การศึกษาสมบัติในการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ

ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์[1*] และ กนกวรรณ มะสุวรรณ[2]
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ถ.พหลโยธิน อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เส้นใยธรรมชาติ ซึ่งได้มาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีสมบัติในการกันเสียงที่ดีขึ้น โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด และความสามารถในการกันเสียงของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ โดยส่วนผสมของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผงหินปูน น้ำ ทราย เส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใยกาบมะพร้าวและกากเยื่อใยปาล์ม ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน และสารลดปริมาณน้ำ เพื่อทำให้เส้นใยกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ แล้วทำการผลิตตัวอย่างแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ซึ่งมีความหนา 8 12 และ 16 มม. ผลการศึกษา พบว่า การแทนที่ของเส้นใยธรรมชาติในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้วัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์มีความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัดลดลง โดยที่วัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยมะพร้าวมีสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลดีกว่าแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยปาล์ม นอกจากนี้ สำหรับสมบัติในการกันเสียง เมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นทดสอบและร้อยละในการแทนที่ของเส้นใยธรรมชาติ ส่งผลให้แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์มีประสิทธิภาพในการกันเสียงดีขึ้น ผลที่ได้จากการวิจัยนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางผลิตแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยจากการเกษตรให้มีสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน และมีสมบัติในการกันเสียงที่ดี

คำสำคัญ : ไฟเบอร์ซีเมนต์ / เส้นใยธรรมชาติ / เส้นใยมะพร้าว / เส้นใยปาล์ม / การกันเสียง

* *Corresponding author : E-mail: lertwatt@tu.ac.th*

1 *รองศาสตราจารย์ ดร., สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง*

2 *นักศึกษา, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, E-mail: kanok.masuwan@gmail.com*

Investigation of Sound Insulation Properties of Fiber Cement Board Containing Natural Fibers

Pusit Lertwattanaruk[1*] and Kanokwan Masuwan[2]

Thammasat University, Khlong Luang, Pathum Thani, 12121

Abstract

This research aimed to use natural fibers derived from agricultural residues to develop fiber cement products with better sound insulation properties. The parameters that affect the density, compressive strength, flexural strength and sound insulation of the fiber cement materials were studied. The fiber cement specimens consisted of Portland cement Type 1, limestone powder, water, sand, natural fibers, including coconut coir fiber and oil palm fiber, at the levels of 5%, 10%, 15% and 20% by weight of binder; water reducer was used to ensure uniform distribution of the fibers. The fiber cement specimens of 8, 12 and 16 mm thickness were casted. From the test results, it was found that when increasing the percentage replacement of the natural fibers, the density, compressive strength and flexural strength of the materials decreased. It was observed that the physical and mechanical properties of the fiber cement boards containing coconut fibers were better than those containing oil palm fibers. In the case of sound insulation properties, increasing the thickness and percentage replacement of natural fibers tended to improve the sound insulation performance. The results of this research provide a guideline for producing fiber cement products containing agricultural fibers with acceptable mechanical properties and good sound insulation properties.

Keywords : Fiber cement / Natural Fiber / Coconut coir fiber / Oil Palm fiber / Sound insulation

* *Corresponding author : E-mail: lertwatt@tu.ac.th*

1 *Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Planning.*

2 *Student, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Planning.*

1. บทนำ

ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งของการออกแบบอาคารคือการให้ความสำคัญกับการควบคุมคุณภาพของเสียงในอาคารเพื่อให้เกิดการใช้งานในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากแต่ละพื้นที่มีความต้องการลักษณะและสมบัติของเสียงที่แตกต่างกัน หากพื้นที่มีการออกแบบโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบดังกล่าวอาจมีเสียงสะท้อนหรือเสียงก้องเกิดขึ้น และส่งผลให้ประสิทธิภาพในการได้ยินของผู้ใช้งานลง งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและทำการทดสอบวัสดุผนังเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการซับเสียงและป้องกันเสียง วัสดุหลักที่ใช้คือปูนซีเมนต์ที่ให้สมบัติด้านความแข็งแรงในการเป็นวัสดุประกอบอาคาร ร่วมกับการใช้เส้นใยธรรมชาติในการเป็นวัสดุดูดซับเสียงประเภทเส้นใยหรือวัสดุที่มีรูพรุน [1] เส้นใยธรรมชาติมีสมบัติเฉพาะที่เป็นประโยชน์ในการฉนวนกันความร้อนและกันเสียง น้ำหนักเบา ความทนทานต่อแรงดัด และแรงดึง ไม่ก่อให้เกิดสารพิษในการนำมาใช้งานและมีต้นทุนในการผลิตต่ำ นอกจากนี้ยังเป็นการลดปริมาณขยะ เพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ ช่วยลดปริมาณการเผาขยะหลังการใช้งานซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศและเป็นที่มาของโรคในระบบทางเดินหายใจ อีกทั้งเกษตรกรยังสามารถสร้างรายได้เพิ่มจากการจำหน่ายวัตถุดิบซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และเพิ่มวัสดุทางเลือกที่มีราคาถูกและมีคุณภาพในการใช้เป็นวัสดุประกอบอาคาร ดังนั้น ในการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาเส้นใยธรรมชาติเพื่อพัฒนาสมบัติทั้งทางเคมี เชิงกล และสมบัติในการกันเสียง โดยผลิตเป็นแผ่นซีเมนต์เส้นใยที่เหมาะสมกับช่วงความถี่และลักษณะของพื้นที่ที่จะนำไปใช้งาน

ในประเทศไทยมีการนำเส้นใยธรรมชาติเข้ามาเป็นส่วนผสมในวัสดุซีเมนต์ทดแทนซีเมนต์ใยหินที่เป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม และพัฒนาจนเป็นวัสดุที่มีสมบัติที่เหมาะสมในการเป็นวัสดุก่อสร้างและมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน โดยมีส่วนประกอบสำคัญในการผลิต 4 ส่วน คือ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ เส้นใยธรรมชาติ ในการวิจัยได้เลือกใช้เส้นใยกาบมะพร้าวและกากเยื่อใยปาล์ม สารลดปริมาณน้ำ และน้ำ จากสมบัติของเซลลูโลสจะส่งผลให้แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผลิตได้มีความแข็งแรงทนทาน รับแรงกระแทกได้ดี สามารถดัดโค้งได้ มีสมบัติในการทนไฟและกันไฟ สามารถใช้งานได้หลายรูปแบบ โดยวัตถุประสงค์หลัก คือ การพัฒนาสมบัติด้านการกันเสียงจากหลักการควบคุมเสียงรบกวนในสมบัติการดูดกลืนเสียง วัสดุดูดกลืนพลังงานเสียงแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน [2,3] และการลดระดับความดังของเสียงตามกฎมวลสารของวัสดุ (Mass law) คือเมื่อมวลสารเพิ่มขึ้นและความหนาแน่นคงที่ ประสิทธิภาพในการลดระดับพลังงานของเสียงเพิ่มขึ้น [4] มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบการวิจัยและการกำหนดตัวแปร คือ สัดส่วนเส้นใยธรรมชาติต่อปูนซีเมนต์ ความหนา และลักษณะผิวหน้าของแผ่นทดสอบ

2. วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาสมบัติในการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใยกาบมะพร้าวและกากเยื่อใยปาล์ม ซึ่งมีขั้นตอนในการศึกษาประกอบด้วย การทดสอบสมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติในการกันเสียง ดังต่อไปนี้

2.1 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ

การศึกษาเบื้องต้นได้ทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ ทั้งก่อนการปรับสภาพ และหลังจากการปรับสภาพเส้นใย (ด้วยการต้มในน้ำเดือด 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำสะอาด อบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และตัดย่อยเส้นใยให้มีความยาวไม่เกิน 1 เซนติเมตร) และนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยวิธีส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิง (SEM) และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ตามมาตรฐาน Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI) ได้แก่ ปริมาณเถ้า การละลายในน้ำร้อน ปริมาณลิกนิน และปริมาณเซลลูโลส เป็นต้น

2.2 การทดสอบวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าวและกากเยื่อใยปาล์ม

การทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ ได้อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C20 [5] มาตรฐาน ASTM C109 [6] และ มาตรฐาน

ASTM C1185 [7] ตัวแปรที่ศึกษา ประกอบด้วย เส้นใยธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใยกาบมะพร้าวและกากเยื่อใยปาล์ม และอัตราส่วนของเส้นใยธรรมชาติเท่ากับร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์และผงหินปูน) สัดส่วนผสมของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 และมีขั้นตอนการผสมตัวอย่างโดยเริ่มจากการเตรียมซีเมนต์เพสต์ด้วยการผสมน้ำ ปูนซีเมนต์ ผงหินปูน และสารลดน้ำในเครื่องผสม หลังจากนั้น จึงใส่เส้นใยธรรมชาติตามสัดส่วนที่กำหนด เมื่อผสมเข้ากันดีจึงเทส่วนผสมลงในแบบหล่อ เมื่อครบ 24 ชั่วโมงจึงนำตัวอย่างไปบ่มในสภาวะสมดุลที่อุณหภูมิ 23±2 °C และความชื้นสัมพันธ์ 50±5% เป็นเวลา 28 วัน เพื่อนำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นของวัสดุ (Bulk density) ปริมาณความชื้น (Moisture content) และความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water absorption) และสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังรับแรงอัด (Compressive strength) และกำลังรับแรงดัด (Flexural strength)

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์

สัดส่วนผสม	ประเภทเส้นใย	สัดส่วนผสม					
		ปูนซีเมนต์ (กรัม)	ผงหินปูน (กรัม)	ทราย (กรัม)	น้ำ (กรัม)	เส้นใย (กรัม)	สารลดน้ำ (%)
OPC	-	500	500	1,000	250	0	1
C5	เส้นใยมะพร้าว	500	500	1,000	243	50	1
C10		500	500	1,000	243	100	1
C15		500	500	1,000	243	150	1
C20		500	500	1,000	243	200	1
P5	เส้นใยปาล์ม	500	500	1,000	268	50	1
P10		500	500	1,000	268	100	1
P15		500	500	1,000	268	150	1
P20		500	500	1,000	268	200	1

2.3 การทดสอบสมบัติในการกันเสียง

2.3.1 วิธีทดสอบสมบัติในการกันเสียงของวัสดุ

การทดสอบสมบัติในการกันเสียงของวัสดุซึ่งอ้างอิงวิธีการทดสอบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบจากการศึกษางานวิจัย Design of a Test Facility for Transmission Loss Measurement [8] ประกอบด้วยอุปกรณ์ ดังนี้

1. เครื่องวัดระดับความดังของเสียง ความละเอียดระดับ 2 จำนวน 4 เครื่อง

2. ขาตั้งเครื่องวัดระดับความดังเสียง แบบ 3 ตำแหน่ง

3. คอมพิวเตอร์สำหรับเปิดและควบคุมสัญญาณเสียง ⅓ ออกเทปแบนด์

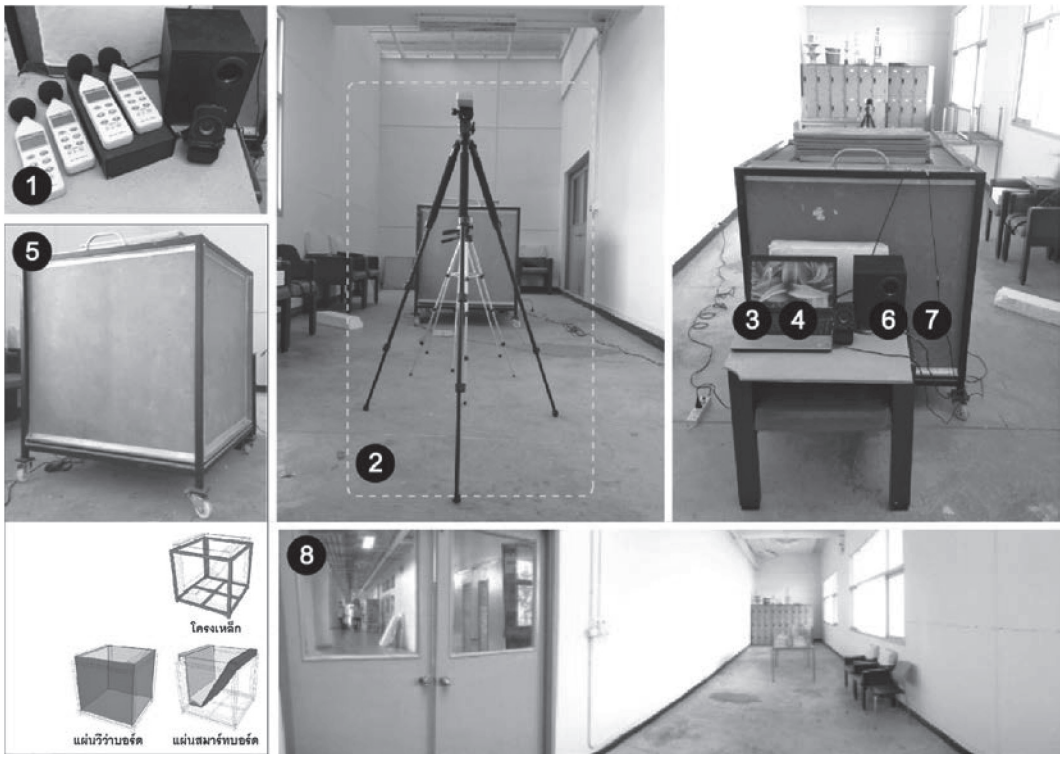
4. สัญญาณเสียง ⅓ ออกเทปแบนด์ ความถี่ 100-10,000 เฮิรตซ์

5. ชุดกล่องเก็บเสียง เป็นกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 1.00x1.00x1.00 เมตร สร้างด้วยโครงสร้างเหล็ก ขนาดหน้าตัด ¾” ภายในบุแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ 4 ชั้น ประกอบด้วย แผ่นวีว่าบอร์ด หนา 8 และ 12 มม. แผ่นสมาร์ท-บอร์ด หนา 4 และ 6 มม. โดยแต่ละชั้นจะคั่นด้วยเส้นยางฟองน้ำสี่เหลี่ยม หนา ¼” ดังแสดงในภาพที่ 1

