



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏนครปฐม

Journal of Engineering, RMUTT

ปีที่ 19 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม - มิถุนายน 2564

www.engineer.rmutt.ac.th/journal

Print : ISSN 2730-2148
Online : ISSN 2697-4339

การจัดวางผังคลังบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรมน้ำมันถั่วเหลือง Package Warehouse Layout for Soy Milk Industry	1
• วรพงษ์ มีถน และธัญชนก สุภักดิ์โรมา	
การประยุกต์ใช้ระบบการทำความเย็นแบบระเหยร่วมกับระบบการทำความเย็นแบบอัดไอมาใช้ในโรงเรือนเลี้ยงไหม The Application of Combined Systems Including Evaporative Cooling and Vapor Compression Air Conditioning System for a Silkworm Rearing House	13
• เกษม งามเฟ่ง จักรวาล บุญหวาน ชีโนรา ละอองวรรณ ณัฐกฤษ อัสมี รัตนะชัย ไพบรินทร์ และมนพร กุปดาลา	
การพัฒนาเครื่องกรีดยางผลมะขามป้อมแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยระบบนิวเมติกส์ Development of a Semi-automatic Phyllanthus Emblica Tapping Machine with Pneumatic System	25
• ณัฐชวี สิริวรรณพนธ์ และระนภา สุขชนะ	
การพัฒนาแผงทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบต้นทุนต่ำ Development of a Low-Cost Heat Pipe Solar Thermal Collector	35
• เรวัตน์ เต็มกล้า อนิรุทธ์ มหาจักร และธนรัฐ ศรีวีระกุล	
การเพิ่มประสิทธิภาพการย้อมสีไดเร็กต์บนผ้าฝ้ายด้วยโอโซน Improvement of Dyeing Efficiency of Direct Dyes on Cotton Fabric with Ozone	47
• พีชิตพล เจริญกรนิยานันท์ รวีภา ธรรมรงค์ และธนวัฒน์ สิกข์ประสงค์	
การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกใช้ผู้ประกอบการขนส่งสินค้า ในจังหวัดชลบุรี A Study on Factors Influencing Decision-making for Choosing Cargo Transportation Servicers in Chonburi Province	55
• พิชรา ศรีพระบุญ และเบญจมา ช่างบุญหล่อ	
ผลกระทบของการใช้ซีโอไลท์สังเคราะห์ต่อความต้านทานคลอไรด์และกำลังอัดของคอนกรีต Effect of Using Synthetic Zeolite on Chloride Resistance and Compressive Strength of Concrete	67
• อัญชณา กิจจามนต์ และทวิชัย สำราญวานิช	
ผลกระทบของระบบวัสดุประสานสองชนิดและสามชนิดของบอร์คาร์ที่ผสมแก๊สออกซิเจน ฟอสฟอรัสและสารขยายตัวต่อความต้านทานคลอไรด์ Effects of Binary and Ternary Binder Systems of Mortar with Fly Ash, Limestone Powder, and Expansive Additive on Chloride Resistance	79
• สีน่า ปรีกษ์ และทวิชัย สำราญวานิช	
ผลของอุณหภูมิในการแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ข้าวห่อใบบัว Effect of Freezing Temperature on Quality of Rice Wrapped Lotus Leaf Product	91
• สุณีน ปานสาคร และจตุรงค์ สังกาพันธ์	
ระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเติมเงินผ่าน RFID ควบคุมด้วย Arduino Uno R3 Prepaid Electric Energy Consumption System via RFID Controlled By Arduino Uno R3	103
• สุรินทร์ ไหมงงาม จักรี รัชชิตาย ศศิวรรณ อ้นรองค์ ธนาวิทย์ ไปรยเจริญ และธนภัทร เทศสวัสดิ์	
การพัฒนาแผ่นยิปซัมบอร์ดจากกากพืชบดเวลาสำหรับวิสาหกิจชุมชน Development of Water Hyacinth Gypsum Board for Community Enterprise	113
• กิตติพันธ์ บุญโตสิทธกุล ปราโมทย์ วิธานกุล วิฑาร ตีปัญญา และกิตติพงษ์ สุวีริส	
การพัฒนาแผ่นขึ้นไม้จากเปลือกไม้กระถินณรงค์เพื่อใช้ในงานวัสดุตกแต่ง Development of Particleboard from Northern Black Wattle Tree Bark for Using as Decorative Materials	125
• ภกวัต เกษประสิทธิ์ ปราโมทย์ วิธานกุล กิตติพร ม่วงพริบ อธิวิ วิธานกุล และกิตติพงษ์ สุวีริส	
การศึกษาเปรียบเทียบผลการตกแต่งด้วยกระบวนการพ่นบนผ้าแบบสองขั้นตอนของสารยึดติดพอลิยูรีเทนพ่นทับด้วย สารละลายอนุภาคไมโครซิลิกาไทยและอนุภาคไมโครซิลิกาไทยอีริ บนผ้าฝ้ายทอลายขัด A Comparative Study on Finishing Process Results using Two Steps Spraying Method by Coating Polyurethane Binder Sprayed Over with Micro-Thai Silk Particle Solutions and Micro-Eri Silk Particle Solutions on Plain Cotton Woven Fabrics	137
• ลุกฤษฏี กรีนสูงเนิน และอภิชาติ สนธิสมบัติ	

การพัฒนาแผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวาสำหรับวิสาหกิจชุมชน

กิตติพันธ์ บุญโตสิทธะกุล^{1*} ปราโมทย์ วีรานุกูล¹ วิหาร ตีปัญญา² และกิตติพงษ์ สุวีโร³

kittiphan.b@mutp.ac.th¹, pramot.w@mutp.ac.th¹, wiham.d@mutp.ac.th², kittipong.s@en.mutt.ac.th³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

² สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

³ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Received : 16-Dec-2020
Revised : 17-May-2021
Accepted : 24-May-2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวา ทำการออกแบบส่วนผสมของแผ่นยิปซัม จำนวน 9 อัตราส่วน ประกอบด้วย แผ่นยิปซัมผสมเส้นใยผักตบชวา จำนวน 3 อัตราส่วน แผ่นยิปซัมผสมเส้นใยผักตบชวาและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จำนวน 3 อัตราส่วน แผ่นยิปซัมผสมเส้นใยผักตบชวา ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และน้ำยาล้างจานชนิดฟรีวัลคาไนซ์ จำนวน 3 อัตราส่วน ขึ้นรูปด้วยการเทหล่อในแบบ ทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน มอก.219-2552 (ประเภทไม้ทนความชื้น) จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า การผสมผักตบชวาในปริมาณที่เหมาะสมลงในแผ่นยิปซัมมีผลทำให้สมบัติด้านความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีแนวโน้มลดลง และทำให้สมบัติด้านแรงกดแตก และแรงต้านทานการดึงตะปู มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนของแผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวาที่เหมาะสมและมีสมบัติผ่านตามที่มาตรฐานกำหนด คือ แผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวาที่มีส่วนผสมของยิปซัมปาสเตอร์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท1 เส้นใยผักตบชวา น้ำยาล้างจานชนิดฟรีวัลคาไนซ์ สารลดแรงดึงผิวชนิดไม่มีประจุ และน้ำประปา ในอัตราส่วนเท่ากับ 0.75: 0.25: 0.0075: 0.05: 0.003: 1 ส่วนโดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยมีสมบัติ ได้แก่ ความหนาแน่น 896.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำร้อยละ 51.70 การดูดซึมน้ำที่ผิว 219.58 กรัมต่อตารางเมตร แรงกดแตกตามยาว 653.50 นิวตัน แรงกดแตกตามขวาง 384.41 นิวตัน แรงต้านการดึงตะปู 422.37 นิวตัน การแอนตัว 4.48 มิลลิเมตร และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.195 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน แผ่นยิปซัมดังกล่าวสามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับแผ่นยิปซัมทั่วไปและวิสาหกิจชุมชนสามารถผลิตได้

คำสำคัญ: แผ่นยิปซัม ผักตบชวา การดูดซึมน้ำ ฉนวนป้องกันความร้อน น้ำยาล้างจาน

Development of Water Hyacinth Gypsum Broad for Community Enterprise

Kittiphan Boontositrakul^{1*}, Pramot Weeranukul¹, Wiham Deepanya² and Kittipong Suweero³
kittiphan.b@mutp.ac.th¹, pramot.w@mutp.ac.th¹, wiham.d@mutp.ac.th², kittipong.s@en.mutt.ac.th³

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

² Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

³ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Received	: 16-Dec-2020
Revised	: 17-May-2021
Accepted	: 24-May-2021

Abstract

This research aims to develop the gypsum boards from water hyacinth for community enterprise. The 9 ratios of mixture were design which included 3 ratios of water hyacinth gypsum boards, 3 ratios of water hyacinth gypsum boards mixed with Portland cement type 1, 3 ratios of water hyacinth gypsum boards mixed with Portland cement type 1 and pre vulcanized latex. These gypsum boards were casted in molds and were tested by using the TIS.219-2009 (No moisture resistant property type). According to the results, the proper volume of water hyacinth in gypsum boards effected to decrease the density, water absorption, and thermal conductivity properties of gypsum boards and also increase the breaking strength, and nail withdrawal properties of gypsum boards. The 0.75: 0.25: 0.0075: 0.05: 0.003: 1 by weight of gypsum plaster: Portland cement type 1: water hyacinth: pre vulcanized latex: non-ionic surface active agent: water ratio was the suitable ratio and passed the standard. It had the properties included 896.30 kg/m³ of density, 51.70 % of water absorption, 219.58 g/m² of surface water absorption, 653.50 N of longitudinal breaking strength, 384.41 N of transverse breaking strength, 4.48 mm of deflection, and 0.195 watt/m.K of thermal conductivity. And this gypsum board was used as same as the common gypsum board and was able to produce by local communities.

Keywords: gypsum board, water hyacinth, water absorption, thermal insulation, Para latex

1. บทนำ

แผ่นยิปซัม หรือแผ่นยิปซัมบอร์ด (gypsum board) เป็นวัสดุก่อสร้างที่นิยมนำไปกั้นผนังห้องและติดตั้งเป็นแผ่นฝ้าเพดานภายในอาคาร เนื่องจากน้ำหนักเบา ต้นทุนต่ำ ตัดและติดตั้งง่าย และผลิตได้ภายในชุมชนท้องถิ่น (local community) แผ่นยิปซัมบอร์ดนี้มีปัญหาการทนความชื้นที่ไม่ดีของเนื้อยิปซัมและกระดาษ รวมทั้งการฟุ้งกระจายของเส้นใยแก้ว (glass fiber) เมื่อแผ่นยิปซัมเกิดการชำรุด [1] ผู้บริโภคจึงหันมาเลือกใช้งานแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่มีการดูดซึมน้ำต่ำ แต่มีราคาแพง น้ำหนักมาก และเจาะตัวยากกว่าแผ่นยิปซัมบอร์ดแทน อย่างไรก็ตามแผ่นซีเมนต์บอร์ดเป็นวัสดุที่ไม่สามารถผลิตได้ภายในชุมชนท้องถิ่น เนื่องจากต้องผลิตด้วยเครื่องจักรขนาดใหญ่ ทำให้แผ่นยิปซัมบอร์ดเป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับวิสาหกิจชุมชนมากกว่าแผ่นซีเมนต์บอร์ด

การแก้ไขปัญหาคือของแผ่นยิปซัมบอร์ดให้ทนความชื้นมากขึ้น สามารถทำได้โดยการปรับปรุงส่วนผสมด้วยการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และยางพาราที่มีความหนืด [2-5] ลงในส่วนผสม และเปลี่ยนเส้นใยแก้วเป็นเส้นใยผักตบชวา (water hyacinth fiber) ซึ่งเป็นวัชพืชน้ำที่ขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว และสร้างปัญหาด้านน้ำเสียให้แหล่งน้ำ โดยผักตบชวา 1 ตัน อาจขยายพันธุ์ได้มากถึง 1,000 ตัน ภายในระยะ 1 เดือน [6] เส้นใยผักตบชวาเป็นเส้นใยเซลลูโลส (cellulose fiber) ที่มีโมเลกุลสายยาวซ้ำ ยึดเกาะด้วยพันธะ C-O-C ในหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จับกับหมู่ธาตุอื่นๆ เรียงตัวเป็นระเบียบ (crystalline) และระหว่างสายโมเลกุลมีการยึดด้วยพันธะไฮโดรเจน เป็นระยะๆ จึงมีความเหนียว แข็งแรง และน้ำหนักเบา [7]

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวาสำหรับวิสาหกิจชุมชน ซึ่งจะช่วยลดปัญหาปริมาณผักตบชวาที่แพร่พันธุ์อยู่ในแหล่งน้ำต่างๆ รวมทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่า ทั้งนี้แผ่นยิปซัมบอร์ดที่พัฒนาจะต้องผลิตได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ ทำให้สามารถผลิตได้ในวิสาหกิจชุมชน ช่วยสร้างงานและรายได้ให้แก่ชุมชน

