

ผลของเถ้าลอยไม้ยางพาราต่อสภาพนำความร้อนของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์

Effect of Rubberwood Fly Ash on Thermal Conductivity of Cement Fiber Board

จุฑามาศ ลักษณะกิจ¹ สมมาตร สวัสดิ์^{1*} วิศิษฐ์ศักดิ์ ทับยัง¹ นันทชัย ชูศิลป์¹ ถาวร เกื้อสกุล¹
ทวีศักดิ์ ทองขวัญ¹ นพดล คงเพชร¹ ธีระวัฒน์ เพชรดี¹ และฐานวิทย์ แนมใส¹

Chuthamat Laksanakit¹ Sommart Swasdi^{1*} Wisitsak Tabyang¹ Nuntachai Chusilp¹
Tavorn Kuasakul¹ Taweesak Thongkun¹ Nopadon Kongphet¹ Theerawat Petchdee¹
and Thanwit Naemsai¹

Received: October 15, 2023; Revised: November 23, 2023; Accepted: November 30, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของเถ้าไม้ยางพาราต่อสภาพนำความร้อนของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ที่ทำจากซีเมนต์ เถ้าลอยไม้ยางพารา เยื่อกระดาษและเส้นใยต้นกล้วย โดยใช้เถ้าลอยไม้ยางพาราแทนที่ซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ใช้เส้นใยกระดาษและเส้นใยต้นกล้วยคงที่ร้อยละ 46 และ 1 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ตามลำดับ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.6 ความหนา 10 mm อัดขึ้นรูปกึ่งแห้งด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกใช้แรงกด 25 Ton ผลการทดสอบพบว่า การเพิ่มขึ้นของเถ้าลอยไม้ยางพาราทำให้สภาพการนำความร้อนลดลงและดูดซับเสียงได้ดีขึ้น แต่ไม่ทำให้ความหนาแน่น ความต้านทานแรงดัด และแรงดึงตึงจากผิวหน้าเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ อัตราส่วนที่มีค่าการนำความร้อนดีที่สุดคือ อัตราส่วนที่ผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 20 มีค่าการนำความร้อน 0.620 W/mK ซึ่งสูงกว่าแผ่นเซลโลกรีตที่มีจำหน่ายทั่วไปเพียงร้อยละ 8

คำสำคัญ : เถ้าลอยไม้ยางพารา; แผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์; สภาพนำความร้อน; ความเป็นฉนวน

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

¹ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

* Corresponding Author, Tel. 08 1898 8759, E - mail: sommart.s@rmutsv.ac.th

Abstract

This research aimed to investigate the influence of rubberwood fly ash on the thermal conductivity of fiber cement sheets made from cement, rubberwood fly ash, paper pulp, and banana fibers. Rubberwood fly ash was used as a replacement for cement at percentages of 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, and 20 % by weight of the binder, while the paper pulp and banana fibers were fixed at 46 % and 1 % by weight of the binder. The water-to-binder ratio (w/b) was set at 0.6, and the thickness of the sheets was 10 mm. The sheets were molded using a semi-dry process using a hydraulic pressing machine with a force of 25 tons. The results showed that increasing of the percentage of rubberwood fly ash reduced the thermal conductivity or increased thermal insulation and also improved sound absorption properties. However, it did not significantly affected density, compressive strength, and tensile strength perpendicular to the surface. The optimal ratio for satisfactory thermal conductivity was a mixture with 20% rubberwood fly ash, which had a thermal conductivity of 0.620 W/mK, higher than the typical cellocrete sheets with only 8 %.

Keywords: Para Rubber Wood Fly Ash; Fiber Cement Sheet; Thermal Conductivity; Thermal Insulation

บทนำ

แผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์เป็นวัสดุก่อสร้างที่มีการใช้งานหลากหลายรูปแบบทั้งงานผนัง ฝ้าเพดาน และพื้น ส่วนผสมหลักที่ใช้ในการผลิตแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์คือ ซีเมนต์และเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืช เช่น สบ มะพร้าว และ/หรือ เส้นใยสังเคราะห์แล้วเอามาขึ้นรูป และนำไปอบไอน้ำโดยใช้แรงดันสูงทำให้มีความแข็งแรง ทนน้ำ สามารถติดตั้งง่าย ต้นทุนหลักของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์แปรผันตามปริมาณปูนซีเมนต์ หากมีการนำเถ้าลอยไม้ยางซึ่งเป็นเถ้าชีวมวลประเภทหนึ่งและเป็นผลพลอยได้ (By Product) จากภาคอุตสาหกรรมมาแทนที่ปูนซีเมนต์จะช่วยลดต้นทุนได้ทางหนึ่ง มีการศึกษาการนำเถ้าไม้ยางพารามาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ทั้งในงานซีเมนต์มอร์ตาร์ [1] พบว่าการนำเถ้าไม้ยางพารามาผสมกับผงพืชมิมชาทำให้มอร์ตาร์มีกำลังอัดและความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุมและหากเติมน้ำมันเครื่องใช้แล้วลงในส่วนผสมของมอร์ตาร์ไม่เกินร้อยละ 0.2 จะเพิ่มความสามารถในการต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงขึ้น ทั้งนี้ต้องผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราไม่เกินร้อยละ 20 [2] เมื่อนำเถ้าไม้ยางพารามาประยุกต์กับผลิตภัณฑ์อิฐบล็อกประสาน ซึ่งได้ข้อสรุปว่า การเติมเถ้าไม้ยางพาราในส่วนผสมทำให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นและกำลังอัดลดลง แต่ทำให้มีสมบัติต้านทานความร้อนดีขึ้น และหากเพิ่มระยะเวลาบ่มนานขึ้นจะทำให้มีการพัฒนากำลังอัดได้สูงกว่า 4.5 MPa [3] - [6] ในกรณีที่นำเถ้าไม้ยางพารามาใช้กับผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นพบว่า ถ้าแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าไม้ยางพาราขนาดเล็ก 5 - 10 μm ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จะทำให้กำลังอัดลดลงประมาณร้อยละ 10 [7] สำหรับการผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราในผลิตภัณฑ์กระเบื้องเซรามิกมวลเบาพบว่า เถ้าลอยไม้ยางพารามีผลกระทบต่อกำลังอย่างมากและแนะนำให้ผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราไม่เกินร้อยละ 10 เพราะจะได้ส่วนผสมกระเบื้องเซรามิกมวลเบาที่มีสมบัติที่เหมาะสมที่จะพัฒนาต่อไปในเชิงอุตสาหกรรมได้ [8] - [9] และสำหรับการผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราในงานคอนกรีตสำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างสำเร็จรูป [10] คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น [11] คอนกรีตมวลเบา [12] พบผลลัพธ์ในทิศทางเดียวกัน คือ เมื่อปริมาณเถ้าไม้ยางพาราเพิ่มขึ้นกำลังอัดลดลง แต่ถ้าผสมเถ้าไม้ยางพาราไม่เกินร้อยละ 20 ของน้ำหนักวัสดุประสานและใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานไม่เกิน 0.55 คอนกรีตจะยังรับกำลังได้ตามเกณฑ์ มยพ. 1101-64 สำหรับคอนกรีตโครงสร้างทั่วไป ค.1 ซึ่งกำหนดให้กำลังรับแรงอัดได้

