



อิทธิพลของเส้นใยธรรมชาติจากวัสดุเหลือทิ้งต่อคุณสมบัติของแผ่นฝ้าเพดานไฟเบอร์ซีเมนต์
EFFECT OF NATURAL FIBERS FROM WASTE MATERIALS ON PROPERTIES OF CEMENT
FIBERS CEILING BOARDS

จุฑามาศ ลักษณะกิจ¹* และนันทชัย ชูศิลป์¹

¹อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของเส้นใยธรรมชาติจากวัสดุเหลือทิ้งต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นฝ้าเพดานเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยใช้เส้นใยธรรมชาติจากเยื่อกระดาษและเส้นใยปาล์มน้ำมันจากส่วนก้านแทนมวลรวมผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 การออกแบบอัตราส่วนผสมใช้เยื่อกระดาษ (P) ร้อยละ 25-35 เส้นใยปาล์มน้ำมัน (F) ร้อยละ 0 และ 1 โดยน้ำหนักซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W) 0.8-1.4 รวม 10 อัตราส่วนผสม ทดสอบกำลังอัด กำลังคด โมดูลัสยืดหยุ่น การดูดกลืนพลังงาน และการดูดซับเสียง พบว่าการเพิ่มขึ้นของเยื่อกระดาษและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ส่งผลต่อการลดลงของกำลังอัด กำลังคด และโมดูลัสยืดหยุ่น ส่วนเส้นใยปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนผสมส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของการดูดกลืนความร้อน ทั้งนี้ไม่มีอิทธิพลต่อการดูดซับเสียง หากพิจารณาคุณสมบัติความเป็นฉนวนเป็นสำคัญอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ P25F1W90 เพราะมีประสิทธิภาพในการระบายความร้อน แผ่นฝ้าเพดานนี้นอกจากจะช่วยลดการใช้พลังงานภายในอาคารแล้วยังเป็นการนำขยะมาสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อสร้างทางเลือกสำหรับงานก่อสร้างต้นทุนต่ำ

คำสำคัญ: แผ่นฝ้าเพดาน, วัสดุเหลือทิ้ง, เยื่อกระดาษ, เส้นใยปาล์มน้ำมัน, ไฟเบอร์ซีเมนต์

ABSTRACT

This research studied effect of natural fibers from deposal materials on mechanical properties of cement fiber ceiling boards to explore an appropriate mixture. Natural fibers from paper tissues and oil palm fibers were used as an aggregate mixed with Portland cement type 1. The percentages of paper tissues (P) ranged 25-35, oil palm fiber (F) were 0 and 1 and water cement ratio (W) ranged 0.8-1.4 in total 10 mixtures. The specimens were then proved by testing of compressive strength, flexural strength, modulus of elasticity, thermal property and sound absorption. It was found that an increase in the percentage of paper tissues had a direct consequence in decreasing of compressive strength, flexural strength, and modulus of elasticity. Though, increasing of oil palm fibers showed effect on thermal property. Therefore, there was no remarkable impact on sound absorption. In thermal properties aspect, the suitable mixture was P25F1W90 because it

Chuthamat Laksanakit¹ and Nuntachai Chusilp¹

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

1 Rajadamnernnok Road, Bo yang, Mueang, Songkhla 90000

yielded the highest efficiency ventilation. These ceiling boards not only help to reduce energy consumption in buildings but also can be a choice to make effective use of waste materials that can be an alternative for low-cost construction.

KEYWORDS: Ceiling Board, Waste Materials, Paper Tissues, Oil Palm Fibers, Cement Fibers

1. บทนำ

แผ่นฝ้าเพดานไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นวัสดุก่อสร้างประเภทแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ได้รับความนิยมและมีแนวโน้มการเติบโตทางการตลาดอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลเศรษฐกิจระบุว่าในปี พ.ศ.2560 ผลิตภัณฑ์ประเภทไฟเบอร์ซีเมนต์มีมูลค่าตลาดกว่า 1.45 หมื่นล้านบาท หรือ 20% ของมูลค่าตลาดปูนซีเมนต์ [1] ปัจจัยสนับสนุนความนิยมที่สำคัญของผลิตภัณฑ์นี้ ได้แก่ น้ำหนักเบา แข็งแรง ทนความร้อน ดูดซับน้ำต่ำ ปลอดภัยต่อครุไม้ และราคาต่ำกว่าไม้จริง การผลิตแผ่นฝ้าเพดานไฟเบอร์ซีเมนต์ทำได้โดยการผสมปอร์ตแลนด์ซีเมนต์กับเส้นใยธรรมชาติชนิดต่าง ๆ แล้วขึ้นรูปตามรูปแบบที่ต้องการ ไม่ว่าจะป็นรูปแบบใด องค์ประกอบสำคัญที่เป็นหลักในการผลิต คือ เส้นใยธรรมชาติ ประเภทและปริมาณของเส้นใยเหล่านี้มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นฝ้าเพดานไฟเบอร์ซีเมนต์

