธรรมชาติ. วารสาร E-Journal มหาวิทยาลัยศิลปากร 1(9), 1688-1702. [Anupa Sakulpanich. 2016. The Development of Building Thermal Insulation from Corncob and Natural Rubber Latex. Veridian E-Journal, Silpakorn University, 1(9), 1688-1702. (In Thai)]