ไม่น้อยกว่า 150 ksc เกณฑ์มอก. 827-2531 สำหรับคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น และมอก. 2035-2543 สำหรับคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นสำหรับงานหนัก ซึ่งกำหนดให้กำลังรับแรงอัดของเฉลี่ยได้ไม่น้อยกว่า 40 MPa และ 40 MPa

ไม่เพียงแต่การใช้เถ้าไม้ยางพาราในงานมอร์ตาร์และงานคอนกรีตยังมีการนำเถ้าไม้ยางมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรัง เพราะเถ้าไม้ยางพารามีปริมาณ CaO สูงจึงมีศักยภาพในการเป็นวัสดุประสานได้ [13] แต่หากนำมาใช้กับงานดินซีเมนต์ในรูปแบบของอิฐบล็อกประสานพบว่า การเติมเถ้าไม้ยางพาราจะทำให้อิฐมีรูพรุนและต้านทานความร้อนได้สูงขึ้น [4] นอกจากนี้ยังมีการใช้เถ้าไม้ยางพาราคดผสมในพลาสติกชีวภาพ เพราะช่วยเพิ่มการยึดเกาะและปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อนของพลาสติกชีวภาพได้ [14] หรือผสมในวัสดุเชิงประกอบชีวภาพในปริมาณไม่เกินร้อยละ 20 ทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงขึ้น แต่ระยะยืด ณ จุดขาดลดลง เพราะเถ้าไม้ยางพารามีความเป็นกรดต่างสูงซึ่งมีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โปรตีนของกอลลูตินข้าวสาลี ซึ่งทำให้วัสดุเชิงประกอบชีวภาพแข็งแรงขึ้นแต่ยืดหยุ่นน้อยลง [15]

จากวิจัยที่ผ่านมาได้ข้อสรุปว่า เถ้าไม้ยางพารามีส่วนช่วยทำให้คุณสมบัติเชิงความร้อนของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดีขึ้น ขณะที่งานวิจัยที่มีการนำเถ้าลอยไม้ยางพารามาเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์แผ่นฉนวนยังมีอยู่อย่างจำกัด [16] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะนำเถ้าลอยไม้ยางพารามาผลิตซีเมนต์ไฟเบอร์ที่มีความเป็นฉนวน โดยนำมาผสมกับเส้นใยกล้วยซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากภาคเกษตร และเส้นกระดาษซึ่งเป็นขยะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และมีจำนวนมากที่สุด (ร้อยละ 19) ของขยะที่เกิดขึ้นทั่วประเทศ หรือประมาณ 2.47 ล้านตัน [17] การนำขยะจากกระดาษซึ่งเป็นเส้นใยจากพืชมาใช้ซ้ำก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งในทางเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และทรัพยากรธรรมชาติ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย ซีเมนต์ไฮดรอลิกชนิดใช้งานทั่วไป เถ้าลอยไม้ยางพารา ซึ่งทำหน้าที่เป็นวัสดุประสาน เถ้าลอยไม้ยางพาราของการศึกษานี้ได้จากเตาเผาของกระบวนการผลิตไม้อัดเทียมของบริษัท พาเนล พลัส จำกัด อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) พบว่ามีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) และโพแทสเซียมออกไซด์ (K₂O) เป็นองค์ประกอบทางเคมีเป็นหลักร้อยละ 31.9 23.0 และ 10.4 ตามลำดับ โดยมีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) ร้อยละ 7.7 เส้นใยจากต้นกล้วยน้ำว้าสกัดแยกเส้นใยด้วยวิธีเชิงกลโดยนำลำต้นกล้วยมาตัดให้ยาวประมาณ 50 cm จากนั้นลอกออกให้เป็นกากกล้วย แล้วนำไปต้มน้ำเพื่อให้เยื่อเซลลูโลสหลุดออกเหลือเฉพาะเส้นใยด้วยเครื่องตีเส้นใย วิธีนี้ทำให้เส้นใยถูกรบกวนและฉีกขาดน้อยที่สุด นำไปตากแดดให้แห้งสนิทและตัดให้ได้ความยาวประมาณ 50 mm กระดาษรีไซเคิล 60 - 80 gram ซึ่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้แช่น้ำที่ขังน้ำหนักแล้วไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง แล้วปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสมสี บิบน้ำออกให้เป็นเส้นใยกระดาษแบบหยาบ (ซึ่งน้ำหนักน้ำที่บิบบอกตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้) ปริมาณน้ำที่คงเหลือในเส้นใยกระดาษเทียบเท่ากับปริมาณน้ำของอัตราส่วนผสม จากนั้นนำมาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ดังรูปที่ 1 อัตราส่วนผสมของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์แสดงในตารางที่ 1 โดยใช้เถ้าลอยไม้ยางพาราแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน กำหนดให้เป็นตัวแปรต้น ใช้เส้นใยกระดาษและเส้นใยต้นกล้วยคงที่ร้อยละ 46 และ 1 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน กำหนดให้เป็นตัวแปรควบคุม โดยมีสภาพนำความร้อน สมบัติเชิงกล และสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์เป็นตัวแปรตาม



(ก) ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกชนิดใช้งานทั่วไป



(ข) เถ้าลอยไม้ยางพารา



(ค) เส้นใยกระดาษแบบหามาด



(ง) เครื่องตีเส้นใยกล้วย



(จ) ตากเส้นใยกล้วย



(ฉ) เส้นใยกล้วยสกัดด้วยวิธีทางกล

รูปที่ 1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้งานวิจัย

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์

ความหนา (mm)	รหัส	w/b	ซีเมนต์ (g)	เถ้าลอยไม้ ยางพารา (g)	เส้นใยกระดาษแบบหามาด (g)	เส้นใยต้นกล้วย (g)
10	FA00*	0.6	1000	0	460	10
10	FA05	0.6	950	50	460	10
10	FA10	0.6	900	100	460	10
10	FA15	0.6	850	150	460	10
10	FA20	0.6	800	200	460	10