มีการนำเส้นใยธรรมชาติหลากหลายชนิดมาใช้ในการผลิตแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร อาทิ เศษไม้ เส้นใยมะพร้าว เส้นใยปาล์มน้ำมัน [2] [3] [4] ชังข้าวโพด มันสำปะหลัง [5] [6] และฟางข้าวสาลี [7] เนื่องจากวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้เป็นปัจจัยบ่งชี้คุณสมบัติความเป็นฉนวนของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ ข้อดีจากรูปร่างที่มีลักษณะเป็นเส้นยาวช่วยเพิ่มความแข็งแรง อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดปัญหาการกำจัดของเหลือทิ้งให้กับเกษตรกรได้ด้วย นอกจากนี้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแล้ว การนำขยะรีไซเคิลกลับมาสร้างผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ [8] ได้รับการยอมรับมากขึ้น ดังนั้นหากมีการนำเส้นใยธรรมชาติซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและขยะรีไซเคิลจำพวกกระดาษซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการแปรรูปมาแล้วมาใช้งานร่วมกันเพื่อผลิตแผ่นฝ้าเพดานไฟเบอร์ซีเมนต์ย่อมช่วยลดปัญหาขยะได้อีกทางหนึ่ง และยังช่วยสร้างทางเลือกในการผลิตวัสดุก่อสร้างที่มีต้นทุนต่ำ งานวิจัยของนันท์ชัยและคณะ [3] ได้ข้อสรุปว่าเส้นใยตาลโตนดเมื่อนำมาผสมในส่วนผสมของแผ่นซีเมนต์บอร์ดในอัตราร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก มีคุณสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ มอก. 878-2537 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Asasutjarit และคณะ [9] พบว่าหากผสมใยมะพร้าวและกากเยื่อใยปาล์มในอัตราส่วนผสมร้อยละ 5 โดยน้ำหนักซีเมนต์ ทำให้วัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติที่ศึกษามีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลตามเกณฑ์มาตรฐาน และมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนดีกว่าซีเมนต์เพสต์ ส่งผลดีต่อการประหยัดพลังงานจากการใช้เครื่องปรับอากาศในที่พักอาศัย

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต้น (เยื่อกระดาษ เส้นใยปาล์มน้ำมัน และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์) ต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรม เช่น กำลังอัด กำลังดัด ความแข็งแรง และความหนาแน่น คุณสมบัติอื่น ๆ เช่น การดูดกลืนความร้อนและการดูดซับเสียง ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ช่วยคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตผนังและฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือทิ้งเพื่อนำผลการศึกษามาเผยแพร่ให้ใช้เพื่อเป็นทางเลือกในการสร้างผลิตภัณฑ์จากวัสดุเหลือทิ้งที่ช่วยลดต้นทุนค่าหรือเป็นวัสดุก่อสร้างต้นทุนต่ำสำหรับผู้ประกอบการรายย่อยหรือชุมชนต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในเชิงเศรษฐศาสตร์และสังคม

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุที่ใช้ในการผลิตแผ่นฝ้าเพดาน

วัสดุที่เป็นส่วนผสมของแผ่นฝ้าเพดานในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เชื้อกระดาษที่ได้จากการนำกระดาษใช้แล้วมาตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปแช่น้ำแล้วปั่นให้ละเอียดและอบให้แห้ง เส้นใยปาล์มน้ำมันเป็นเส้นใยที่ได้จากส่วนก้าน ตัดให้ได้ขนาด 1-2 เซนติเมตร และน้ำสะอาด โดยที่เชื้อกระดาษมีลักษณะเป็นเส้นใยแบนพื้นผิวขรุขระ สำหรับเส้นใยปาล์ม น้ำมันจากส่วนก้านเป็นเส้นใยกลมผิวภายนอกมันวาว ภาพขยายหน้าตัดตามขวางมีลักษณะเป็นท่อขนาดเล็กติดกันเป็นกลุ่ม ขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ พื้นผิวขรุขระ ดังรูปที่ 1 โดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นใยธรรมชาติทั้ง 2 ประเภท ร่วมด้วย

2.2 การออกแบบอัตราส่วนผสมและการผลิตแผ่นฝ้าเพดาน

การออกแบบอัตราส่วนผสมและการผลิตแผ่นฝ้าเพดานในงานนี้ใช้เส้นใยธรรมชาติจากเชื้อกระดาษและปาล์มน้ำมันแทนที่มวลรวมโดยนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ซึ่งทำหน้าที่วัสดุประสานในอัตราส่วนต่าง ๆ ปริมาณน้ำของแต่ละอัตราส่วนผสมถูกปรับให้ได้สัดส่วนกับปริมาณซีเมนต์และความสามารถในการทำงานหรือขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานได้ โดยมีค่าร้อยละของเชื้อกระดาษ (P) โดยน้ำหนักซีเมนต์เท่ากับ 25 30 และ 35 มีค่าร้อยละของเส้นใยปาล์มน้ำมัน (F) โดยน้ำหนักซีเมนต์เท่ากับ 0 และ 1 และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W) ที่ใช้มีค่า 0.8 0.9 1.3 และ 1.4 แทนด้วยสัญลักษณ์ P_F_W___ หลังจากผสมวัสดุทั้งหมดเข้าด้วยกันแล้วเทในแบบหล่อ ที่ไว้ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ก่อนถอดแบบแล้วบ่มในอากาศจนชิ้นงานแห้ง ดังรูปที่ 1

2.3 การออกแบบการทดลองและวิธีการทดสอบ

การออกแบบการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของเส้นใยธรรมชาติจากวัสดุเหลือทิ้ง (เชื้อกระดาษและเส้นใยปาล์มน้ำมัน) ที่มีผลต่อคุณสมบัติของฝ้าเพดานได้กำหนดปัจจัยต้นที่ศึกษาไว้ 3 ปัจจัย คือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ร้อยละของเชื้อกระดาษ และร้อยละของเส้นใยปาล์มน้ำมัน แต่ละปัจจัยทำการทดลอง 5 ระดับ โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง จำนวนตัวอย่างที่ทำการทดลองทั้งสิ้น 180 ตัวอย่าง และมีปัจจัยตามจำนวน 6 ปัจจัย ประกอบด้วย กำลังอัด กำลังดัด ความแข็งแรง ความหนาแน่น การดูดกลืนความร้อน และการดูดซับเสียง ดังตารางที่ 1