2. วัสดุและอุปกรณ์

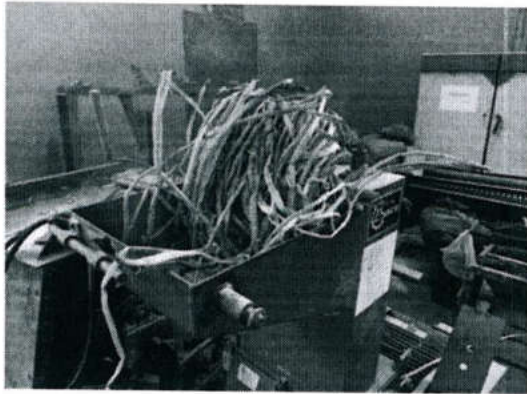
วัสดุและอุปกรณ์ ประกอบด้วย ปูนยิปซัมปาสเตอร์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ก้านผักตบชวาแห้ง น้ำยางพาราชนิดพรีวัลคาไนซ์ ซึ่งมีส่วนผสมดังตารางที่ 1 สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ น้ำประปา กระดาษเหนียว เครื่องผสมคอนกรีต เครื่องบดย่อยเส้นใย เครื่องชั่งน้ำหนักแบบหล่อ ขนาด 60 x 60 x 1.5 เซนติเมตร ชุดทดสอบความหนาแน่น ความชื้น และการดูดซึมน้ำที่ผิว เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine, UTM) เครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope; SEM)

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของน้ำยางพาราชนิดพรีวัลคาไนซ์

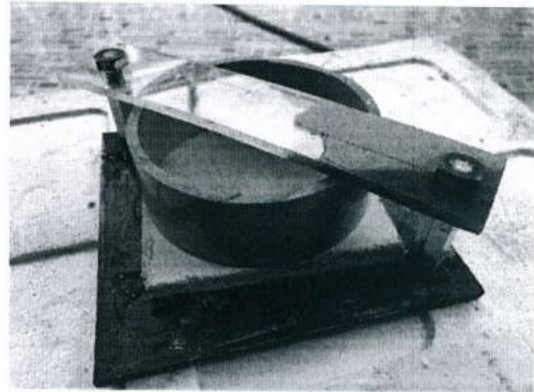
ส่วนผสม	ส่วนโดยน้ำหนักเปียก
น้ำยางธรรมชาติชั้น ร้อยละ 60 รักษาด้วยแอมโมเนียสูง	167.0
สารละลายเคซีน (casein) (10%)	5.0
สารช่วยความเสถียร (nonionic stabiliser) (25%)	2.0
โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (10%)	2.5
ซิงค์ออกไซด์ (50%)	2.0
เตตระเมทิลไทยยูเรมไดซัลไฟด์ (TMTD) (33%)	9.0
ซิงค์ดีบุกไดโทโอคาร์บาเมต (ZDBC) (50%)	2.0
สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (10%)	10.0

3. การออกแบบส่วนผสม

ออกแบบอัตราส่วนผสมของแผ่นยิปซัมประเภททั่วไป ประกอบด้วย ยิปซัมปาสเตอร์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เส้นใยผักตบชวา น้ำยางพาราชนิดพรีวัลคาไนซ์ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ และน้ำประปา จำนวน 9 อัตราส่วน ดังตารางที่ 2



รูปที่ 1 การย่อยและคัดขนาดเส้นใยจากก้านผักตบชวา



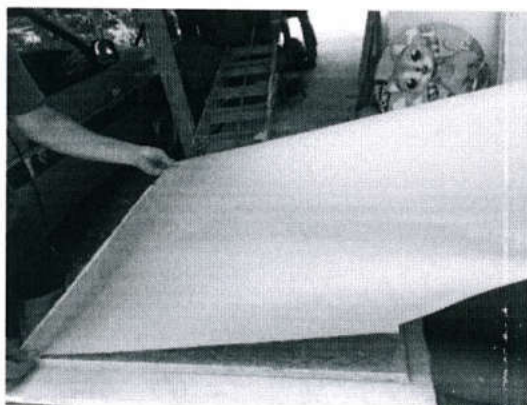
รูปที่ 4 อุปกรณ์ทดสอบการดูดซึมน้ำที่ผิว



รูปที่ 2 เส้นใยจากก้านผักตบชวาที่ผ่านการบดย่อยแล้ว

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของแผ่นยิปซัมบอร์ดผสมปิดเส้นใยผักตบชวา (โดยน้ำหนัก)

สัญลักษณ์	ยิปซัม	ปูนซีเมนต์	ผักตบชวา	น้ำยารักษา	สารลดแรงตึงผิว	น้ำประปา
G-0	1	-	-	-	-	1
G-75	1	-	0.0075	-	-	1
G-150	1	-	0.0150	-	-	1
GC-0	0.75	0.25	-	-	-	1
GC-75	0.75	0.25	0.0075	-	-	1
GC-150	0.75	0.25	0.0150	-	-	1
GCP-0	0.75	0.25	-	0.05	0.003	1
GCP-75	0.75	0.25	0.0075	0.05	0.003	1
GCP-150	0.75	0.25	0.0150	0.05	0.003	1

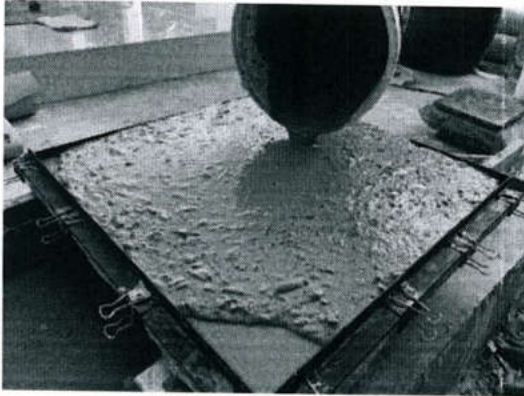


รูปที่ 3 กระดาษเหนียว

4. การขึ้นรูปตัวอย่างแผ่นยิปซัมบอร์ด

เริ่มจากการนำก้านผักตบชวาแห้ง (ความชื้นไม่เกินร้อยละ 10) มาย่อยขนาดผ่านตะแกรงขนาด 1 นิ้ว และมีความยาวไม่เกิน 5 เซนติเมตร ได้เส้นใยผักตบชวา ทำการตวงส่วนผสมทั้งหมดตามที่ออกแบบในตารางที่ 2 แล้วทำการผสมของเหลวให้เข้ากันตามอัตราส่วนที่ออกแบบ เช่น น้ำยารักษาชนิดพรีวัลคาไนซ์ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ และน้ำประปา จากนั้นจึงผสมปูนยิปซัมปาสเตอร์ ปูนซีเมนต์ประเภท 1 และเส้นใยผักตบชวา ให้เข้ากัน พร้อมทั้งเติมของเหลวลงในส่วนผสมตามอัตราส่วนที่ออกแบบ ผสมจนส่วนผสมเข้ากัน เตรียมแบบหล่อให้สะอาดอยู่ในแนวระนาบ และทาน้ำมันหล่อลื่น ทำการเทส่วนผสมทั้งหมดลงในแบบหล่อ และแต่งผิวหน้าของแผ่นยิปซัมให้เรียบ ทั้งนี้ระยะเวลาที่ใช้ในการผสมจนถึงส่วนผสมที่ผสมจนเข้ากันแล้วลงในแบบหล่อและแต่งผิวหน้าของแผ่นยิปซัมควรใช้ระยะเวลาไม่เกิน 10 นาที เนื่องจากส่วนผสมจะเริ่มมีการก่อ