* อัตราส่วนควบคุม

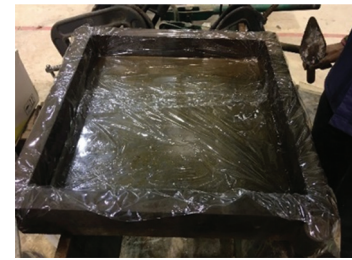
การขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์แบบกึ่งแห้งเริ่มจาก (1) ผสมปูนซีเมนต์และเถ้าลอยไม้ยางพาราให้เข้ากัน จากนั้นใส่เส้นใยกระดาษแบบหาคดลงในภาชนะผสม คลุกส่วนผสมให้เข้ากัน จากนั้นใส่เส้นใยกล้วยและทำการผสมให้เข้ากันให้เส้นใยกล้วยกระจายตัวให้ทั่ว (2) - (3) ทาน้ำมันในแบบหล่อก่อนจะนำส่วนผสมลงในแบบหล่อ จากนั้นใส่แผ่นอะคริลิกและฟิล์มถนอมอาหารเพื่อไม่ให้แผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์เกาะติดแบบหล่อ (4) นำส่วนผสมลงในแบบหล่อแล้วเกลี่ยส่วนผสมให้ได้ความหนาสม่ำเสมอทั่วทั้งแบบหล่อ ปิดทับส่วนผสมด้วยฟิล์มถนอมอาหารและแผ่นอะคริลิก (5) กดส่วนผสมด้วยแรง 25 Ton ค้างไว้เป็นเวลา 10 นาที (6) นำแบบหล่อขึ้นบนและแผ่นอะคริลิกออก นำแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ออกจากแม่พิมพ์ โดยวางบนแผ่นไม้หรือพลาสติกที่มีขนาดใหญ่กว่าเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นตัวอย่างแตกหัก บ่มในอากาศ 28 วัน โดยการห่อด้วยฟิล์มถนอมอาหารเพื่อป้องกันมิให้เกิดการสูญเสียตัวอย่างกระแทก ซึ่งจะทำให้เกิดรอยแตกร้าวที่ผิวได้ ดังรูปที่ 2



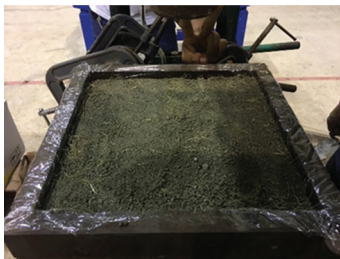
(ก) ผสมปูนซีเมนต์
เถ้าลอยไม้ยางพารา
เส้นใยกระดาษและ
เส้นใยกล้วยให้เข้ากัน



(ข) ทาน้ำมันที่แบบหล่อ
แล้ววางแผ่นอะคริลิก



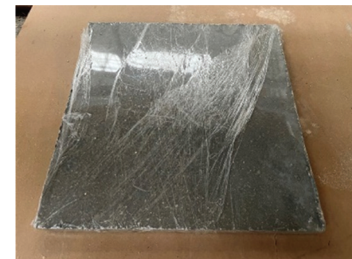
(ค) ปูฟิล์มถนอมอาหาร
เพื่อไม่ให้ส่วนผสม
ติดแบบหล่อ



(ง) เทส่วนผสมลงในแบบหล่อ
แล้วเกลี่ยให้มีความหนาสม่ำเสมอ
รูปที่ 2 การขึ้นรูปแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

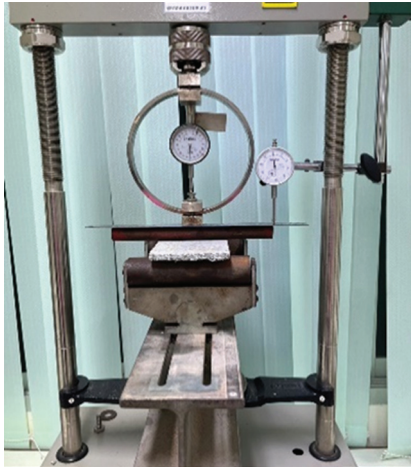


(จ) กดขึ้นรูปด้วยแรง 25 Ton
แล้วนำไปบ่มในอากาศ



(ฉ) แผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ที่ขึ้นรูป

การทดสอบสมบัติของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความต้านแรงดัด (แรงดัดแบบ 3 จุด) และความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ตามมาตรฐาน มอก. 878-2537 ใช้เครื่องทดสอบแรงกดประสงค์ขนาด 2 kN และขนาด 40 kN ทดสอบสภาพนำความร้อนตามมาตรฐาน ASTM D5470 และทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ตามมาตรฐาน ISO 10534-2 ด้วยเครื่องทดสอบการทดสอบค่าการดูดกลืนคลื่นเสียงของวัสดุ (Acoustic Testing Material) แบบหลอดอิมพีแดนซ์หือ Bruel & Kjaer รุ่น 7740 ช่วงความถี่ 250 - 2000 Hz. ดังรูปที่ 3



(ก) เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด
ขนาด 2 kN ทดสอบแรงดัด



(ข) เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด
ขนาด 40 kN ทดสอบแรงดึงดึงฉากผิวหน้า