6. ลำโพงปรับความดังเสียงขนาดเส้นผ่านศูนย์-กลาง 8 นิ้ว 500 วัตต์

7. อุปกรณ์ขยายความดังเสียง

8. ห้องทดลองขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 12 เมตร สูง 4 เมตร



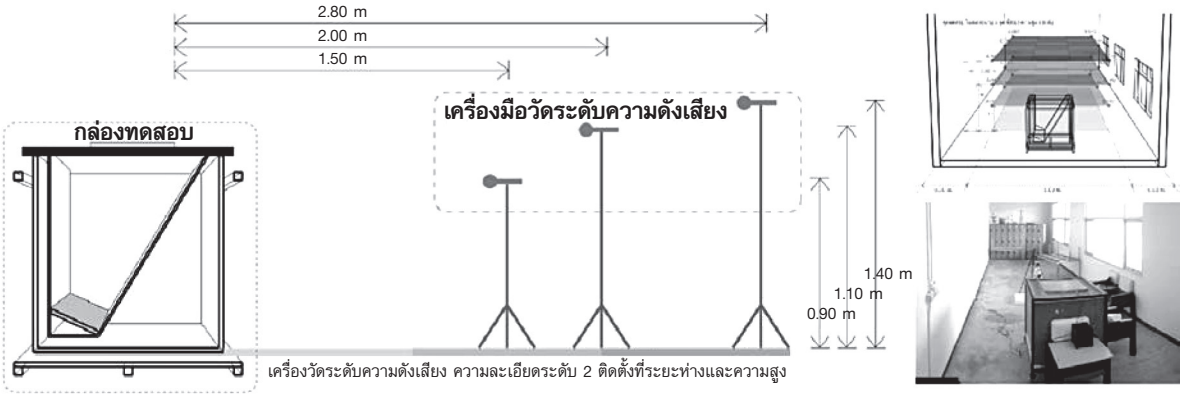
ภาพที่ 1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติในการกันเสียง

ในการทดสอบ ได้วัดระดับความดังเสียง ณ ตำแหน่งวัดห่างจากกล่องทดสอบ 1.50 2.00 และ 2.80 เมตร และมีความสูงจากพื้น 0.9 1.10 และ 1.40 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยการเฉลี่ยระดับความดังเสียงทั้ง 3 ตำแหน่งการวัด จากสมการที่ 1

$$L = 10\log\left[\frac{10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \ldots\ 10^{L_n/10}}{n}\right] \quad \textbf{(1)}$$

เมื่อ L คือ ค่าระดับความดังเสียงเฉลี่ย เมื่อวัดตำแหน่งต่างกัน (เดซิเบล)

L1 คือ ค่าระดับความดังเสียง ณ ตำแหน่งวัดต่างๆ



ภาพที่ 2 ตำแหน่งการวัดความดังเสียง

2.3.2 การสอบเทียบเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ

การสอบเทียบเครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ ใช้แผ่นทดสอบที่มีขนาด 50x60 เซนติเมตร ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ อัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานด้วยเส้นใยธรรมชาติ และความหนาของแผ่นทดสอบ โดยทดสอบประสิทธิภาพการกันเสียงในห้องทดลองที่มีขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 12 เมตร สูง 4 เมตร มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ติดตั้งอุปกรณ์การทดลองและอุปกรณ์วัดระดับเสียง โดยวัดที่ตำแหน่งห่างจากปากกล่องเก็บเสียง 1.50 2.00 และ 2.80 เมตร แต่ละตำแหน่งสูงจากพื้น 0.9 1.1 และ 1.4 เมตร ดังในภาพที่ 2

2. ติดตั้งแผ่นทดสอบแต่ละตัวแปรที่ทำการศึกษาที่ปากกล่องเก็บเสียง

3. เปิดสัญญาณเสียงจากคอมพิวเตอร์ โดยใช้ความถี่ 100 เฮิรตซ์ และปรับระดับความดังที่เครื่องขยายเสียงให้ดังที่สุดเป็นค่าอ้างอิงระดับความดังของแหล่งกำเนิดเสียง

4. อ่านค่าระดับความดังเสียงจากเครื่องวัด ทำการทดลองตำแหน่งละ 3 ครั้งและบันทึกผล

5. ทำการทดลองซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 2-4 แต่เปลี่ยนความถี่ของเสียงเป็น 125 160 200 250 315 400 500 630 800 1,000 1,250 1,600 2,000 2,500 3,150 4,000 5,000 6,300 8,000 และ 10,000 เฮิรตซ์ ตามลำดับ ทำการทดลองซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 2-4 แต่เปลี่ยนตัวแปรของชุดการทดลอง ทั้งอัตราส่วนการแทนที่ของเส้นใย ความหนาของแผ่นทดสอบ และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ใช้งานทั่วไปในปัจจุบัน

ผลที่ได้จากการทดสอบ จะนำไปพิจารณากับระดับความดังเสียงของแหล่งกำเนิด โดยวัดค่าความดังบริเวณปากกล่องทดสอบจากการเปิดลำโพงที่ความถี่ต่างๆ นำค่าที่ได้มาใช้ในการอ้างอิงหาค่าการลดระดับเสียง (Noise reduction; NR) ของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์เพื่อศึกษาความแตกต่างของระดับความดังเสียงก่อนผ่านวัตถุกั้นเสียง กับหลังผ่านวัตถุกั้นเสียง สามารถคำนวณค่าได้จากสมการที่ 1

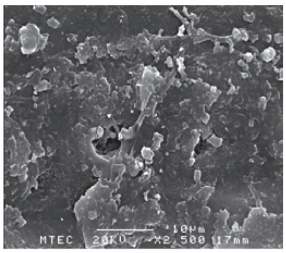
$$NR = SPL1 - SPL2 \quad \textbf{(1)}$$

โดย NR คือ ระดับความดังเสียงที่ลดลง (dB (A))
SPL1 คือ ระดับความดังเสียงเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวาง (dB (A))
SPL2 คือ ระดับความดังเสียงเมื่อมีสิ่งกีดขวาง (dB (A))

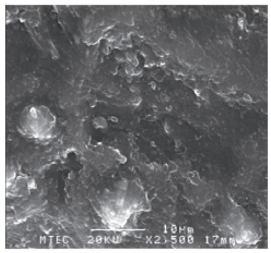
3. ผลการศึกษา

3.1 สมบัติของเส้นใยธรรมชาติ

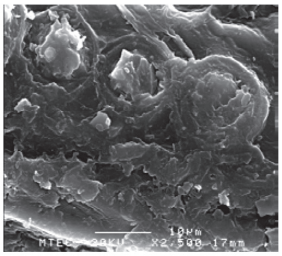
1. ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเส้นใยหลังการปรับสภาพ พบว่า เส้นใยกาบมะพร้าวมีอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวเส้นใย เท่ากับ 0.01-0.03 การดูดซึมน้ำร้อยละ 257.1 และความหนาแน่นของเส้นใยแห้ง เท่ากับ 163.3 กก/ลบ.ม. และกากเยื่อใยปาล์มมีอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวเส้นใย เท่ากับ 0.02-0.08 การดูดซึมน้ำร้อยละ 353.7 และความหนาแน่นของเส้นใยแห้งเท่ากับ 175.0 กก/ลบ.ม.