ตัว จากนั้นบ่มแผ่นยิปซัมในอากาศตามระยะเวลาที่กำหนด ได้แก่ 7, 14, 21 และ 28 วัน ก่อนนำไปติดแผ่นกระดาษ เหนียวเช่นเดียวกับแผ่นยิปซัมบอร์ดทั่วไป



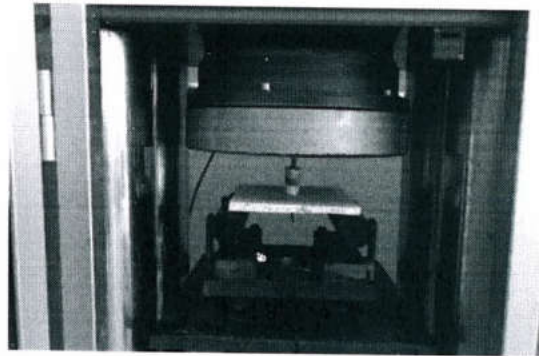
รูปที่ 5 การเทส่วนผสมทั้งหมดให้เต็มแบบหล่อ

5. การทดสอบสมบัติของตัวอย่างแผ่นยิปซัมบอร์ด

ทดสอบสมบัติของแผ่นยิปซัมตามมาตรฐาน มอก. 219-2552 เรื่องแผ่นยิปซัม [8] และมาตรฐาน ASTM C 177 [9] ประกอบด้วย แรงกดแตกตามยาวและขวาง แรงด้านการดึงตะปู การแอนตัว ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำที่ผิว การดูดซึมน้ำ และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยใช้จำนวนตัวอย่างทดสอบ 5 ตัวอย่างต่อค่าการทดสอบแต่ละค่า



รูปที่ 6 การทดสอบแรงกดแตกของแผ่นยิปซัม



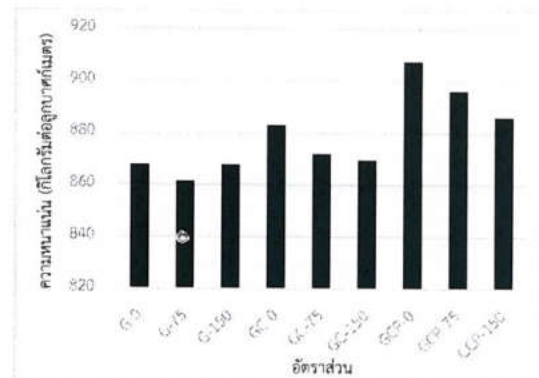
รูปที่ 7 การทดสอบแรงด้านการดึงตะปูของแผ่นยิปซัม

6. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการทดสอบสมบัติของแผ่นยิปซัมบอร์ดที่พัฒนา ตามมาตรฐาน มอก.219-2552 เรื่องแผ่นยิปซัม [8] และมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังต่อไปนี้

6.1 ผลการทดสอบความหนาแน่น

ผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นยิปซัมบอร์ดทั้ง 9 อัตราส่วน สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 8



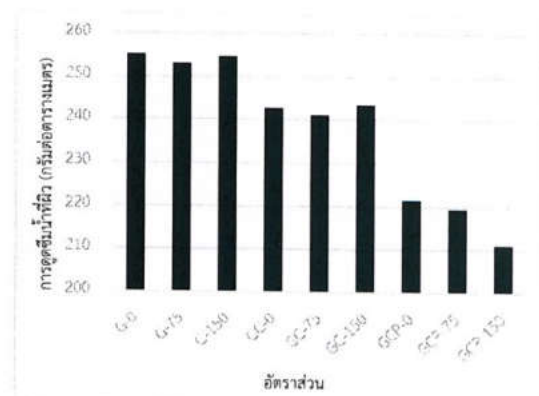
รูปที่ 8 ความหนาแน่นของแผ่นยิปซัมบอร์ด ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นยิปซัมบอร์ดในรูปที่ 8 พบว่า แผ่นยิปซัมบอร์ดที่ผสมน้ำยิปซัม และไม่ผสมเส้นใยผักตบชวา (อัตราส่วน GCP-0) เป็นแผ่นยิปซัมอัตราส่วนที่มีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด (907.52 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) รองลงมาคือ อัตราส่วน GCP-75 (896.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) อัตราส่วน GCP-150 (886.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) อัตราส่วน GC-0

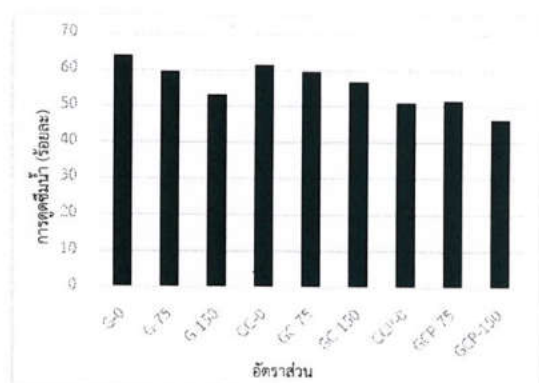
(883.07 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) อัตราส่วน GC-75 (871.90 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) อัตราส่วน GC-150 (869.52 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) อัตราส่วน G-0 (867.71 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) อัตราส่วน G-150 (867.69 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และอัตราส่วน G-75 (861.45 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) เป็นอัตราส่วนแผ่นยิปซัมที่มีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุด ตามลำดับ จากความหนาแน่นดังกล่าวทำให้เห็นได้ว่าการผสมเส้นใยผักตบชวาลงในแผ่นยิปซัมเพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นที่ลดลง เนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะของเส้นใยผักตบชวาที่ผสมลงในแผ่นยิปซัมเป็นวัสดุจำพวกเซลลูโลสซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเพียง 0.6 ในขณะที่เนื้อของแผ่นยิปซัมที่เป็นยิปซัมพลาสติกมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.2 – 2.4 [1, 10-11] ส่วนการปรับปรุงเนื้อของแผ่นยิปซัมปกติ (อัตราส่วน G) ด้วยปูนซีเมนต์ประเภท1 (อัตราส่วน GC) และด้วยปูนซีเมนต์ประเภท1 และน้ำยารักษาผิวพลาสติก (อัตราส่วน GCP) พบว่าการปรับปรุงเนื้อของแผ่นยิปซัมโดยแทนที่ด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท1 ส่งผลให้ความหนาแน่นของแผ่นยิปซัมเพิ่มขึ้น เนื่องจากปูนซีเมนต์ประเภท1 เป็นวัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 ซึ่งสูงกว่าค่าความถ่วงจำเพาะของยิปซัมพลาสติก [2, 12] ส่วนการปรับปรุงเนื้อของแผ่นยิปซัมด้วยปูนซีเมนต์ประเภท1 ร่วมกับผสมน้ำยารักษาผิวพลาสติก (อัตราส่วน GCP) ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของแผ่นยิปซัมที่เพิ่มสูงขึ้นมากที่สุด เป็นผลมาจากการแทรกตัวของน้ำยารักษาผิวในเนื้อของแผ่นยิปซัมที่ช่วยทำให้เนื้อยิปซัมมีความแน่นมากขึ้น นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นของยางพารามีค่า 900 ถึง 1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสูงกว่าความหนาแน่นของแผ่นยิปซัมปกติ (อัตราส่วน G-0) [3, 13]