(ค) เครื่องทดสอบสภาพการนำความร้อน



(ง) เครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

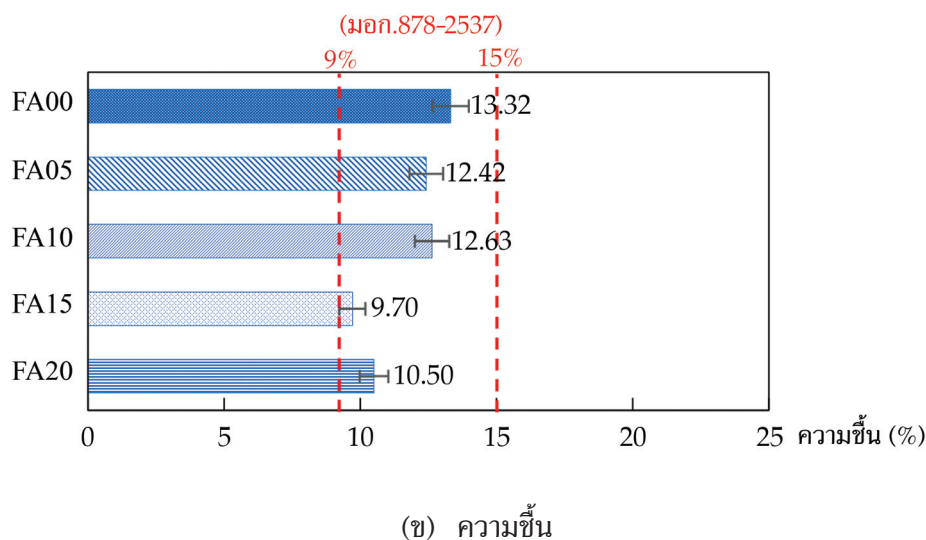
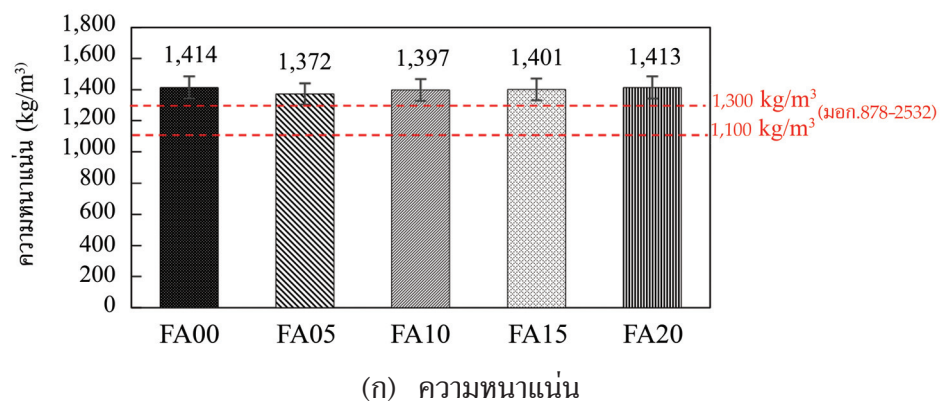
รูปที่ 3 เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล เชิงความร้อน และสมบัติทางเสียงของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์

ผลการวิจัยและการอภิปราย

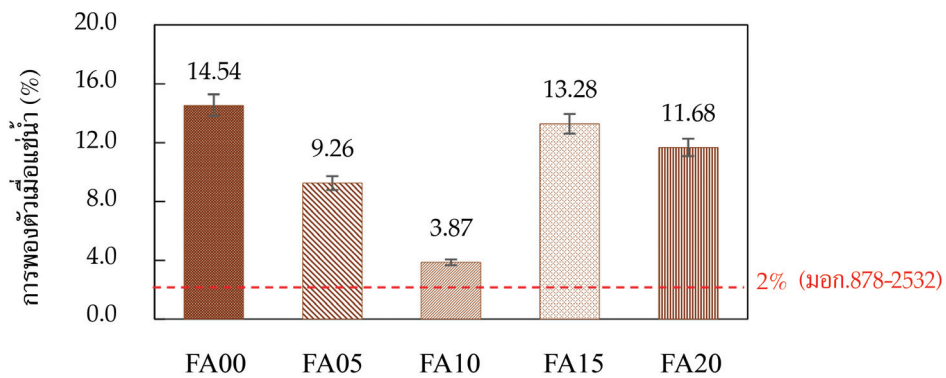
1. ความหนาแน่น ความชื้น และการพองตัวเมื่อแช่น้ำ

ความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ของการศึกษานี้มีค่าระหว่าง $1372 - 1414 \text{ kg/m}^3$ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 878-2537 ซึ่งกำหนดความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ไว้ระหว่าง $1100 - 1300 \text{ kg/m}^3$ จากรูปที่ 4(ก) พบว่า แผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ทุกอัตราส่วนผสมมีความหนาแน่นสูงกว่าเกณฑ์ และสูงกว่าความหนาแน่นของแผ่นฉนวนจากถั่วเขียวพาราของ [16] ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.16 g/cm^3 แผ่นฉนวนผสมถั่วเขียวพาราของ [18] ซึ่งมีค่าระหว่าง $0.015 - 0.170 \text{ g/cm}^3$

แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ของ [19] ซึ่งมีค่าระหว่าง $0.49 - 0.122 \text{ g/cm}^3$ แผ่นผ้าเพดานผสมขุยมะพร้าวของ [20] ซึ่งมีค่าระหว่าง $881.02 - 1064.2 \text{ kg/m}^3$ แผ่นยิปซัมบอร์ดจากผักตบชวาของ [21] ซึ่งมีค่าระหว่าง $861.45 - 907.52 \text{ g/cm}^3$ โดยทุกอัตราส่วนผสมมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าอัตราส่วนควบคุม FA00 แต่ไม่ลดลงตามร้อยละของเถ้าลอยไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้น เพราะเถ้าลอยไม้ยางพาราซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.53 เมื่อถูกนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะ 3.15 ในปริมาณไม่เกินร้อยละ 20 ผลรวมของมวลของวัสดุประสานต่อหน่วยความถ่วงจำเพาะจึงแตกต่างกันเล็กน้อยไม่เกินร้อยละ 5 เถ้าลอยไม้ยางพาราจึงไม่ทำให้ความหนาแน่นเปลี่ยนแปลง สำหรับความชื้นของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ มีค่าระหว่างร้อยละ 9 - 13 (รูปที่ 3(ข)) เป็นไปตามเกณฑ์ มอก. 878-2537 ส่วนการพองตัวเมื่อแช่น้ำ (รูปที่ 3(ค)) มีค่าระหว่างร้อยละ 3.87 - 14.54 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ มอก. 878-2537 ทุกอัตราส่วนผสม และสูงกว่าแผ่นฉนวนของ [16] ซึ่งมีการพองตัวเมื่อแช่น้ำร้อยละ 1.07 และแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยจากกลองเครื่องตีและเถ้ากากสาของ [22] ซึ่งมีค่าระหว่างร้อยละ 0.69 - 0.91 การที่แผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ของการศึกษานี้มีค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำสูงอาจเพราะเส้นใยกระดาษในส่วนผสมยังจับตัวเป็นก้อนกระจายอยู่ทั่วแผ่นไม่เป็นเนื้อเดียวกันกับวัสดุประสาน ดังรูปที่ 5 เมื่อนำไปแช่น้ำก่อนเส้นใยกระดาษจึงเป็นจุดที่น้ำและความชื้นถูกเก็บกักไว้ได้จำนวนมากทำให้เกิดการพองตัวสูง สรุปได้ว่า ร้อยละของเถ้าลอยไม้ยางพาราไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ แต่มีผลทำให้ความชื้นลดลงเมื่อร้อยละของเถ้าลอยสูงขึ้น และมีผลแบบผันผวนกับการพองตัวเมื่อแช่น้ำ