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลใช้เครื่อง Universal Testing Machine ทดสอบอย่างละ 3 ตัวอย่าง เพื่อทดสอบกำลังอัดซึ่งประยุกต์จากมาตรฐาน ASTM C 39 โดยใช้ตัวอย่างแบบลูกบาศก์ขนาด 5×5×5 เซนติเมตร ส่วนการทดสอบกำลังดัดแบบ 3 จุด (Three-pointed bending) ประยุกต์จาก ASTM C 78 ใช้ตัวอย่างขนาด 4×4×16 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับเท่ากับ 12 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2 (ก) และ (ข) สำหรับการทดสอบนอกเหนือจากนี้ประยุกต์ใช้ตามมาตรฐาน มอก.878-2537 เป็นแนวทางทดสอบ กำลังดัดและมอดูลัสความยืดหยุ่นคำนวณได้จากสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

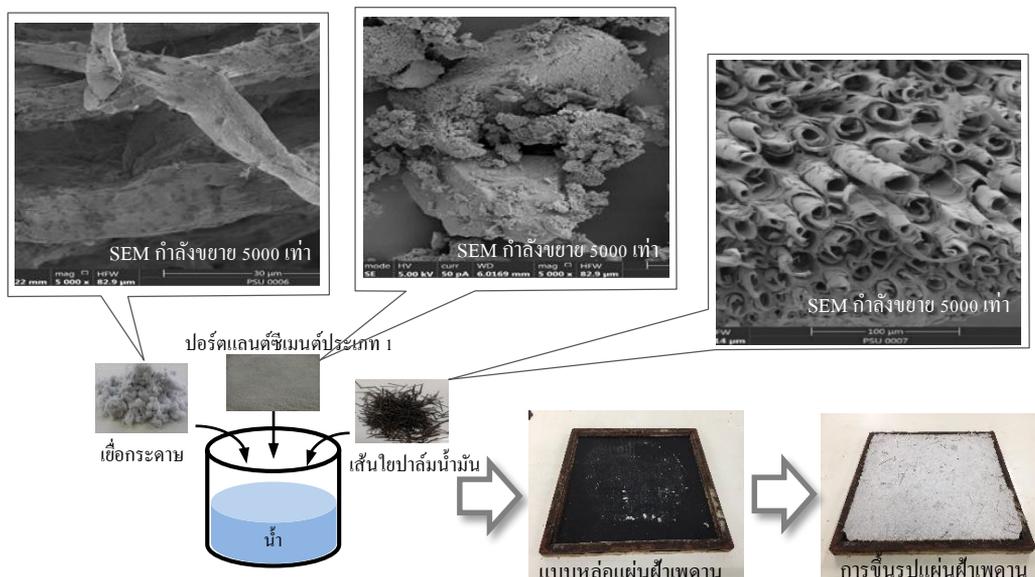
$$\sigma_f = \frac{Mc}{I} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

$$E = \frac{\sigma_c}{\epsilon} \quad (2)$$

เมื่อ σ_f คือ กำลังดึงของชิ้นทดสอบ เป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
 σ_c คือ กำลังอัดของชิ้นทดสอบ เป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
 ε คือ ความเครียดจากการทดสอบกำลังอัดของชิ้นทดสอบ เป็นร้อยละ
 P คือ น้ำหนักกระทำภายนอกสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ เป็นกิโลกรัม
 L คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ เป็นเซนติเมตร
 b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นเซนติเมตร
 h คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ เป็นเซนติเมตร

ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลองของผ้าเพดานไฟเบอร์ซีเมนต์จากวัสดุเหลือทิ้ง

ระดับปัจจัยต้น (อัตราส่วนผสม)		P25F0W80	P25F0W90	P25F0W130	P30F0W130	P35F0W140
ปัจจัยต้น	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	0.8	0.9	1.3	1.3	1.4
(อัตราส่วนผสม)	เยื่อกระดาษโดยน้ำหนักซีเมนต์ (%)	25	25	25	30	35
	เส้นใยปาล์มน้ำมันโดยน้ำหนักซีเมนต์ (%)	0	0	0	0	0
ปัจจัยตาม: กำลังอัด กำลังดึง ความแข็งแรง ความหนาแน่น การดูดกลืนความร้อน และการดูดซับเสียง						
ระดับปัจจัยต้น (อัตราส่วนผสม)		P25F1W80	P25F1W90	P25F1W130	P30F1W130	P35F1W140
ปัจจัยต้น	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	0.8	0.9	1.3	1.3	1.4
(อัตราส่วนผสม)	เยื่อกระดาษโดยน้ำหนักซีเมนต์ (%)	25	25	25	30	35
	เส้นใยปาล์มน้ำมันโดยน้ำหนักซีเมนต์ (%)	1	1	1	1	1
ปัจจัยตาม: กำลังอัด กำลังดึง ความแข็งแรง ความหนาแน่น การดูดกลืนความร้อน และการดูดซับเสียง						



รูปที่ 1 ลักษณะพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในอัตราส่วนผสม SEM กำลังขยาย 5000 เท่า และกระบวนการผลิตผ้าเพดานจากวัสดุเหลือทิ้ง



รูปที่ 2 การทดสอบกำลังอัดและกำลังคัด

3. ผลการวิจัย

3.1 คุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ (Chemical properties of natural fibers)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมันและเยื่อกระดาษ ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) ดังตารางที่ 2 พบว่าเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วยธาตุ 8 ธาตุ ได้แก่ แมกนีเซียม (Mg) ซิลิคอน (Si) ฟอสฟอรัส (P) กำมะถัน (S) คลอรีน (Cl) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) และธาตุเหล็ก (Fe) มีความเข้มข้นร้อยละ 1.47 2.30 0.16 0.18 7.54 2.22 2.03 และ 0.311 ตามลำดับ ส่วนธาตุที่พบในเยื่อกระดาษประกอบด้วยธาตุ 4 ธาตุ ได้แก่ ซิลิคอน (Si) แคลเซียม (Ca) เหล็ก (Fe) และอลูมิเนียม (Al) มีความเข้มข้นร้อยละ 0.53 17.83 0.85 และ 0.34 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าธาตุของเส้นใยปาล์ม น้ำมันและเยื่อกระดาษ มีธาตุเหมือนกันคือ ธาตุซิลิคอน (Si) ธาตุแคลเซียม (Ca) และธาตุเหล็ก (Fe) องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมันจะมีจำนวนธาตุเยอะกว่าเยื่อกระดาษและส่วนใหญ่เป็นธาตุเดียวกันที่เยื่อกระดาษมี ยกเว้นธาตุอลูมิเนียม (Al) ที่มีในเยื่อกระดาษ แต่ไม่มีในเส้นใยปาล์มน้ำมัน