6.2 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำที่ผิวและการดูดซึมน้ำ

จากการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวและการดูดซึมน้ำของแผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวาอัตราส่วนต่างๆ ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลได้ดังรูปที่ 9 และ 10



รูปที่ 9 การดูดซึมน้ำที่ผิวของแผ่นยิปซัมบอร์ด ที่อายุการบ่ม 28 วัน



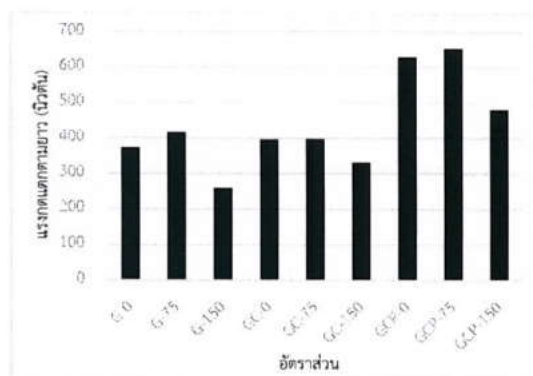
รูปที่ 10 การดูดซึมน้ำของแผ่นยิปซัมบอร์ด ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากผลทดสอบค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวและการดูดซึมน้ำในรูปที่ 9 และ 10 พบว่า แผ่นยิปซัมบอร์ดที่ไม่ผสมเส้นใยผักตบชวาอัตราส่วน G-0 เป็นแผ่นยิปซัมที่มีการดูดซึมน้ำสูงที่สุด (ร้อยละ 64.10) รองลงมาคือ อัตราส่วน GC-0 (ร้อยละ 61.49) อัตราส่วน G-75 (ร้อยละ 59.67) อัตราส่วน GC-75 (ร้อยละ 59.64) อัตราส่วน GC-150 (ร้อยละ 56.95) อัตราส่วน G-150 (ร้อยละ 53.30) อัตราส่วน GCP-75 (ร้อยละ 51.70) อัตราส่วน GCP-0 (ร้อยละ 51.21) และอัตราส่วน GCP-150 เป็นอัตราส่วนแผ่นยิปซัมที่มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด (ร้อยละ 46.48) ตามลำดับ จากผลการดูดซึมน้ำดังกล่าวทำให้เห็นว่าการผสมเส้นใยผักตบชวาสามารถลดค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นยิปซัมลง เนื่องจากการเตรียมเส้นใยผักตบชวาใช้การบดย่อยทางกล ทำให้เส้นใยยังคงมีการจับตัวกันอยู่ค่อนข้างแน่น เมื่อนำมาแช่น้ำเส้นใยที่แทรกอยู่ใน

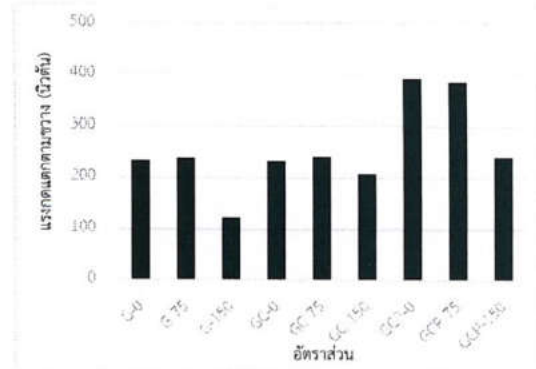
เนื้อของแผ่นยิปซัมจึงอาจช่วยลดการดูดซึมน้ำเข้าภายในเนื้อของแผ่นยิปซัมที่มีความพรุนของเนื้อค่อนข้างมากได้ หากพิจารณาในภาพรวมทำให้เห็นได้ว่าแผ่นยิปซัมผสมเส้นใยผักตบชวาที่มีการเพิ่มน้ำอย่างพาราลงไปในส่วนผสม (อัตราส่วน GCP) มีแนวโน้มของค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำที่สุด เนื่องจากยางพาราเป็นวัสดุที่มีความทึบน้ำ ทำให้การแทรกตัวของยางพาราดังกล่าวสามารถลดการดูดซึมน้ำได้ดี [3-5, 13] อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำที่เกิดขึ้นกับมาตรฐาน มอก.219-2552 เรื่องแผ่นยิปซัม ซึ่งกำหนดให้แผ่นยิปซัม (เฉพาะประเภททนความชื้น) ต้องมีค่าการดูดซึมน้ำที่ผิวไม่เกิน 160 กรัมต่อตารางเมตร และการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 5 [8] โดยพบว่าแผ่นยิปซัมทุกอัตราส่วนยังคงมีค่าการดูดซึมน้ำและการดูดซึมน้ำที่ผิวเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด ทำให้แผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวานี้ไม่สามารถผ่านมาตรฐานแผ่นยิปซัมประเภททนความชื้น แต่สามารถผ่านมาตรฐานแผ่นยิปซัมประเภทไม่ทนความชื้นได้แทน เนื่องจากไม่มีการกำหนดเกณฑ์ของค่าการดูดซึมน้ำและการดูดซึมน้ำที่ผิวดังกล่าว

6.3 ผลการทดสอบแรงกดแตก

จากการทดสอบแรงกดแตกของแผ่นยิปซัมบอร์ดทั้ง 9 อัตราส่วน ทั้งแนวตามยาวและแนวตามขวาง สามารถสรุปผลได้ดังรูปที่ 11 และ 12