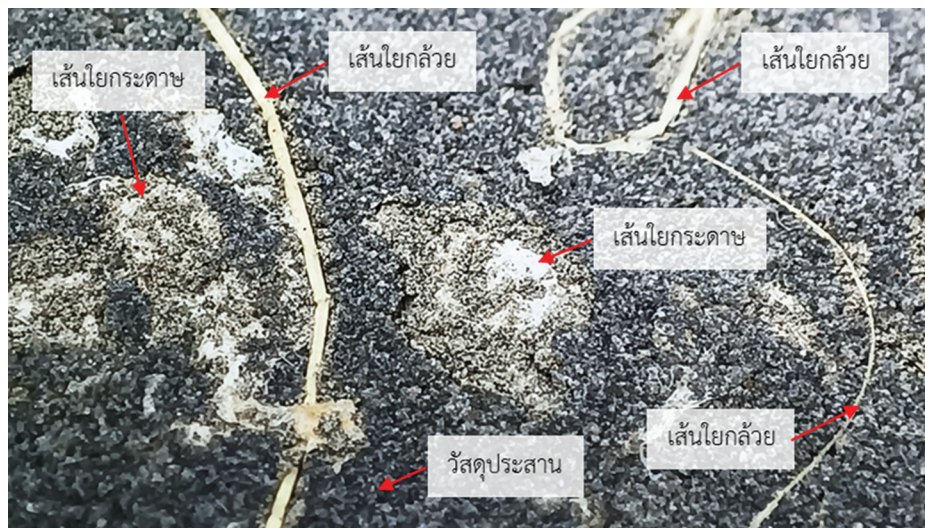


รูปที่ 4 ความหนาแน่น ความชื้น และการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์



(ค) การพองตัวเมื่อแช่น้ำ

รูปที่ 4 ความหนาแน่น ความชื้น และการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ (ต่อ)

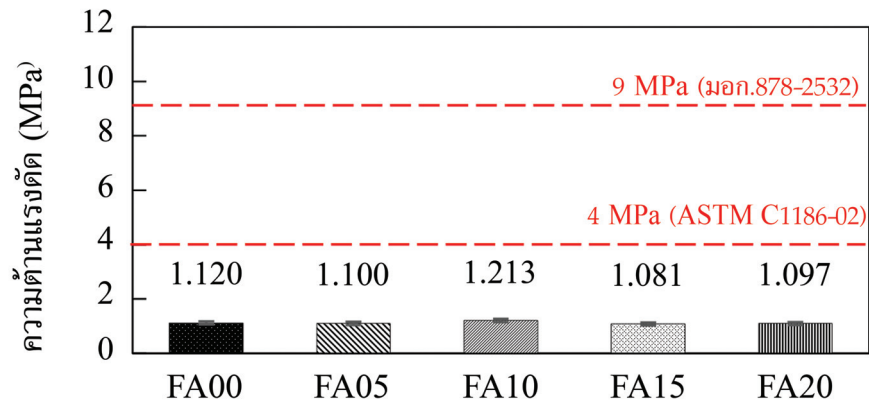


รูปที่ 5 ภาพขยายของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์

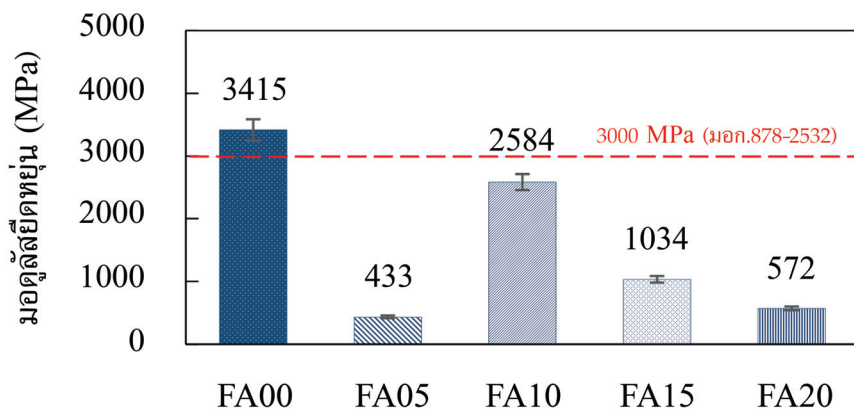
2. สมบัติเชิงกลของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์

การทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ของการศึกษานี้ประกอบด้วย ความต้านแรงดัด มอดูลัสยืดหยุ่น และความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ดังรูปที่ 6(ก) - (ค) ผลการทดสอบพบว่า ความต้านแรงดัดของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ผสมเถ้าลอยไม้ยางพารามีค่าระหว่าง 1.10 - 1.21 MPa ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 878-2532 และเกณฑ์มาตรฐาน ASTM C1186-02 อย่างมาก เช่นเดียวกับมอดูลัสยืดหยุ่นซึ่งมีค่าระหว่าง 433 - 3415 MPa ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ของการศึกษานี้ต่ำกว่าแผ่นฉนวนผนังเบาจากเส้นใยชานอ้อยซึ่งใช้กาบสังเคราะห์ไฮโซไซยาเนตเรซินและกาวพอลิแลกติกแอซิดเป็นสารยึดติด [23] และความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าซึ่งมีค่าระหว่าง 0.10 - 0.17 MPa ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์อย่างมากเช่นกัน โดยปริมาณเถ้าลอยไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้นในอัตราส่วนผสมไม่ส่งผลต่อการพัฒนากำลังดัดและแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ ขณะที่มอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราแสดงแนวโน้มความเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน (รูปที่ 6(ค)) กล่าวคือ เมื่อรับแรงกดเท่ากันค่าหนึ่ง อัตราส่วนผสมควบคุม (FA00) แอนตัวน้อยหรือยืดหยุ่นได้น้อยกว่าอัตราส่วนที่ผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา โดยอัตราส่วนผสมที่มีเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 5 มีค่าการแอนตัวมากที่สุด มอดูลัสยืดหยุ่นของอัตราส่วนที่ผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 10 มีค่าสูงที่สุดที่ 2584 MPa และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อร้อยละของเถ้าลอยไม้ยางเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเถ้าลอยไม้ยางพารามีผลต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ โดยลักษณะการวิบัติของแผ่นซีเมนต์