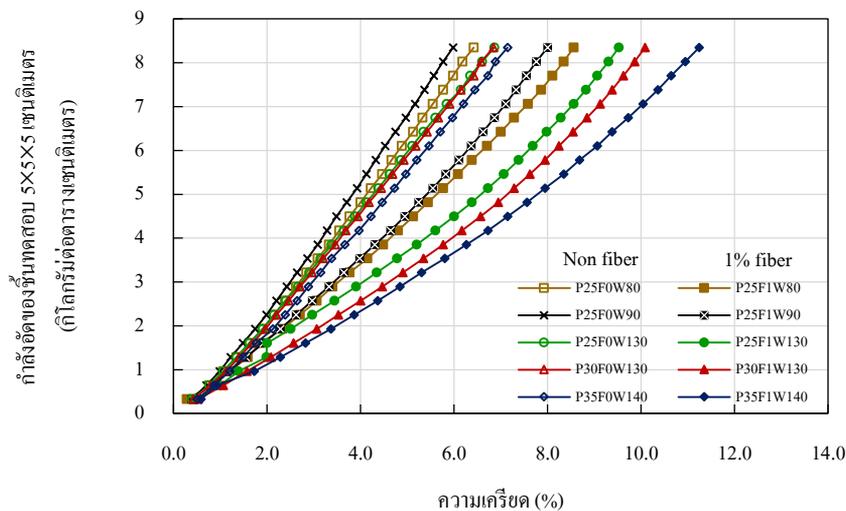
ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมันและเยื่อกระดาษ

ที่	ธาตุ	ความเข้มข้น (%)		ที่	ธาตุ	ความเข้มข้น (%)	
		เส้นใยปาล์มน้ำมัน	เยื่อกระดาษ			เส้นใยปาล์มน้ำมัน	เยื่อกระดาษ
1	แมกนีเซียม (Mg)	1.47	-	6	โพแทสเซียม (K)	2.22	-
2	ซิลิคอน (Si)	2.30	0.53	7	แคลเซียม (Ca)	2.03	17.83
3	ฟอสฟอรัส (P)	0.16	-	8	เหล็ก (Fe)	0.311	0.85
4	กำมะถัน (S)	0.18	-	9	อลูมิเนียม (Al)	-	0.34
5	คลอรีน (Cl)	7.54	-				

3.2 กำลังอัดและกำลังคัด (Compressive and flexural strength)

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและความเครียดซึ่งทดสอบในช่วงพฤติกรรมแบบอิลาสติก (Elastic Behavior) เพื่อประเมินการรับกำลังอัดเบื้องต้น โดยให้แรงกดกระทำที่ค่า 208.65 กิโลกรัม พบว่าที่กำลังอัดเท่ากันค่าหนึ่งอัตราส่วนผสมแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันมีความเครียดน้อยกว่าแบบมีเส้นใยปาล์มน้ำมัน แสดงว่าอัตราส่วนผสมเหล่านี้มีการเปลี่ยนรูปน้อยกว่าเมื่อ

มีแรงอัดภายนอกกระทำหรือกล่าวได้มีความสามารถต้านทานแรงอัดได้ดีกว่า จากตารางที่ 3 พบว่าตัวอย่างชิ้นทดสอบที่ยุบตัวต่ำสุดเมื่อรับแรงกดกระทำคือ P25F0W90 มีค่าการยุบตัว 2.99 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าความหนาแน่น 0.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นที่สังเกตว่าชิ้นทดสอบแบบมีเส้นใยพาล์มน้ำมันที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มีค่าตั้งแต่ 1.3 เป็นต้นไปมีค่าความเครียดเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อได้รับความเค้นดัดที่สูงขึ้น สรุปได้ว่าเส้นใยพาล์มน้ำมันไม่ทำให้การรับกำลังอัดดีขึ้น และเมื่อปริมาณเชื้อกระดาษและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มากขึ้นความทนทานต่อแรงกดกระทำของชิ้นทดสอบมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [8] ที่ได้สรุปว่าค่ามอดูลัสการแตกหักและค่ามอดูลัสยืดหยุ่นลดลงเมื่อร้อยละของกระดาษหนังสือพิมพ์รีไซเคิลเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3 เส้นโค้งกำลังอัด-ความเครียดของอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ที่อายุ 14 วัน

ตารางที่ 3 ความหนาแน่นและพฤติกรรมการยุบตัวของการทดสอบกำลังอัดที่ให้แรงกดกระทำที่ค่า 208.65 กิโลกรัม

	อัตราส่วนผสมแบบไม่มีเส้นใยพาล์มน้ำมัน	P25F0W80	P25F0W90	P25F0W130	P30F0W130	P35F0W140
ไม่มีเส้นใยพาล์ม น้ำมัน	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	1.22	0.75	1.01	0.69	0.99
	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	208.65	208.65	208.65	208.65	208.65
	การยุบตัว (มิลลิเมตร)	3.21	2.99	3.43	3.42	3.57
	อัตราส่วนผสมแบบมีเส้นใยพาล์มน้ำมัน	P25F1W80	P25F1W90	P25F1W130	P30F1W130	P35F1W140
มีเส้นใยพาล์ม น้ำมัน	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.81	0.55	0.79	0.49	0.83
	น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัม)	208.65	208.65	208.65	208.65	208.65
	การยุบตัว (มิลลิเมตร)	4.28	4.00	4.76	5.04	5.62