รูปที่ 11 แรงกดแตกตามยาวของแผ่นยิปซัมบอร์ดที่อายุการบ่ม 28 วัน



รูปที่ 12 แรงกดแตกตามขวางของแผ่นยิปซัมบอร์ดที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากผลการทดสอบแรงกดแตกตามยาวและตามขวางในรูปที่ 11 และ 12 พบว่า แผ่นยิปซัมบอร์ดผสมผักตบชวาและน้ำยางพาราอัตราส่วน GCP-75 เป็นแผ่นยิปซัมที่มีค่าแรงกดแตกตามยาวสูงที่สุด (653.50 นิวตัน) รองลงมาคืออัตราส่วน GCP-0 (629.47 นิวตัน) อัตราส่วน GCP-150 (482.20 นิวตัน) อัตราส่วน G-75 (417.55 นิวตัน) อัตราส่วน GC-75 (397.98 นิวตัน) อัตราส่วน GC-0 (396.45 นิวตัน) อัตราส่วน G-0 (374.56 นิวตัน) อัตราส่วน GC-150 (332.74 นิวตัน) และอัตราส่วน G-150 เป็นแผ่นยิปซัมที่มีค่าแรงกดแตกตามยาวต่ำที่สุด (259.45 นิวตัน) ตามลำดับ ส่วนผลการทดสอบแรงกดแตกตามขวางก็มีแนวโน้มใกล้เคียงกับผลการทดสอบแรงกดแตกตามยาว ทั้งนี้จากผลการทดสอบดังกล่าวทำให้เห็นได้ว่า การผสมน้ำยางพาราชนิดพรีวัลคาไนซิ่งลงในแผ่นยิปซัมนอกจากช่วยเพิ่มความทึบน้ำให้แก่แผ่นยิปซัมแล้ว ยังสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงด้านแรงกดแตกหรือความต้านทานแรงดัดได้ ซึ่งเป็นผลมาจากยางพาราเป็นวัสดุที่สามารถรับแรงดึงและแรงดัดได้ดี [3, 13] ส่วนการผสมเส้นใยผักตบชวาซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่สามารถช่วยรับแรงดึงหรือแรงดัดได้ดีนั้น หากทำการผสมในปริมาณที่เหมาะสมมีแนวโน้มช่วยเพิ่มค่าแรงกดแตกให้มากขึ้นได้ แต่การผสมเส้นใยผักตบชวาให้ปริมาณมากเกินไปทำให้ค่าการรับแรงกดลดลงอย่างชัดเจน [1, 14-15] เมื่อเทียบผลการทดสอบดังกล่าวกับมาตรฐาน มอก.219-2552 เรื่องแผ่นยิปซัม [8] ซึ่งกำหนดให้แรงกดตามยาว ต้องไม่น้อยกว่า 620 นิวตัน (ความหนาแผ่นยิปซัม 15 มิลลิเมตร) และแรงกดตามขวาง ต้องไม่น้อยกว่า 260 นิวตัน (ความหนาแผ่นยิปซัม 15 มิลลิเมตร) พบว่ามีเพียงแผ่นยิปซัมบอร์ดจากวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชบัณฑิตยบุรี 119

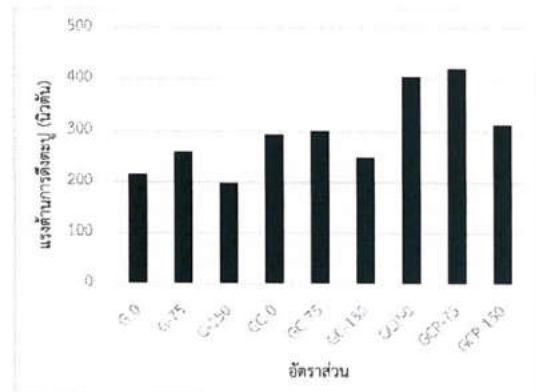
ผักตบชวาที่ผสมน้ำยารักษาในอัตราส่วน GCP-75 และ GCP-0 เท่านั้น ที่สามารถผ่านมาตรฐานดังกล่าวได้

6.4 ผลการทดสอบแรงต้านทานการดึงตะปู

จากผลการทดสอบแรงต้านทานการดึงตะปูของแผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวา ที่อายุการบ่ม 28 วัน ในรูปที่ 13 และมาตรฐาน มอก.219-2552 เรื่องแผ่นยิปซัม [8] ซึ่งกำหนดให้แผ่นยิปซัมต้องรับแรงต้านทานการดึงตะปู ไม่ต่ำกว่า 400 นิวตัน (ความหนาแผ่นยิปซัม 15 มิลลิเมตร) ได้ในวันพบว่า แผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวาที่ผสมน้ำยารักษาในอัตราส่วน GCP-75 และ GCP-0 เพียง 2 อัตราส่วนที่ผ่านเกณฑ์ของสมบัตินี้ ซึ่งเป็นผลมาจากยารักษาที่แทรกในเนื้อของแผ่นยิปซัม และทำให้แผ่นยิปซัมมีเนื้อที่แน่นมากขึ้น และมีค่าแรงต้านทานการดึงตะปูที่เพิ่มขึ้น [1, 11] ส่วนการผสมเส้นใยผักตบชวาในปริมาณที่เหมาะสมก็มีแนวโน้มในการช่วยเพิ่มแรงต้านทานการดึงตะปูได้เช่นกัน โดยเห็นได้จากแผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวาอัตราส่วน GCP-75 เป็นแผ่นยิปซัมที่มีค่าแรงต้านทานการดึงตะปูสูงที่สุด (422.37 นิวตัน) รองลงมาคือ อัตราส่วน GCP-0 (405.60 นิวตัน) อัตราส่วน GCP-150 (312.90 นิวตัน) อัตราส่วน GC-75 (301.63 นิวตัน) อัตราส่วน GC-0 (294.61 นิวตัน) อัตราส่วน G-75 (260.00 นิวตัน) อัตราส่วน GC-150 (249.75 นิวตัน) อัตราส่วน G-0 (215.50 นิวตัน) และอัตราส่วน G-150 เป็นแผ่นยิปซัมที่มีค่าแรงต้านทานการดึงตะปูต่ำที่สุด (198.66 นิวตัน) ตามลำดับ