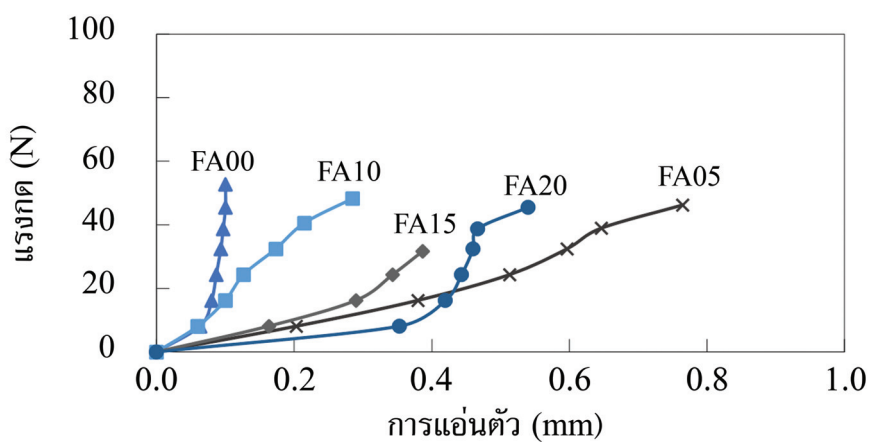
ไฟเบอร์นี้เป็นการวิบัติแบบแตกหักออกจากกันตามลักษณะของวัสดุเปราะดังรูปที่ 7 การที่แผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์มีสมบัติเชิงกลต่ำกว่าเกณฑ์อย่างมากอาจเพราะการขึ้นรูปแบบกึ่งแห้งทำให้แผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (รูปที่ 2 และ 5) จึงเป็นจุดอ่อนและทำให้มีความแข็งแรงต่ำ



(ก) ความต้านแรงดัด

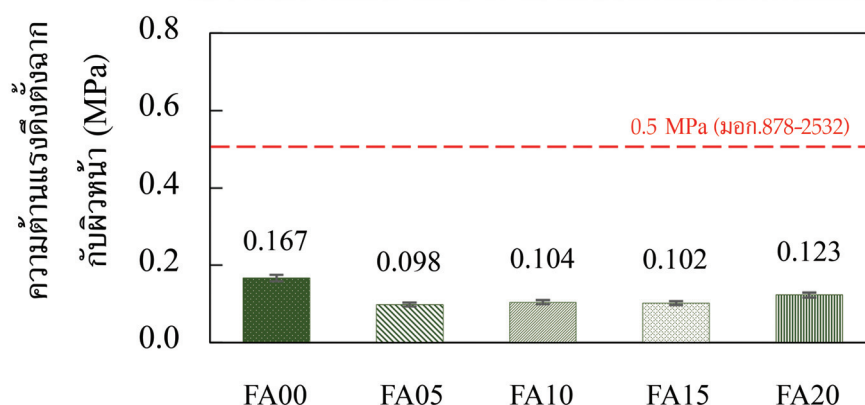


(ข) มอดูลัสยืดหยุ่น



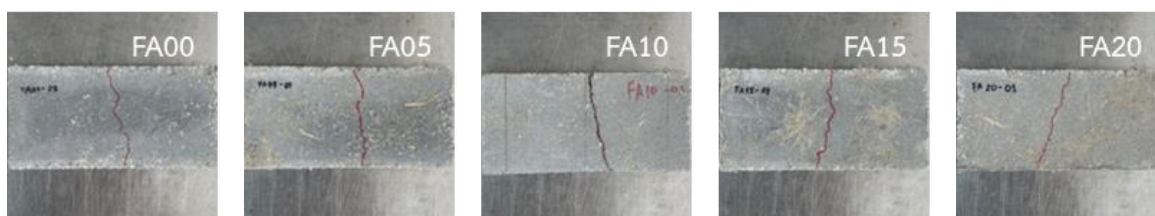
(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับการแอ่นตัว

รูปที่ 6 สมบัติเชิงกลของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์

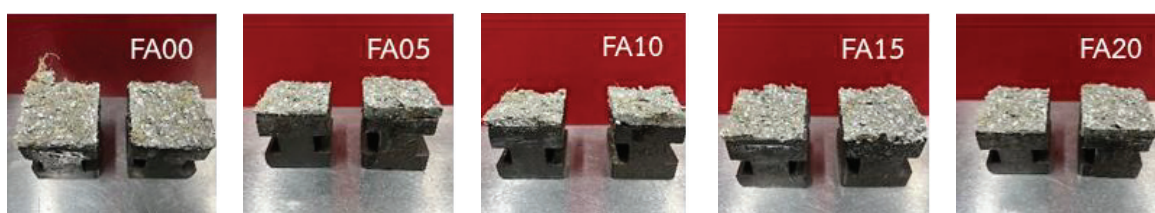


(ง) ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

รูปที่ 6 สมบัติเชิงกลของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ (ต่อ)



(ก) การวิบัติจากการทดสอบความต้านทานแรงดึง



(ข) การวิบัติจากการทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

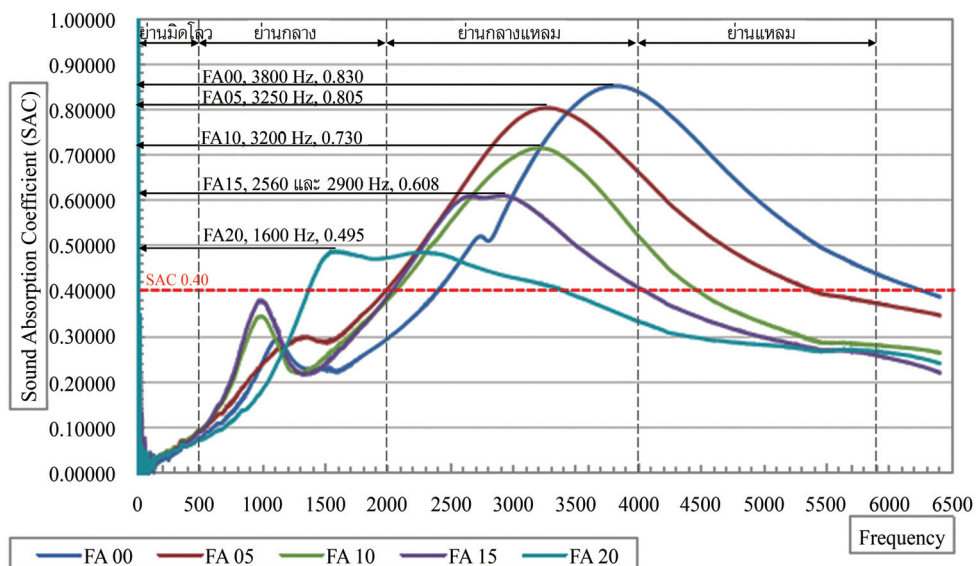
รูปที่ 7 การวิบัติของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์