จากรูปที่ 4 (ก) และตารางที่ 4 พบว่าอัตราส่วนผสมที่มีกำลังดัดสูงสุด คือ P25F0W90 เป็นชิ้นทดสอบแบบไม่มีเส้นใยพาล์มน้ำมัน รับกำลังดัดสูงสุด 42.89 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าการโก่งตัวสูงสุดที่กึ่งกลางชิ้นทดสอบ 2.45 มิลลิเมตร โดยภาพรวมกำลังดัดของชิ้นทดสอบแบบไม่มีเส้นใยพาล์มน้ำมันมีค่าสูงกว่าแบบมีเส้นใยพาล์มน้ำมันเช่นเดียวกับกำลังอัด เห็นได้ชัดว่าเส้นใยพาล์มน้ำมันมีผลอย่างมากต่อการลดลงของกำลังดัด เนื่องจากลักษณะของเส้นใยพาล์มน้ำมันจากส่วนก้านมีลักษณะเป็นท่อกลวงมีการเรียงตัวในทิศทางเดียวกันอย่างเป็นระเบียบ (ดังรูปที่ 1) ท่อกลวงขนาดเล็กเหล่านี้เสมือนโพรงอากาศที่กระจายอยู่ทั่ว

ขึ้นทดสอบ เมื่อต้องรับแรงกระทำจากภายนอกโพรงอากาศเหล่านี้จึงเกิดการเสียรูปส่งผลให้ประสิทธิภาพการรับกำลังดัดลดลง นอกจากนี้เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และปริมาณเชื้อกระดาษเพิ่มขึ้นมีการลดลงของกำลังดัดของอัตราส่วนผสมแบบมีเส้นใย ปาล์มน้ำมันอย่างต่อเนื่อง

รูปที่ 4 (จ) แสดงการเปรียบเทียบกำลังดัดของขึ้นทดสอบกับไม้อัดยางและแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ (ยิปซัมบอร์ด) ที่มีจำหน่าย ในท้องตลาดพบว่าอัตราส่วนผสมที่มีกำลังดัดสูงสุดคือ P25F0W90 มีค่าสูงกว่ากำลังดัดสูงสุดของแผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร ประมาณ 1.8 เท่า แต่ต่ำกว่ากำลังดัดสูงสุดของไม้อัดยางหนา 10 มิลลิเมตร ประมาณ 1.1 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกำลังดัด สูงสุดของอัตราส่วนผสมแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันที่หล่อพบว่ามีความสูงกว่ากำลังดัดของแผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร ทุก อัตราส่วนยกเว้น P35F0W140 กล่าวโดยสรุปได้ว่าอัตราส่วนผสมแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.8-1.30 และมีปริมาณเชื้อกระดาษร้อยละ 25-30 ของการวิจัยนี้รับกำลังดัดได้สูงกว่าแผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร

3.3 มอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

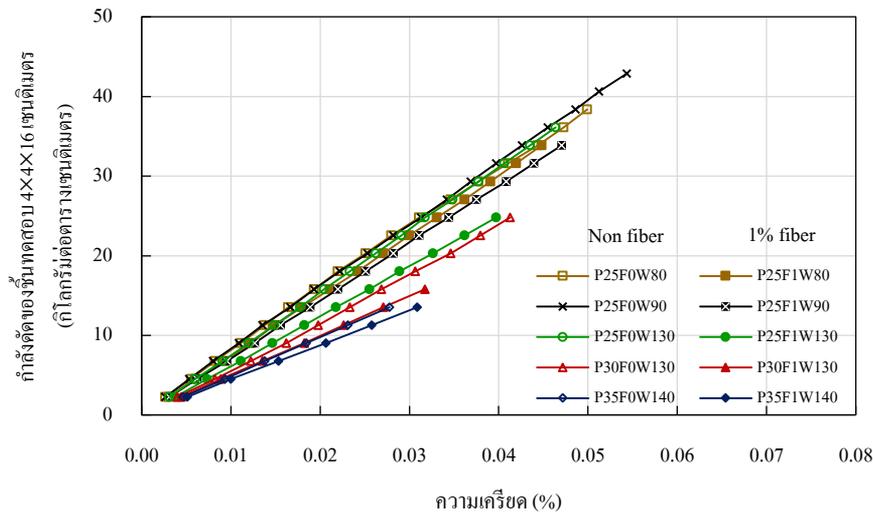
ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (E) เป็นดัชนีบ่งชี้ความแข็งแรงของขึ้นทดสอบแต่ละอัตราส่วนผสมดังตารางที่ 5 ซึ่งวิเคราะห์จาก สัดส่วนระหว่างกำลังอัดต่อความเครียดแสดงไว้ในรูปที่ 3 เห็นได้ว่าอัตราส่วนผสมแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันมีความ แข็งแรงมากกว่าแบบมีเส้นใยปาล์มน้ำมันสองเท่า อัตราส่วนที่มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นสูงสุดคือ P25F0W90 มีค่าเท่ากับ 1.3344 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับข้อสรุปของนันทชัยและคณะ [3] และอนุภา [4]

3.4 การดูดกลืนความร้อน (Heat absorption)