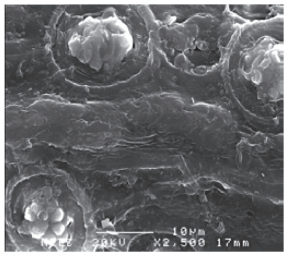
(ก) เส้นใยกาบมะพร้าวก่อนปรับสภาพ



(ข) เส้นใยกาบมะพร้าวหลังปรับสภาพ



(ค) กากเยื่อใยปาล์มก่อนปรับสภาพ



(ง) การเยื่อใยปาล์มหลังการปรับสภาพ

ภาพที่ 3 ภาพถ่ายระดับจุลภาคของเส้นใยมะพร้าวและกากเยื่อใยปาล์ม (กำลังขยาย x2500)

2. คุณลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยธรรมชาติ เมื่อพิจารณาภาพถ่ายระดับจุลภาค (SEM) กำลังขยาย 2,500 เท่า ดังในภาพที่ 3 พบว่า เส้นใยกาบมะพร้าวมีลักษณะของผิวค่อนข้างเรียบและสม่ำเสมอกว่ากากเยื่อใยปาล์ม โดยทั่วไป เส้นใยกาบมะพร้าวและกากเยื่อใยปาล์มก่อนการปรับสภาพจะมีลักษณะของผิวขรุขระและไม่สม่ำเสมอ และมีสิ่งเจือปนบนอนุภาคของเส้นใยอย่างชัดเจน เมื่อมีการปรับสภาพแล้ว เส้นใยทั้งสองชนิดจะมีผิวที่ขรุขระน้อยลง และมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการล้างและการต้มที่อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำเป็นการกำจัดสารประกอบโมเลกุลต่ำบางส่วนออกไป โดยเฉพาะลิกนินที่เกาะอยู่ที่อยู่ระหว่างผนังเซลล์ชั้นนอกของเส้นใยที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลัก ซึ่งสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกทำลายด้วยความร้อนหรือสารเคมี [9] นำไปสู่การเพิ่มปริมาณช่องว่างและพื้นที่ผิวของอนุภาค และเพิ่มความสามารถในการดูดซับความชื้น ส่งผลให้มีความหนาแน่นลดลง สามารถทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้ดียิ่งขึ้น [3]

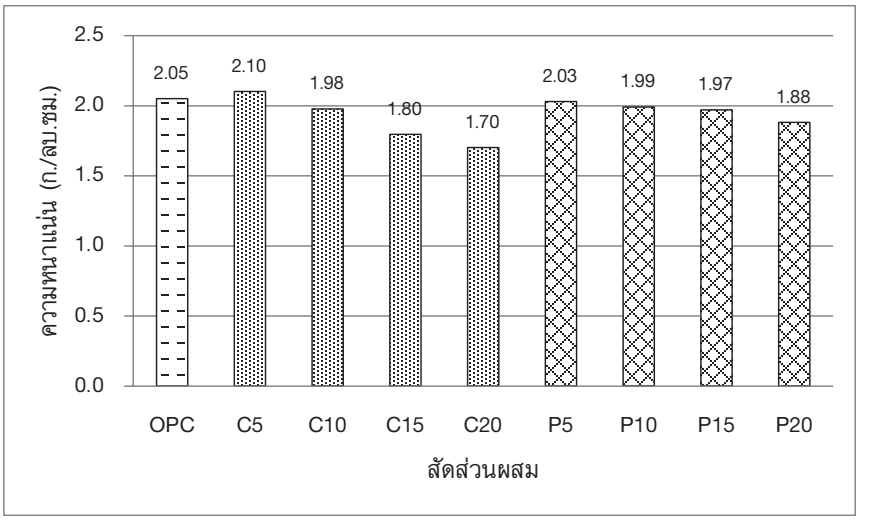
ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยปาล์ม

องค์ประกอบทางเคมี	ก่อนการปรับสภาพ		หลังการปรับสภาพ	
	เส้นใยมะพร้าว	เส้นใยปาล์ม	เส้นใยมะพร้าว	เส้นใยปาล์ม
ปริมาณเถ้า (%)	2.65	6.99	0.80	4.53
การละลายในแอลกอฮอลล์-เบนซีน (%)	9.32	11.1	1.76	6.89
การละลายในน้ำร้อน (%)	9.34	8.21	0.76	2.43
การละลายในสารละลาย 1% NaOH (%)	38.5	44.2	26.3	26.3
ลิกนิน (Lignin) (%)	29.8	24.5	32.2	32.4
โฮโลเซลลูโลส (Holocellulose) (%)	56.8	47.7	70.9	63.8
อัลฟาเซลลูโลส (Alpha-cellulose) (%)	34.9	32.6	53.9	52.1
เพนโตซาน (Pentosan) (%)	14.4	16.5	15.14	20.9

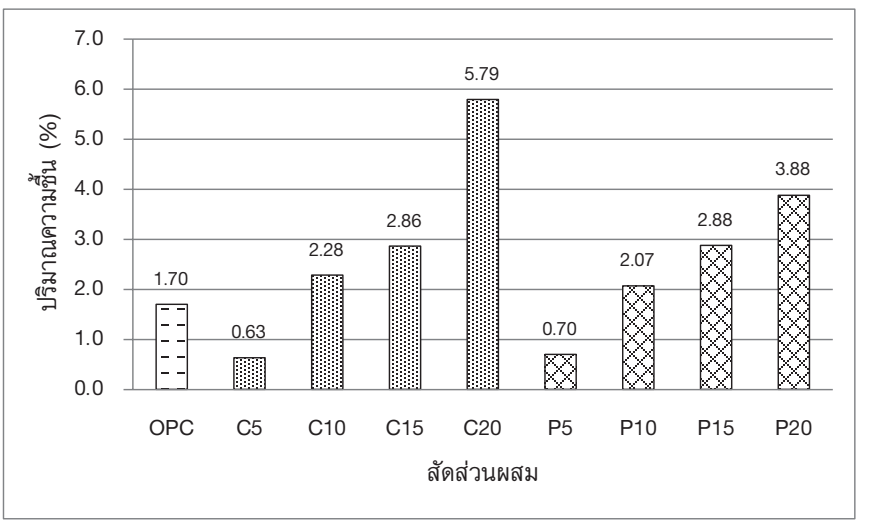
3. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติทั้งสองชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า เมื่อผ่านการปรับสภาพแล้ว เส้นใยทั้งสองชนิดมีสัดส่วนของเซลลูโลสต่อปริมาตรเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารประกอบโมเลกุลต่ำบางตัวถูกทำลายด้วยความร้อนโดยมีปฏิกริยาที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100°C ขึ้นไป [10,11] และปริมาณลิกนินในกากเยื่อใยปาล์มจะมีมากกว่าเส้นใยกาบมะพร้าว เนื่องจากลักษณะโครงสร้างที่เป็นโพลิเมอร์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ [11] และปริมาณของเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เส้นใยมีสมบัติความเป็นฉนวนดูดซับเสียงที่ดีขึ้นตามลักษณะของเยื่อแผ่นเมมเบรน [12]

3.2 สมบัติทางกายภาพของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์

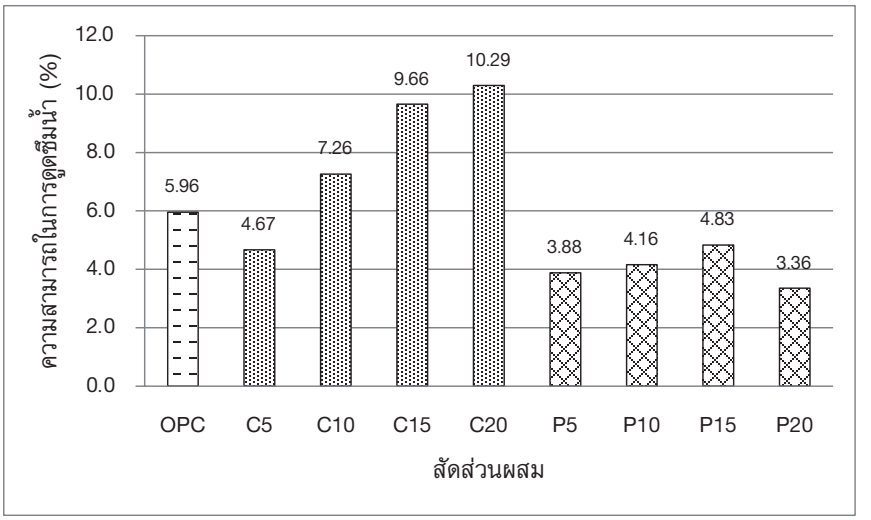
ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ ได้ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1185 และ ASTM C20 ประกอบด้วย ค่าความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และความสามารถในการดูดซึมน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 4-6 พบว่า เมื่อมีการเพิ่มปริมาณการแทนที่เส้นใยทั้งสองชนิด ค่าความหนาแน่นของแผ่นทดสอบจะลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น [13] เนื่องจากเส้นใยที่มีปริมาณช่องว่างและมีรูพรุนมากกว่าจะเข้าไปแทนที่ปูนซีเมนต์ทำให้โมเลกุลภายในเกาะกันโดยมีช่องระยะระหว่างโมเลกุลมากขึ้น วัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยเส้นใยกาบมะพร้าวจะมีความหนาแน่นต่ำกว่าวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีการแทนที่ด้วยกากเยื่อใยปาล์ม เนื่องจากผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเส้นใย พบว่า เส้นใยมะพร้าวมีความหนาแน่นต่ำกว่าเส้นใยปาล์ม และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าเส้นใยปาล์ม เมื่อนำมาผสมกับปูนซีเมนต์จึงทำให้วัสดุซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยมะพร้าวมีช่องว่างเกิดขึ้นมากกว่าและวัสดุซีเมนต์มีความหนาแน่นต่ำกว่า



ภาพที่ 4 ความหนาแน่นของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์



ภาพที่ 5 ปริมาณความชื้นของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์

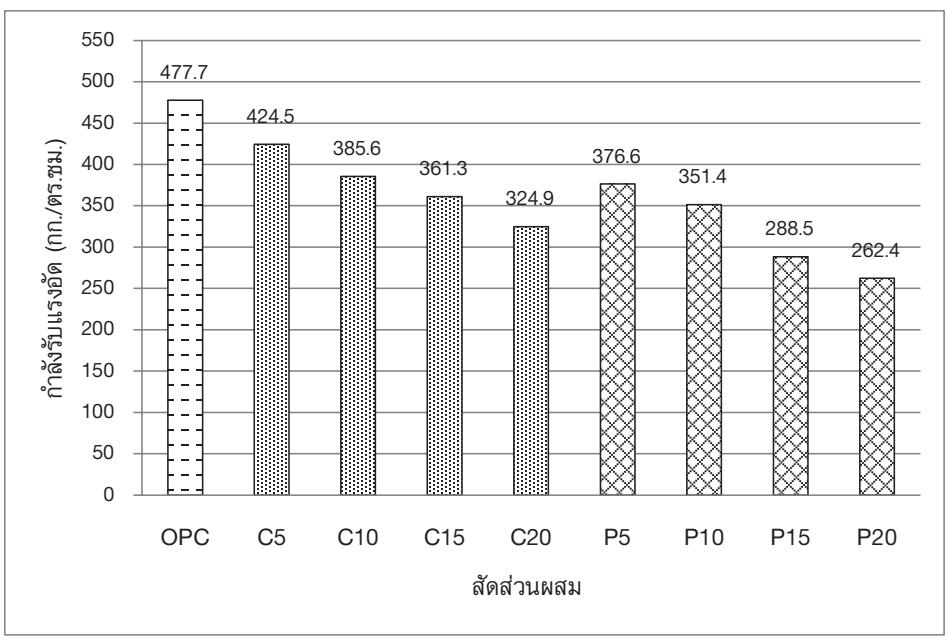


ภาพที่ 6 ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์

3.3 สมบัติเชิงกลของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์

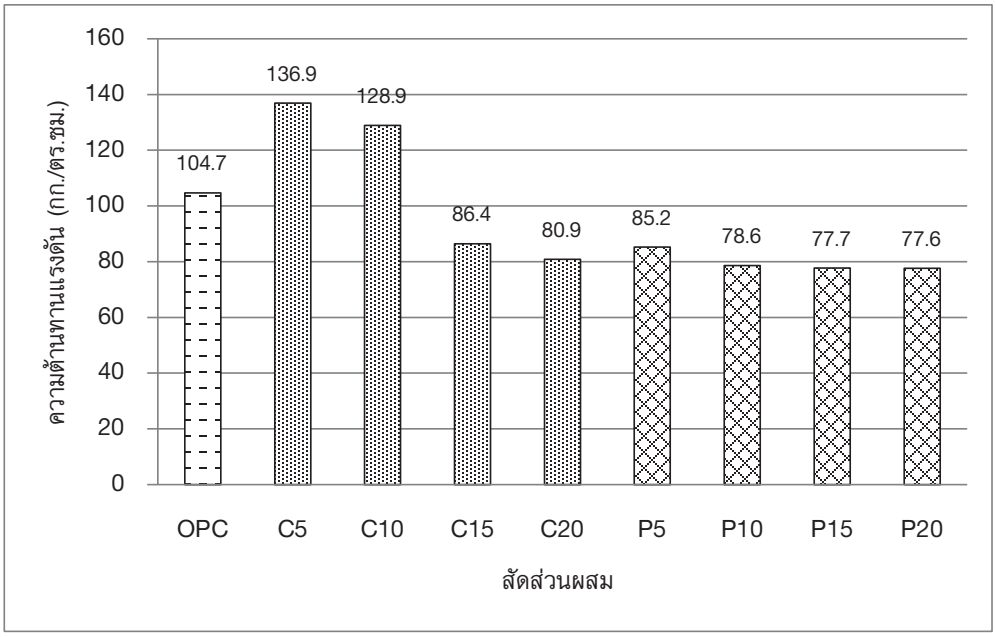
การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM C109 [6] และ ASTM C1185 [7] ได้แก่ กำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัดของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ ที่อายุ 28 วัน มีผลการศึกษา ดังนี้

กำลังรับแรงอัดของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีการแทนที่วัสดุประสานด้วยเส้นใยธรรมชาติทั้งสองชนิด ได้แก่ เส้นใยกาบมะพร้าวและกากเยื่อใยปาล์มในสัดส่วนผสมต่างๆ ดังในภาพที่ 7 มีค่าอยู่ระหว่าง 262.4 ถึง 515.2 กก./ซม.^{2} เมื่อมีการเพิ่มอัตราการแทนที่ของเส้นใยในวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ ทำให้ปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนากำลังรับแรงอัดมีสัดส่วนลดลง และส่งผลให้กำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลง [14]



ภาพที่ 7 กำลังรับแรงอัดของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์

กำลังรับแรงดัดของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีการแทนที่วัสดุประสานด้วยเส้นใยธรรมชาติทั้งสองชนิดในสัดส่วนต่างๆ ดังในภาพที่ 8 พบว่า การเพิ่มปริมาณอัตราการแทนที่ของเส้นใยในวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ ส่งผลให้กำลังรับแรงดัดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจาก ปริมาณเส้นใยธรรมชาติที่ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ส่งผลต่อการพัฒนากำลังของวัสดุ และตามมาตรฐาน ASTM C1186 สำหรับแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ (flat fiber-cement sheet) ซึ่งกำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำของกำลังรับแรงดัดเท่ากับ 40 กก./ซม.^{2} [15] ผลการศึกษา พบว่า กำลังรับแรงดัดของทุกอัตราการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเส้นใยธรรมชาติทั้งสองชนิด ได้แก่ เส้นใยกาบมะพร้าวและกากเยื่อใยปาล์ม มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

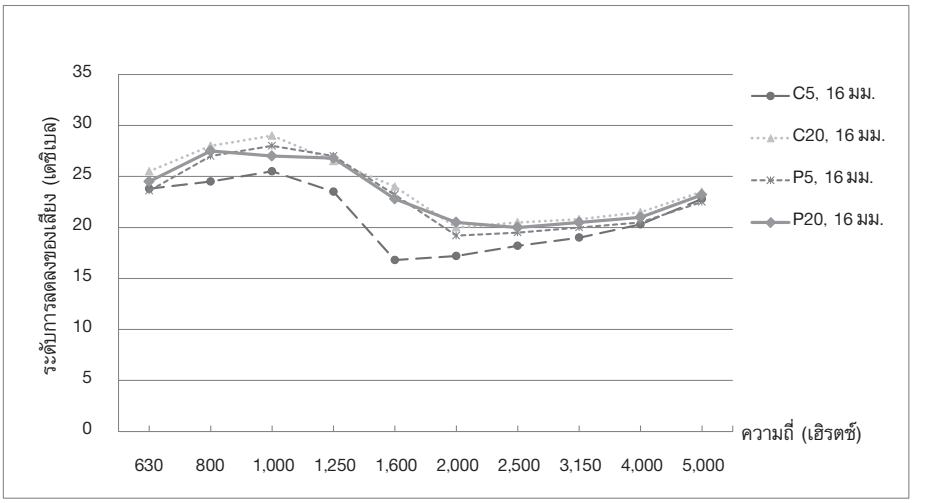


ภาพที่ 8 กำลังรับแรงดัดของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์

3.4 ประสิทธิภาพในการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

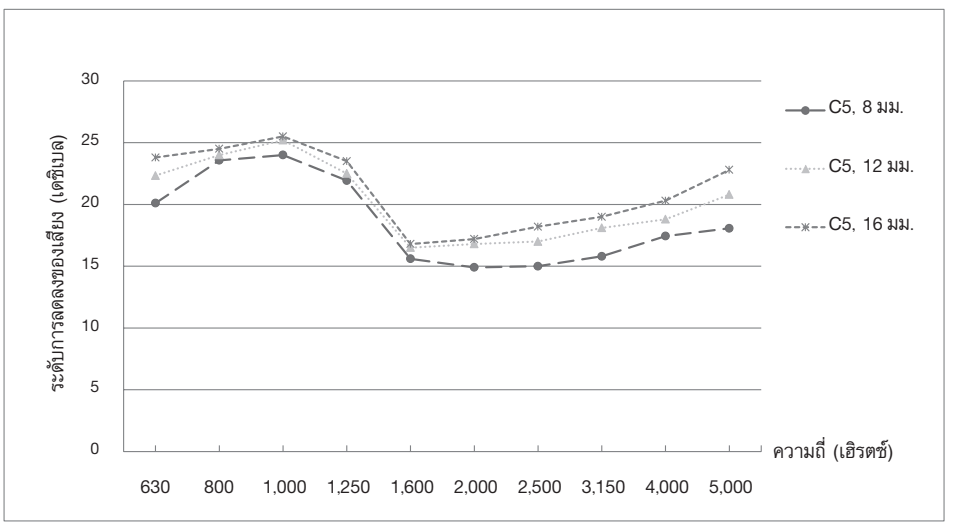
ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ในงานวิจัย ได้แบ่งออกเป็น 4 หัวข้อ ดังนี้

1. ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีการแทนที่วัสดุประสานด้วยเส้นใยกาบมะพร้าวและกากเยื่อใยปาล์ม ดังในภาพที่ 9 พบว่า การแทนที่วัสดุประสานด้วยเส้นใยธรรมชาติในอัตราร้อยละ 5 และ 20 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยปาล์มมีระดับการลดความดังของเสียงไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากเส้นใยทั้งสองชนิดมีองค์ประกอบของลิกนินและเซลลูโลสในปริมาณใกล้เคียงกัน จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกันเสียงอยู่ในระดับที่เทียบเคียงกันได้ [12] ในกรณีการแทนที่วัสดุประสานด้วยเส้นใยธรรมชาติในอัตราร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยมะพร้าวมีค่าการลดระดับความดังเสียงดีกว่าแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยปาล์มอยู่เล็กน้อย เนื่องจาก เส้นใยมะพร้าวสามารถกระจายตัวได้ดีในส่วนผสมซึ่งส่งผลให้วัสดุมีความหนาแน่นต่ำลง [13]