3. สภาพการนำความร้อน

การทดสอบสภาพการนำความร้อนหรือแทนด้วยสัญลักษณ์ K ของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา ดังรูปที่ 8 พบว่า มีค่าสภาพการนำความร้อนระหว่าง $0.620 - 0.772 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ โดยอัตราส่วนที่มีค่าการนำความร้อนต่ำสุดคือ FA20 เห็นได้ชัดว่าค่าการนำความร้อนมีค่าลดลงเมื่อร้อยละของเถ้าลอยไม้ยางพาราเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการนำความร้อนของแผ่นเซโกลกริตโฟมความหนา 12 mm พบว่า แผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ FA20 มีค่าสูงกว่าประมาณร้อยละ 8 และสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 878-2532 แต่มีค่าความเป็นฉนวนสูงกว่าแผ่นผ้าเบรคของ [24] อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้ยังสูงกว่าค่าของฉนวนกันความร้อนจากพืชในเขตท้องถิ่น คือ เส้นโยทญา โยเมพรวัว กากกล้วย ฟางข้าว และกากหมากของ [25] ซึ่งใช้ปริมาณเส้นใยร้อยละ 60 ($K = 0.017 - 0.028 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) และแผ่นฉนวนจากเถ้าไม้ยางพาราของ [16] ซึ่งใช้กากพวง (กากแดง) เป็นสารยึดเกาะมีค่า K เท่ากับ $0.44 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ กล่าวได้ว่า สภาพนำความร้อนของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์แปรผกผันกับเถ้าลอยไม้ยางพาราดังเช่นที่ [26] ได้ให้ข้อสังเกตไว้ก่อนหน้านี้ เพราะเถ้าลอยไม้ยางพารามีแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งมีความไวต่อความชื้นและดูดซับน้ำจากอากาศได้ง่ายจึงทำให้ค่าสภาพการนำความร้อนต่ำ และจากการทดสอบทางสถิติพบว่า สภาพการนำความร้อนของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ของการศึกษานี้และของเซโกลกริตไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ($p\text{-value} = 0.37$)

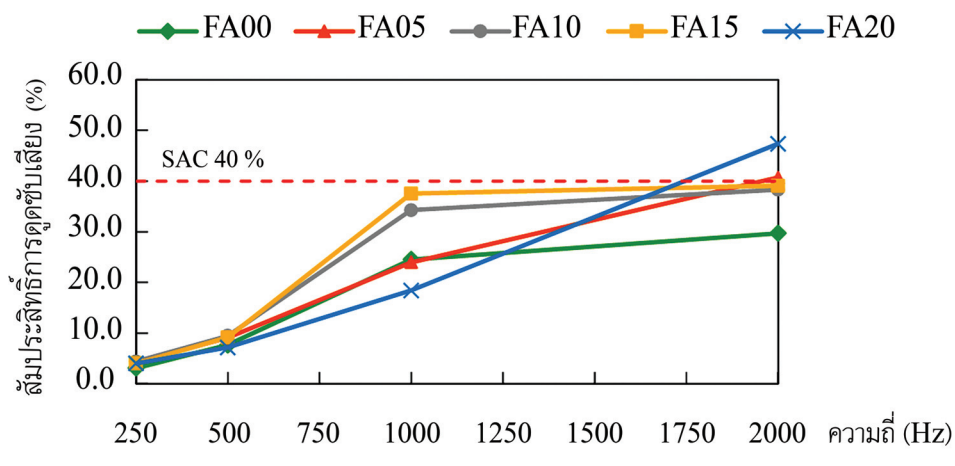
4. สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

การทดสอบการดูดซับเสียงตามมาตรฐาน ISO 10534-2 ได้ผลดังตารางที่ 3 และรูปที่ 9 พบว่า สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound Absorption Coefficient, SAC) ของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ของการศึกษานี้ มีค่าเฉลี่ยระหว่างร้อยละ 16.244 - 22.442 ซึ่งเพิ่มขึ้นตามร้อยละของเถ้าลอยไม้ยางพารา ยกเว้นอัตราส่วนผสม ที่มีปริมาณเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 20 เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในช่วงความถี่ในย่านมิดโลว์ (250 - 500 Hz) เห็นได้ชัดว่า การดูดซับเสียงของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์แต่ละอัตราส่วนมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ที่ความถี่ย่านกลาง (500 - 2000 Hz) การดูดซับเสียงของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องแต่ไม่แปรผันตามร้อยละของเถ้าลอยไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ที่มีปริมาณเถ้าลอยร้อยละ 20 อาจกล่าวได้ว่า ค่า SAC มีแนวโน้มผันผวน เมื่อพิจารณาที่ย่านความถี่ 1000 และ 2000 Hz แผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ ที่มีปริมาณเถ้าลอยร้อยละ 15 และร้อยละ 20 มีค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับเสียงสูงสุดเท่ากับ 0.375 และ 0.474 แต่มีค่าต่ำกว่าวัสดุฉนวนที่ทำจากฟางข้าวสาลี แกลบ และซีลี้อย ที่ขึ้นรูปด้วยจีโอพอลิเมอร์ของ [27] ซึ่งมีค่า SAC สูงสุดระหว่าง 0.56 - 0.71 อาจเนื่องจากเถ้าลอยไม้ยางพารามีรูพรุนกระจายตัวอยู่ประปราย ไม่ต่อเนื่อง และไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 10 ซึ่งต่างจากฟางข้าวสาลีที่มีรูพรุนจำนวนมากและมีความสม่ำเสมอกว่า เถ้าลอยไม้ยางพารา นอกจากนี้พบว่า ที่ย่านความถี่สูงกว่า 2000 Hz ค่าสูงสุดของ SAC ของ FA00 FA05 FA10 FA15 และ FA20 มีค่าประมาณ 0.830 0.805 0.730 0.608 และ 0.495 ตามลำดับ ซึ่งลดลงเมื่อปริมาณ เถ้าลอยไม้ยางพาราเพิ่มขึ้น โดยภาพรวมแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ที่ผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 15 ดูดซับเสียง ได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามค่าการดูดซับเสียงเฉลี่ยยังค่อนข้างต่ำ ยังไม่ผ่านเกณฑ์การนำไปใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียง ซึ่งจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียง (Noise Reduction Coefficient, NRC) ไม่น้อยกว่า 0.40 แต่มีข้อบ่งชี้ เบื้องต้นว่า เถ้าลอยไม้ยางพารามีผลทำให้การดูดซับเสียงในความถี่ย่านกลางของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ดีขึ้น