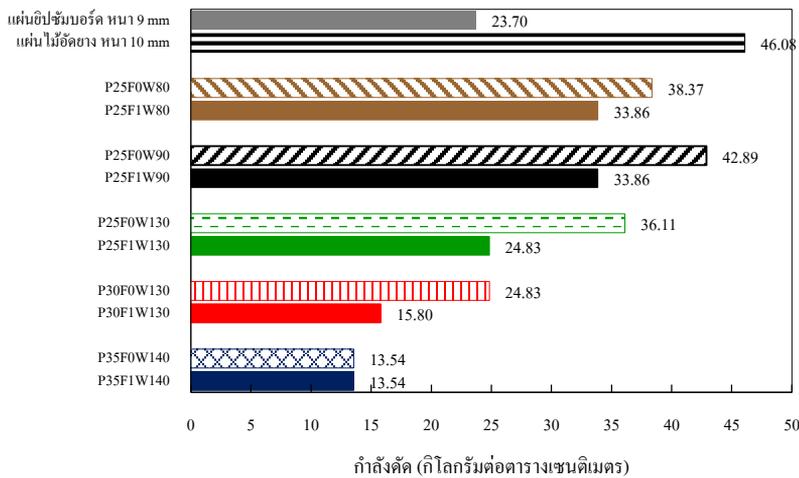
ผลการทดสอบความสามารถในการดูดกลืนความร้อน โดยการวัดความแตกต่างของอุณหภูมิของกล่องทดสอบที่แบ่งออกเป็น 2 ห้อง ตรงกลางคั่นด้วยแผ่นฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือทิ้งอัตราส่วนผสมต่าง ๆ ขนาด 300×300 หนา 10 มิลลิเมตร กล่องห้องแรก (ด้านซ้าย) ทำการติดตั้งหลอดไฟ (Heater) เพื่อเป็นแหล่งให้ความร้อนและติดตั้ง Thermocouple (T1) ที่หลอดไฟเพื่อวัดอุณหภูมิ ของหลอดไฟให้ความร้อน และติดตั้ง Thermocouple (T2) ที่แผ่นวัสดุทดสอบด้านที่รับความร้อน ส่วนอีกห้อง (ด้านขวา) เป็นห้อง ว่าง ทำการติดตั้ง Thermocouple (T3) ที่แผ่นวัสดุทดสอบด้านที่ไม่ได้รับความร้อน เพื่อวัดค่าความแตกต่างที่แตกต่างกัน และ T4 ที่ กึ่งกลางห้องเพื่อบันทึกค่าอุณหภูมิห้องว่างที่ได้รับอิทธิพลความร้อนจากห้องที่เกิดความร้อนซึ่งถ่ายเทมาจากแผ่นผนัง ดังรูปที่ 5 บันทึกข้อมูลด้วยอุปกรณ์ Data logger เป็นเวลา 3600 วินาที ใช้ค่าร้อยละของความแตกต่างของอุณหภูมิ ($\% \Delta T = (T2-T3)/T2$) เป็น ตัวชี้วัดคุณสมบัติการดูดกลืนความร้อนของแผ่นฝ้าเพดาน

รูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนผสมแบบมีเส้นใยปาล์มน้ำมันทุกอัตราส่วนมีร้อยละของความแตกต่างของอุณหภูมิสูงกว่า แบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมัน แสดงว่าอัตราส่วนผสมแบบมีเส้นใยปาล์มน้ำมันมีคุณสมบัติในการดูดกลืนความร้อนต่ำ แต่สะท้อน และถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมัน เพราะเมื่อพลังงานความร้อนจากหลอดไฟแผ่รังสีมายังขึ้นทดสอบ ความ ร้อนบางส่วนจะถูกขึ้นทดสอบดูดกลืนไว้ ส่วนที่เหลือจะสะท้อนและถ่ายเทไปยังรอบข้าง หากขึ้นทดสอบดูดกลืนความร้อนได้ น้อยจะทำให้อุณหภูมิที่ผิวของขึ้นทดสอบด้านที่ไม่ได้รับความร้อนมีค่าต่ำ ส่งผลให้ร้อยละของความแตกต่างของอุณหภูมิ ($\% \Delta T$) สูง อัตราส่วนผสมที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดคือ P25F1W90 มีผลต่างของอุณหภูมির้อยละ 29.89 ซึ่งสูงกว่าค่าของแผ่นไม้อัดยางหนา 10 มิลลิเมตร แต่ต่ำกว่าค่าของแผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร พฤติกรรมการดูดกลืนความร้อนของขึ้นทดสอบแบบมีเส้นใยปาล์ม น้ำมันแต่ละอัตราส่วนผสมมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยมีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเชื้อกระดาษและ

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ในทางกลับกันชั้นทดสอบแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันมีค่าการดูดกลืนความร้อนผันผวน ไม่มีแนวโน้มชัดเจน ชั้นทดสอบแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันที่มีร้อยละของความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดคือ P30F0W130 มีผลต่างของอุณหภูมिर้อยละ 28.06 จะเห็นว่าอัตราส่วนผสมแบบมีเส้นใยปาล์มน้ำมันซึ่งมีความหนาแน่นต่ำกว่าแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันมีค่าการดูดกลืนความร้อนต่ำจึงเป็นฉนวนที่ดีและเหมาะสำหรับการป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ตัวอาคาร



(ก) เส้นโค้งกำลังอัด-ความเค็รยดของอัตราส่วนผสมต่าง ๆ



(ข) กำลังอัดสูงสุดของชั้นทดสอบ

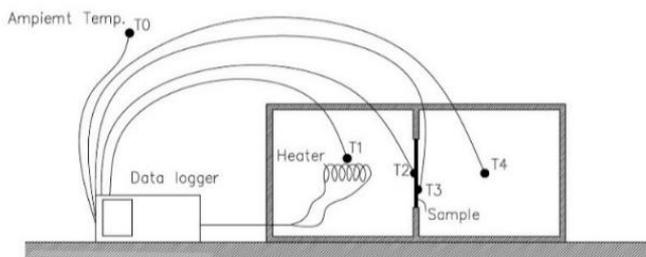
รูปที่ 4 ผลการทดสอบกำลังอัดแบบ 3 จุดของอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