6.5 ผลการทดสอบการแอ่นตัว

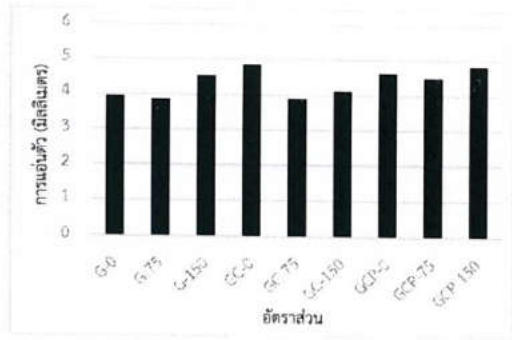
สำหรับผลการทดสอบการแอ่นตัวของแผ่นยิปซัมบอร์ดในรูปที่ 14 พบว่า ค่าการแอ่นตัวของแผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวาทั้ง 9 อัตราส่วน มีค่าใกล้เคียงกัน และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ มอก.219-2552 ซึ่งกำหนดให้การแอ่นตัวของแผ่นยิปซัมหนา 15 มิลลิเมตร ต้องมีการแอ่นตัวไม่เกิน 10 มิลลิเมตร โดยแผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวาทั้งหมดมีค่าระหว่าง 3.60 ถึง 4.85 มิลลิเมตร [8]



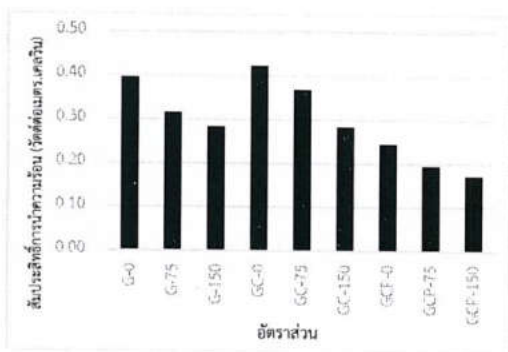
รูปที่ 13 แรงต้านทานการดึงตะปูของแผ่นยิปซัมบอร์ด ที่อายุการบ่ม 28 วัน

6.6 ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ส่วนของผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นยิปซัมบอร์ดทั้ง 9 อัตราส่วน ในรูปที่ 15 พบว่า แผ่นยิปซัมที่มีการผสมเส้นใยผักตบชวาและมีการปรับปรุงเนื้อยิปซัมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และน้ำยารักษาชนิดพรีวิลาโนซ์ (อัตราส่วน GCP-150) เป็นอัตราส่วนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด (0.172 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน) รองลงมาคือ อัตราส่วน GCP-75 (0.195 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน) อัตราส่วน GCP-0 (0.245 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน) อัตราส่วน G-150 (0.284 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน) อัตราส่วน GC-150 (0.284 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน) อัตราส่วน G-75 (0.316 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน) อัตราส่วน GC-75 (0.369 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน) อัตราส่วน G-0 (0.396 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน) และอัตราส่วน GC-0 เป็นแผ่นยิปซัมที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงที่สุด (0.423 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน) ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำกว่าของวัสดุจำพวกเส้นใยเซลลูโลส (0.02-0.07 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน) และยางพารา (0.15 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน) [1, 16-18] ซึ่งต่ำกว่าแผ่นยิปซัมทั่วไป

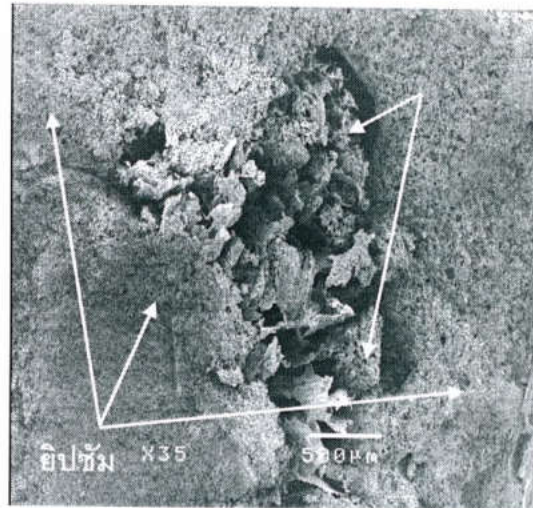


รูปที่ 14 การแฉ่งตัวของแผ่นยิปซัมบอร์ดที่อายุการบ่ม 28 วัน

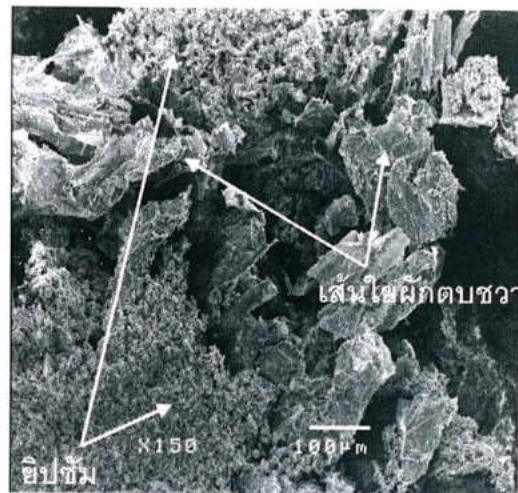


รูปที่ 15 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นยิปซัมบอร์ดที่อายุการบ่ม 28 วัน

เมื่อนำแผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวาอัตราส่วน G-75 ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อศึกษาลักษณะการยึดเกาะระหว่างเส้นใยผักตบชวาและเนื้อยิปซัมดังรูปที่ 16 และ 17 พบว่า เนื้อยิปซัมสามารถไหลและแข็งตัวหุ้มผิวเส้นใยของผักตบชวาได้ ทำให้เส้นใยผักตบชวาสามารถแทรกอยู่ในแผ่นยิปซัมได้โดยไม่เกิดการหลุดออก โดยเนื้อยิปซัมมีรูพรุนขนาดประมาณ 10 – 20 ไมโครเมตร จำนวนมากกระจายอยู่ทั่วไปซึ่งมีผลต่อสมบัติด้านความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ หรือความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของแผ่นยิปซัม [1, 11]

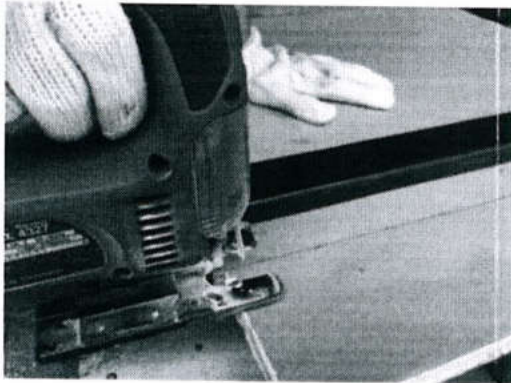


รูปที่ 16 แผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวาที่กำลังขยาย 35 เท่า