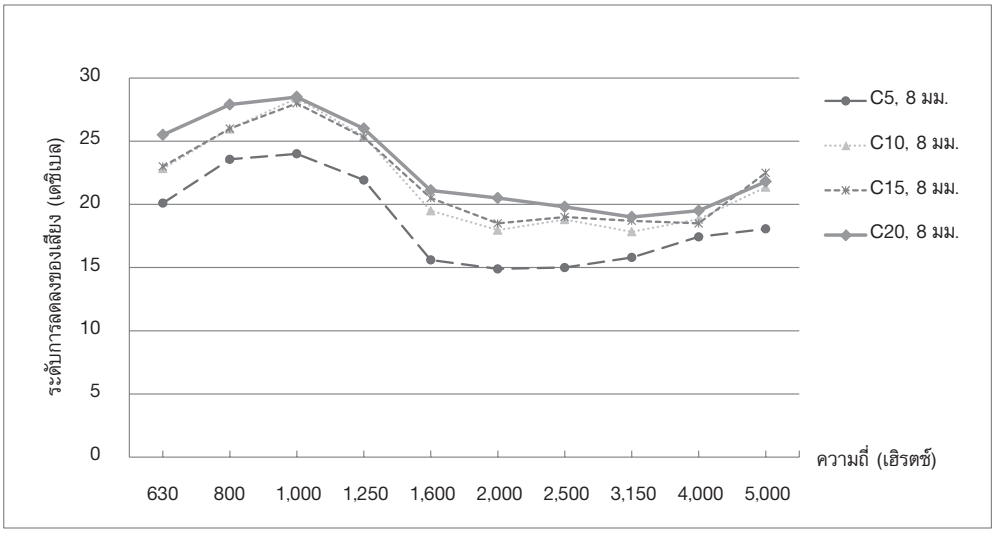
ภาพที่ 9 ค่าการลดระดับความดังเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ

2. การศึกษาประสิทธิภาพในการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติที่มีความหนาแตกต่างกัน ดังในภาพที่ 10 โดยใช้วัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีการแทนที่วัสดุประสานด้วยเส้นใยมะพร้าวในอัตราร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเป็นสัดส่วนผสมที่มีปริมาณเส้นใยธรรมชาติมากที่สุดและให้กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานเพื่อใช้ในการทดสอบการลดระดับความดังของเสียง ผลการศึกษาพบว่า เมื่อแผ่นทดสอบมีความหนามากขึ้นจะส่งผลให้ค่าระดับการลดลงของเสียงเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนาเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการลดระดับความดังเสียงของวัสดุ และผลการวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นซึ่งทำการทดสอบแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติ เช่น เส้นใยสับปะรด และชานอ้อย [16] และเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยแก้วโพลิเอสเทอร์ [17] ค่าการลดระดับความดังเสียงจะลดลงมากในช่วงความถี่ 100-5,000 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นช่วงคลื่นความถี่ต่ำถึงความถี่กลาง โดยค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงขึ้นอยู่กับมวลและความแข็งของวัสดุ [18]



ภาพที่ 10 ค่าการลดระดับความดังเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีความหนาแตกต่างกัน

3. การศึกษาประสิทธิภาพในการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีการแทนที่วัสดุประสานด้วยเส้นใยธรรมชาติในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ดังในภาพที่ 11 โดยการเลือกใช้แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีการแทนที่วัสดุประสานด้วยเส้นใยมะพร้าวในอัตราร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน เนื่องจากเป็นสัดส่วนผสมที่มีสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดที่ดี ผลการศึกษา พบว่า การเพิ่มสัดส่วนการแทนที่ของเส้นใยธรรมชาติ ส่งผลให้ค่าระดับการลดลงของเสียงเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของเส้นใยส่งผลต่อความหนาแน่น (density) ความแข็ง (stiffness) และสมบัติในการดูดกลืนเสียงของวัสดุประเภทไฟเบอร์ซีเมนต์ [12]



ภาพที่ 11 ค่าการลดระดับความดังเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าว

4. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกันเสียงของตัวอย่างแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ในงานวิจัยนี้กับผลิตภัณฑ์แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ยี่ห้อ A และ B ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด (ซึ่งมีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3) โดยทำการศึกษาแผ่นตัวอย่างที่มีความหนา 8 มม. ซึ่งนิยมใช้เป็นผนังภายในอาคาร และความหนา 16 มม. ซึ่งนิยมใช้เป็นผนังภายนอกอาคาร ผลการศึกษา พบว่า ผลิตภัณฑ์ A และ B มีประสิทธิภาพในการกันเสียงใกล้เคียงกันมาก โดยผลิตภัณฑ์ B มีความสามารถในการกันเสียงดีกว่าเล็กน้อยในระดับที่มนุษย์ไม่สามารถแยกแยะได้ คือ ต่ำกว่า 2 เดซิเบล ดังแสดงในภาพที่ 12 ทั้งนี้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ B มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ A แต่มีกำลังรับแรงดัดสูงกว่า ซึ่งส่งผลให้มีความแข็งมากกว่าและสามารถลดระดับความดังเสียงได้ดีกว่า [18,19]

ตารางที่ 3 ข้อมูลทางเทคนิคของตัวอย่างแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ C20 ผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B

ข้อมูลจำเพาะ	C20	ผลิตภัณฑ์ A	ผลิตภัณฑ์ B
ความหนาแน่น (กก/ลบ.ม.)	1,780	1,300	1,260
ปริมาณความชื้นในแผ่น (%)	9.55	9-15	14
กำลังรับแรงดัด (เมกะปาสคาล)	7.7	12.0	17.5

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยมะพร้าวในอัตราร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน (C20) ในการเปรียบเทียบค่าการลดระดับความดังเสียงกับผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B เนื่องจาก เส้นใยกาบมะพร้าวมีประสิทธิภาพในการกันเสียงได้ดีกว่ากากเยื่อใยปาล์ม และการผสมเส้นใยธรรมชาติในอัตราร้อยละ 20 โดยน้ำหนักเป็นสัดส่วนที่มากที่สุดของส่วนผสมซึ่งมีสมบัติเชิงกลผ่านมาตรฐานการเป็นวัสดุประกอบอาคาร ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 13 พบว่า แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีการแทนที่วัสดุประสานด้วยเส้นใยกาบมะพร้าว (C20) มีประสิทธิภาพในการกันเสียงดีกว่าผลิตภัณฑ์ A และ B ในช่วงความถี่ต่ำ 630-1,000 เฮิรตซ์ ประมาณ 6-8 เดซิเบล ซึ่งเป็นช่วงที่มนุษย์เริ่มรับรู้ได้ [20] ทั้งนี้ เนื่องจากแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ C20 มีความหนาแน่นสูงกว่าค่อนข้างมาก ซึ่งส่งผลให้วัสดุมีความแข็งมากกว่าและสามารถลดระดับความดังเสียงในช่วงความถี่ต่ำได้ดีกว่า [18-20] อย่างไรก็ตาม ในช่วงความถี่กลาง 1,600-5,000 เฮิรตซ์ ผลิตภัณฑ์ A และ ผลิตภัณฑ์ B มีประสิทธิภาพในการกันเสียงได้ดีกว่าอย่างชัดเจน เนื่องจาก กระบวนการผลิตในระบบอุตสาหกรรมที่มีมาตรฐานและส่วนผสมพิเศษอื่นที่ช่วยพัฒนาสมบัติในด้านต่างๆ ซึ่งแตกต่างจากวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ในงานวิจัยนี้ที่มุ่งเน้นการใช้วัสดุธรรมชาติเป็นส่วนประกอบในกระบวนการผลิตและการขึ้นรูปโดยไม่มีการอัดแรง