ตารางที่ 4 น้ำหนักกระทำให้สูงสุดและการโค้งตัวของกาทดสอบกำลังคัดแบบคาน 3 จุด

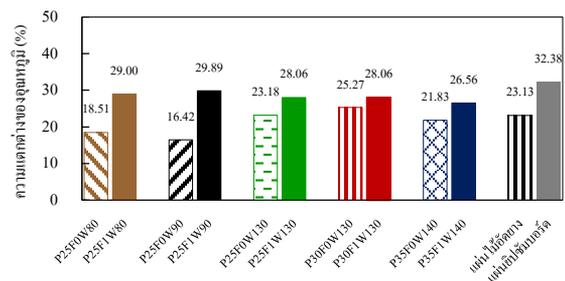
อัตราส่วนผสม	P25F0W80	P25F0W90	P25F0W130	P30F0W130	P35F0W140	แผ่น ชิปซัมบอร์ด หนา 9 mm	แผ่น ไม้อัดยาง หนา 10 mm
น้ำหนักกระทำให้สูงสุด (กิโลกรัม)	136.43	152.48	128.40	88.28	48.15	8.00	19.20
การโค้งตัวที่กึ่งกลางชั้นทดสอบ (มิลลิเมตร)	2.25	2.45	2.09	1.86	1.25	-	-
กำลังคัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	38.37	42.89	36.11	24.83	13.54	23.70	46.08
อัตราส่วนผสม	P25F1W80	P25F1W90	P25F1W130	P30F1W130	P35F1W140		
น้ำหนักกระทำให้สูงสุด (กิโลกรัม)	120.38	120.38	88.28	56.18	48.15		
การโค้งตัวที่กึ่งกลางชั้นทดสอบ (มิลลิเมตร)	2.02	2.12	1.79	1.43	1.39		
กำลังคัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	33.86	33.86	24.83	15.80	13.54		

ตารางที่ 5 มอดูลัสยืดหยุ่นของชั้นทดสอบ

อัตราส่วนผสมแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมัน	P25F0W80	P25F0W90	P25F0W130	P30F0W130	P35F0W140
มอดูลัสยืดหยุ่น (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	1.2388	1.3344	1.1842	1.1719	1.1108
อัตราส่วนผสมแบบมีเส้นใยปาล์มน้ำมัน	P25F1W80	P25F1W90	P25F1W130	P30F1W130	P35F1W140
มอดูลัสยืดหยุ่น (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	0.6788	0.7456	0.8058	0.9683	0.9177



รูปที่ 5 ตำแหน่งและการติดตั้งเครื่องมือทดสอบ
การดัดกลืนความร้อน



รูปที่ 6 การดัดกลืนความร้อนของแผ่นฝ้าเพดาน
ที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ

3.5 การดูดซับเสียง (Sound absorption)

การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของชั้นทดสอบใช้กล่องทดสอบขนาด 0.40×0.80 (ด้านยาว) ×0.40 เมตร ที่กึ่งกลางผนังภายในกล่องด้านยาวออกแบบให้สามารถติดตั้งชั้นทดสอบขนาด 0.30×0.30 เมตร หนา 10 มิลลิเมตร ผนังภายในบุด้วยโฟมเพื่อลดผลกระทบจากการสะท้อนของเสียง เมื่อมีการติดตั้งชั้นทดสอบแล้วกล่องจะถูกแบ่งเป็นสองส่วนเท่ากัน ส่วนที่ 1 ติดตั้งเครื่องกำเนิดคลื่นเสียง (ลำโพง) ยี่ห้อ D-Power Accessories รุ่น A6 ขนาด 500 วัตต์ ส่วนที่ 2 ติดตั้งเครื่องวัดเสียง (Sound level meter) ยี่ห้อ DIGICON DS-40 วัดเสียงได้ 30-130 dB ไว้กึ่งกลางกล่อง ทดสอบโดยเปิดเครื่องกำเนิดเสียงให้มีช่วงความถี่สูง (2.1 KHz-16 KHz) และช่วงความถี่ปานกลาง (251 Hz-2 KHz) ทำการทดสอบเปรียบเทียบกรณีไม่มีวัสดุกั้นกลางห้อง (ควบคุม) และกรณีมีชั้นทดสอบกั้นกลาง บันทึกค่าความถี่เสียงที่ส่งผ่านมายังเครื่องวัดเสียงที่เวลา 12 24 36 48 และ 60 วินาที ทำซ้ำอย่างละ 3 ครั้ง จากนั้นนำค่าความถี่เสียงที่ตรวจวัดได้มาเฉลี่ยเพื่อหาประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง

จากตารางที่ 6 เห็นได้ว่าในช่วงความถี่สูงและความถี่ปานกลางตัวอย่างชิ้นทดสอบแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันให้คลื่นเสียงผ่านได้น้อยกว่าชิ้นทดสอบแบบมีเส้นใยปาล์มน้ำมัน เมื่อพิจารณาที่ช่วงความถี่สูงตัวอย่างชิ้นทดสอบแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันที่สามารถกันเสียงให้เสียงเดินทางผ่านได้น้อยที่สุดคือ P30F0W130 เสียงผ่านได้ 88.39 เดซิเบล สำหรับช่วงความถี่ปานกลางตัวอย่างชิ้นทดสอบแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันที่เสียงเดินทางผ่านได้น้อยที่สุดคือ P25F0W80 สามารถให้เสียงผ่านได้ 70.32 เดซิเบล โดยรวมความสามารถในการดูดซับเสียงของแต่ละอัตราส่วนผสมแบบเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองช่วงความถี่ กล่าวโดยสรุปได้ว่าปริมาณเอ็อกระคายและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ไม่มีผลต่อคุณสมบัติการดูดซับเสียง ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร และแผ่นไม้อัดยาง หนา 10 มิลลิเมตร ชิ้นทดสอบแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันดูดซับเสียงได้ดีกว่า