รูปที่ 17 การยึดเกาะระหว่างเนื้อยิปซัมและผักตบชวาที่กำลังขยาย 150 เท่า

ทั้งนี้แผ่นยิปซัมบอร์ดทั้งหมดสามารถนำไปใช้งานได้เช่นเดียวกับแผ่นยิปซัมหรือแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมทั่วไป โดยสามารถตัดแผ่นยิปซัมบอร์ดให้มีขนาดตามต้องการด้วยเลื่อยหรือเลื่อยไฟฟ้าได้โดยที่ตัวแผ่นยิปซัมทั้งหมดไม่เสียหาย (รูปที่ 18) อย่างไรก็ตามด้วยน้ำหนักของแผ่นยิปซัมผสมเส้นใยผักตบชวาบางอัตราส่วนที่มาก ควรทำการยัดรวมอลูมิเนียมให้แข็งแรง พร้อมทั้งทำการติดตั้งลวดขนาดไม่เล็กกว่า 1.2 มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่าเบอร์ 18 เพื่อรองรับน้ำหนักของแผ่นยิปซัมบอร์ดดังกล่าว



รูปที่ 18 การทดสอบตัดแผ่นยิปซัมด้วยเลื่อยไฟฟ้า

7. สรุปผล และข้อเสนอแนะ

ผลจากการพัฒนาแผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวา สำหรับวิสาหกิจชุมชน สามารถสรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะได้ ดังนี้

7.1 สรุปผล

จากการพัฒนาแผ่นยิปซัมบอร์ดข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า การผสมผักตบชวาในปริมาณที่เหมาะสมลงในแผ่นยิปซัมบอร์ดมีผลทำให้สมบัติด้านความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีแนวโน้มลดลง และทำให้สมบัติด้านแรงกดแตก และแรงต้านทานการดึงตะปูของแผ่นยิปซัมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนของแผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวาที่เหมาะสมที่สุด และมีสมบัติผ่านตามที่มีมาตรฐาน 219-2552 เรื่องแผ่นยิปซัมประเภทไม่ทนความชื้น คือ แผ่นยิปซัมบอร์ดอัตราส่วน GCP-75 ซึ่งมีส่วนผสมประกอบด้วย อัตราส่วนของยิปซัมปาสเตอร์ ต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท1 ต่อผักตบชวา ต่อน้ำยาราดิน พรีวัลคาไนซ์ ต่อสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ต่อน้ำประปา เท่ากับ 0.75: 0.25: 0.0075: 0.05: 0.003: 1 ส่วนโดยน้ำหนัก แผ่นยิปซัมที่พัฒนานี้สามารถขึ้นรูปได้ด้วยวิธีการหล่อขึ้นรูป ทำให้ผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม ตลอดจนวิสาหกิจชุมชนสามารถนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ได้ง่ายและลงทุนต่ำ

7.2 ข้อเสนอแนะ

ควรพัฒนาแผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวาให้มีสมบัติผ่านมาตรฐาน มอก.219-2552 เรื่องแผ่นยิปซัมประเภททนความชื้น และทนไฟ โดยการเพิ่มสารตัวเติมต่างๆ

เข้าไป เพื่อให้ได้แผ่นยิปซัมบอร์ดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และประหยัดพลังงานมากขึ้นได้

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปี 2563 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Weeranukul P, Suweero K, Weeranukul I. Coconut coir ceiling board product with thermal insulation property. Journal of Engineering, RMUTT. 2018.;16(2):129-38. (in Thai)
- [2] Jindaprasert P, Jaturapitakkul C. Cement, Pozzolan, and Concrete. Bangkok: ACI Partners with Thailand Concrete Association; 2012. (in Thai)
- [3] Ohama Y. Principle of latex modification and some typical properties of latex-modified mortars and concretes. ACI Materials Journal. 1987; 84(45):511-8.
- [4] Weeranukul P, Suweero K, Weeranukul I. 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; 2019 Jul 24-26; Chiang Mai: Chiang Mai International Convention and Exhibition Centre. Chiang Mai: Rajamangala University of Technology Lanna; 2019. p.244-59. (in Thai)
- [5] Khamput P. Study of physical and mechanical of concrete block mixed with Para latex. Full Report. Bangkok: Thailand Research Fund; 2007. (in Thai)

- [6] The Secretariat of the Prime Minister. Water Hyacinth [Internet]. Bangkok: The Secretariat of the Prime Minister. 2020 May 20 [cited 2020 Oct 1]. Available from: <https://spm.thaigov.go.th/CRTPRS/spm-sp-layout6.asp?i=31111%2E13614702112113121111311>. (in Thai)
- [7] Ghosh SR, Saikia DC, Goswami T, Chaliha BP, Baruah JN. Utilization of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for paper and board making. Proceedings of the International Conference on Water Hyacinth; 1984 Feb. 7-11; Nairobi: UNEP: UNEP; 1984. p.436-60.
- [8] Thai Industrial Standards Institute (TISI). Thai Industrial Standard No.219-2009: Gypsum Board. Bangkok: TISI; 2009. (in Thai)
- [9] American Society for Testing and Materials (ASTM). Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM; 2012.
- [10] Davies RM, Mohammed US. Moisture-dependent Engineering Properties of Water Hyacinth Parts. Singapore Journal of Scientific Research. 2011;1:253-63.
- [11] Faherty KF, Williamson TG. Wood Engineering and Construction Handbook. New York: McGraw-Hill, Inc.; 1995.
- [12] Young HD. Hyper Physics. Addison Wesley: University Physics.; 1992.
- [13] Barlow FW. Rubber Compounding: Principles, Materials, and Techniques. New York: M. Dekker; 1993.
- [14] Sair S, Mandili B, Taqi M, Bouari AE. Development of a new eco-friendly composite material based on gypsum reinforced with a mixture of cork fibre and cardboard waste for building thermal insulation. Composites Communications. 2019;16:20-4.
- [15] Bledzki AK, Gassan J. Composites Reinforced with Cellulose based Fibers. Progress in Polymer Science. 1999;24:221-74.
- [16] Park JH, Kang Y, Lee J, Wi S, Chang JD, Kim S. Analysis of walls of functional gypsum board added with porous material and phase change material to improve hygrothermal performance. Energy and Buildings. 2019;183(1):803-16.
- [17] Clemens JML. Design, Materials, Compounds, Adhesives, and Substrates [Internet]. PA: Lectrix. 2001 Nov 1 [cited 2020 Oct 1]. Available from: <https://www.electronics-cooling.com/2001/11/the-thermal-conductivity-of-rubbers-elastomers/#>.
- [18] Pakunworakij T, Puthipiroj P, Oonjittichai W, Tisavipat, P. Thermal resistance efficiency of building insulation material from agricultural waste. Journal of Architectural/Planning Research and Studies. 2006;3(4):119-26. (in Thai)