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาสมบัติของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปผลเพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการนำวัสดุทางการเกษตรมาผลิตแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ ได้ดังนี้

1. ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่ของเส้นใยธรรมชาติในส่วนผสมจะส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดและการรับแรงดัดลดลง เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติถูกนำไปใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนากำลังรับแรงอัด โดยที่วัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ในงานวิจัยนี้มีสมบัติเชิงกลผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM C1186 สำหรับแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ (flat fiber-cement sheet) [15,21]

2. ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ พบว่า

- การเพิ่มความหนาของแผ่นทดสอบและการเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่วัสดุประสานด้วยเส้นใยธรรมชาติ จะส่งผลให้แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์มีความสามารถในการป้องกันเสียงดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการลดระดับความดังของมวลสารวัสดุและการสูญเสียการส่งผ่านเสียงของวัสดุที่ผสมเส้นใยธรรมชาติ [22,23]

- แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าวมีความสามารถในการลดระดับความดังเสียงดีกว่าแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยปาล์ม เนื่องจากสมบัติทางเคมีของเส้นใยกาบมะพร้าวมีองค์ประกอบของเซลลูโลสในปริมาณมากและมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่สามารถกระจายตัวได้ดีในส่วนผสม จึงส่งผลให้มีสมบัติการเป็นฉนวนกันเสียงดีกว่าเส้นใยปาล์ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นที่ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยธรรมชาติ และสมบัติการดูดซับเสียงของวัสดุที่ผสมเส้นใยธรรมชาติ [23-25]

- ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติกับผลิตภัณฑ์ A และ B ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด พบว่า แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าวในอัตราร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน มีความสามารถในการกันเสียงดีกว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวในช่วงความถี่ต่ำระหว่าง 630-1,000 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่ค่าการสูญเสียการส่งผ่านเสียงเป็นไปตามกฎของมวลโดยวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงจะมีประสิทธิภาพในการกันเสียงดีกว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ [23]

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2555 และทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปีการศึกษา 2556

6. เอกสารอ้างอิง

1. Fouladi, M., Nor, M., Ayub, M. and Leman, Z., 2010, “Utilization of Coir Fiber in Multilayer

Acoustic Absorption Panel", *Applied Acoustics*, Vol. 71(3), pp. 241-249.

2. Delvasto, S., Toro, E.F., Perdomo, F. and Mejía de Gutiérrez, R., 2010, "An Appropriate Vacuum Technology for Manufacture of Corrugated Fique Fiber Reinforced Cementitious Sheets", *Construction and Building Materials*, Vol. 24(2), pp. 187-192.

3. Park, S. B., 2000, "Concrete for Sound Absorption", *Applied Acoustics*, Vol. 12 (5), pp. 33-37.

4. Haris, D. A., 1976, *Noise Control Manual for Resident Buildings*, New York.

5. ASTM, 2011, *ASTM C20 Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water*, Philadelphia, American Society of Testing and Material (ASTM).

6. ASTM, 2011, *ASTM C109 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars* (*using 2-in. or [50-mm] cube specimens*), Philadelphia, American Society of Testing and Material (ASTM).

7. ASTM, 2011, *ASTM C1185 Standard Test Methods for Sampling and Testing Non-Asbestos Fiber-Cement Flat Sheet, Roofing and Siding Shingles, and Clapboards*, Philadelphia, American Society of Testing and Material (ASTM).

8. Papanikolaou, G. and Trochides, A., 1984. *Design of a Test Facility for Transmission Loss Measurement*, New York.

9. Asasutjarit C., Charoenva S., Hirunlabh, J., and Khedari, J., 2009. "Material and Mechanical Properties of Pretreated Coir-Based Green Composites," *Composites Part B: Engineering*, Vol. 40, pp. 633-637.

10. Saheb, N. D. and Jog, J. P., 1999, "Natural Fiber Polymer Composites", *Polymer Technology*, Vol. 18, pp. 351-363.

11. Yang, J., Yan, R., Chen, H., Lee, D. and Zheng, C., 2007, "Characteristics of Hemicellulose, Cellulose and Lignin Phrolysis", *Fuel*, Vol. 86(12), pp. 1781-1788.

12. Neithalath, N., Weiss, J. and Olek, J., 2004, "Acoustic Performance and Damping Behavior of Cellulose–Cement Composites", *Cement and Concrete Composites*, Vol. 26(4), pp. 359-370.

13. Cook, D.J., Pama, R.P. and Weerasingle, H., 1978, "Coir Fibre Reinforced Cement as a Low Cost Roofing Material", *Building and Environment*, Vol. 13(3), pp. 193-198.

14. Seung, B. P., Dae, S. S. and Lee, J., 2004, "Studies on the Sound Absorption Characteristics of Porous Concrete Based on the Content of Recycled Aggregate and Target Void Ratio", *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, pp. 1846–1854.

15. ASTM, 2011, *ASTM C1186 Standard Specification for Flat Fiber-Cement Sheets*, Philadelphia, American Society of Testing and Material (ASTM).

16. Ng, C. F. and Zheng, H., 1997, "Sound Transmission through Double-leaf Corrugated Panel", *Applied Acoustics*, Vol. 53 (1-3), pp. 15-34.

17. Narang, P. P., 1995, "Material Parameter Selection in Polyester Fibre Insulation for Sound Transmission and Absorption", *Applied Acoustics*, Vol. 45, pp. 335-358.

18. Miller, R. K. and Montone, W. V., 1978, *Handbook of Acoustical Enclosures and Barriers, Atlanta*, Fairmont Press.

19. Communities Scotland, 2006, *Improving Sound Insulation in Dwellings*, Edinburgh, Communities Scotland.

20. Egan, M. D., 1972, *Concept in Architectural Acoustic*, New York, McGraw-Hill.

21. Lertwattanaruk, P. and Suntijitto, A., 2012,

"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* (*JARS*), Vol. 9(1), pp.113-124

22. Yang, H., Kim, D. and Kim, H., 2003, "*Rice Straw–Wood Particle Composite for Sound Absorbing Wooden Construction Materials", Bio-resource Technology*, Vol. 86(2), pp. 117-121.

23. Ardanuy, M., Claramunt, J. and Filho, R., 2015, "Cellulosic Fiber Reinforced Cement-Based Composites: A Review of Recent Research", *Construction and Building Materials*, Vol. 79(15), pp. 115-128.

24. Masuwan, K., 2013, "Development of Fiber Cement Board Using Natural Fibers for Improving Sound Insulation", *Proceedings of the International Conference on Sustainable Building Asia* (*SB13 SEOUL*), Seoul, Korea.

25. Abdul Khalil, H.P.S., Ireana Yusra, A.F., Bhat, A.H., and Jawaid, M., 2010, "Cell Wall Ultrastructure, Anatomy, Lignin Distribution, and Chemical Composition of Malaysian Cultivated Kenaf Fiber", *Industrial Crops and Products*, Vol. 31(1), pp. 113-121.