ตารางที่ 6 การดูดซับเสียงของชิ้นทดสอบ

อัตราส่วนผสม แบบไม่มีเส้นใย ปาล์มน้ำมัน	ค่าเฉลี่ยช่วงความถี่ (เดซิเบล)		อัตราส่วนผสม แบบมีเส้นใยปาล์ม น้ำมัน	ค่าเฉลี่ยช่วงความถี่ (เดซิเบล)	
	ช่วงความถี่สูง	ช่วงความถี่ปานกลาง		ช่วงความถี่สูง	ช่วงความถี่ปานกลาง
	2.1KHz-16KHz	251Hz-2KHz		2.1KHz-16KHz	251Hz-2KHz
P25F0W80	88.70	70.32	P25F1W80	93.61	76.77
P25F0W90	88.82	71.41	P25F1W90	93.47	77.10
P25F0W130	88.73	70.75	P25F1W130	93.55	76.67
P30F0W130	88.39	70.99	P30F1W130	93.70	74.48
P35F0W140	88.71	70.41	P35F1W140	89.88	75.94
แผ่นยิปซัมบอร์ด หนา 9 mm				91.88	77.26
แผ่นไม้อัดยาง หนา 10 mm				93.48	77.94

4. สรุปผลการวิจัย

บทสรุปที่สำคัญของงานวิจัยมีดังนี้ (1) เส้นใยปาล์มน้ำมันมีอิทธิพลต่อการดูดกลืนความร้อนในทางลบ อัตราส่วนผสมแบบมีเส้นใยปาล์มน้ำมันดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่าแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมัน แต่สะท้อนและถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่า ทั้งนี้เพราะองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมันมีค่าต้านทานความร้อนจากแมกนีเซียม (Mg) ฟอสฟอรัส (P) กำมะถัน (S) คลอรีน (Cl) และโพแทสเซียม (K) ซึ่งไม่มีในเอ็อกระคาย อีกทั้งลักษณะพื้นฐานที่เป็นท่อของเส้นใยปาล์มน้ำมันเสมือนเป็นช่องว่างกระจายอยู่ทั่วชิ้นทดสอบทำให้ความร้อนผ่านได้ยากจึงมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนที่ดีกว่า (2) การเพิ่มขึ้นของเส้นใยปาล์มน้ำมันและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มีอิทธิพลต่อการลดลงของกำลังอัด กำลังดัด และคามอดูลัสยืดหยุ่น จึงทำให้อัตราส่วนผสมแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันที่มีเอ็อกระคายเท่ากันมีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่า (3) เส้นใยปาล์มน้ำมันมีอิทธิพลต่อการดูดซับเสียง เพราะทำให้ความหนาแน่นลดลงเสียงจึงเดินทางผ่านได้โดยง่าย สรุปได้ว่าแผ่นฝ้าเพดานไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเอ็อกระคายและเส้นใยปาล์มน้ำมันจากการศึกษานี้มีคุณสมบัติเด่นด้านการดูดกลืนความร้อนต่ำจึงเหมาะสำหรับเป็นฉนวน โดยอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดคือ P25F1W90 มีความแข็งแรงกว่าแผ่นยิปซัมบอร์ด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่สนับสนุนงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2560 ในการวิจัยนี้ และขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยผู้ช่วยศาสตราจารย์พรนารายณ์ บุญราศรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรัสญ์ สมบูรณ์ และนายทศศักดิ์ ทองขวัญ

เอกสารอ้างอิง

- [1] SCB, *Fiber cement exports: how to crack the market?*, 2017. Available from: <https://www.scebic.com/th/detail/product/3302> [Accessed 1 May 2017].
- [2] Lertwattanaruk, P. and Suntijitto, A. Properties of Natural Fiber Cement Materials Containing Coconut Coir and Oil Palm Fibers for Manufacture of Building Materials. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, 2012, 9, pp. 113-124.
- [3] Chusilp, N. Songchoi, P and Prathumwan, J. Mechanical Properties of Cement Board Reinforced with Palmyra Fiber, In: *19th National Convention on Civil Engineering (NCCE)*, Khon Kaen, 14-17 May 2014, pp. 759-765.
- [4] Chusilp, N. Laksanakit, C. Boonrasri, P. Somboon, C and Thongkwan, T. The Developments of Tile Roof from Deposal Materials, In: *The 10th Rajamangala University of Technology National Conference (RMUTCON)*, Trang, 1-3 August 2018, pp.90.
- [5] Sakulpanich, A. The Development of Building Thermal Insulation from Corncob and Natural Rubber Latex. *Veridian E-Journal, Silpakorn University*, 2016, 9 (1), pp. 1688-1702.
- [6] Pakunworakij, T. Puthipiroj, P. Oonjittichai, W. and Tisavipat, P. Thermal Resistance Efficiency of Building Insulation Material from Agricultural Waste. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies* , 2006, 4, pp. 3-13.
- [7] Nazerian, M. and Sadeghiapanah, V. Cement-bonded Particleboard with a Mixture of Wheat Straw and Poplar Wood. *Journal of Forestry Research*, 2013, 24 (2), pp. 381-390.
- [8] Ashori, A. Tabarsa, T. and Valizadeh, I. Fiber reinforced cement boards made from recycled newsprint paper. *Materials Science and Engineering A*, 2011, 528, pp. 7801-7804.
- [9] Asasutjarit, C. Hirunlabh, J. Khedari, J. Charoenvai, S. Zeghmati, B. and Cheul Shin, U, Development of Coconut Coir-based Lightweight Cement Board: *Construction and Building Materials*, 2007, 21, pp. 277-288.