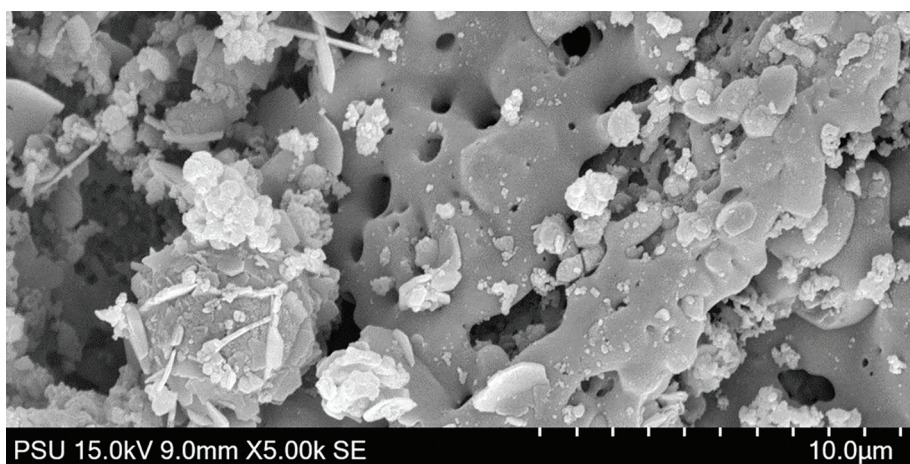
(ก) ย่านความถี่ 250 - 6000 Hz

รูปที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์



(ข) ย่านความถี่ 250 - 2000 Hz

รูปที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ (ต่อ)



รูปที่ 10 ภาพขยายของถ้ำลอยไม้ยางพารา

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงและสัมประสิทธิ์การลดเสียง

อัตราส่วนผสม	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (SAC) (%)					NRC
	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	ค่าเฉลี่ย	
FA00	3.109	7.655	24.520	29.693	16.244	0.16244
FA05	4.292	9.084	23.977	40.717	19.518	0.19518
FA10	4.391	9.448	34.269	38.291	21.600	0.21600
FA15	4.033	9.142	37.524	39.070	22.442	0.22442
FA20	4.008	7.171	18.420	47.365	19.241	0.19241

บทสรุป

การผลิตและทดสอบสมบัติของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ที่มีถ้ำลอยไม้ยางพาราเป็นส่วนผสม ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ถ้ำลอยไม้ยางพาราที่มีแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักจึงไม่จัดเป็นวัสดุพอลิโซลันเช่นเดียวกับซีเมนต์ การแทนที่ซีเมนต์ด้วยถ้ำลอยไม้ยางพาราจึงทำให้แผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์มีความแข็งแรงลดลงเมื่อปริมาณ

เถ้าลอยเพิ่มขึ้น แต่เถ้าลอยไม้ยางมีผลต่อการลดลงของสภาพการนำความร้อน ซึ่งหมายถึงมีความเป็นฉนวนดีขึ้นนั่นเอง จากผลการศึกษาเป็นข้อพิสูจน์เบื้องต้นว่าเถ้าลอยไม้ยางพาราเหมาะสำหรับเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ป้องกันความร้อน จึงมีการศึกษาปริมาณหรือรูปแบบของเถ้าลอยไม้ยางพาราที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อน ขณะที่การดูดซับเสียงของแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราสำหรับความถี่ย่านกลางแสดงแนวโน้มแบบผันผวนแต่มีค่าสูงกว่าอัตราส่วนควบคุม ทั้งนี้ข้อสังเกตว่า การขึ้นรูปแบบกึ่งแห้งเป็นวิธีที่ควรหลีกเลี่ยง เพราะเมื่อวัสดุประสานแข็งตัวและเคลือบเส้นใยกระดาษที่ยังจับตัวเป็นก้อน ทำให้แผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ไม่เป็นเนื้อเดียวกันถึงแม้จะมีความหนาแน่นสูงแต่มีความเปราะคล้ายกับคุกกี้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่สนับสนุนทุนโครงการวิจัยประเภททุนงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2565

References

- [1] Tonnayopas, D. and Yiamyokkun, J. (2005). Pumice Powder and Rubber Wood Ash Use as Cement Additives on the Physical and Mechanical Characteristics of Mortar. In **Proceedings of The 4th PSU-Engineering Conference**. pp.MnE-7-12 (in Thai)
- [2] Tonnayopas, D. and Thanomsirisilp, M. (2018). Effects of Used Engine Oil on Properties of Mortar Containing Pumice Blended Para Rubber Wood Ash. **RMUTP Research Journal**. Vol. 12, No. 1, pp. 53-63 (in Thai)
- [3] Dasaesamoh, A., Maming, J., Radeang, N., and Awae, Y. (2011). Physical Properties and Mechanical Properties of Para Rubber Wood Fly Ash Brick. **Journal of Yala Rajabhat University**. Vol. 6, No. 1, pp. 25-35 (in Thai)
- [4] Dasaesamoh, A., Awae, S., Mama, A., and Binmama, D. (2012). Thermal Performance of Para Rubber Wood Ash Brick. **RMUTTO RESEARCH JOURNAL**. Vol. 5, No. 1, pp. 72-80 (in Thai)
- [5] Dasaesamoh, A., Maha, H., and Chebueraheng, H. (2014). Properties of Interlocking Block form Para Rubber Wood Fly Ash Mixed Narathiwat Kaolin. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning**. Vol. 5, No. 2, pp. 202-208 (in Thai)
- [6] Thanpattranon, P. and Lekrungronggid, N. (2020). Agricultural Waste Recycling by Using Para-wood Ash as Composite Material for Interlocking Block. **Thai Society of Agricultural Engineering Journal**. Vol. 26, No. 2, pp. 47-52 (in Thai)
- [7] Boonyaroj, V. and Saramanus, S. (2019). Utilization of Para Wood Ash in a Prototype of Flat Sheet Cement Composites. In **Proceeding of International Conference on Power, Energy and Innovation (ICPEI 2019)**. pp. 114-117
- [8] Tonnayopas, D., Sinsorn, W., and Chantaramanee, S. (2012). Preparation of Lightweight Tile by Ceramic Glove Mould Waste Blended Rubber Wood Fly Ash and Kaolin Tailing. **Thaksin University Journal**. Vol. 15, No. 3, Special Issue, pp. 250-258 (in Thai)
- [9] Tonnayopas, D., Kooptarnon, K., Panritdam, H., and Chantaramanee, S. (2014). Novel Lightweight Ceramic Tile Made from Kaolin Refining Waste and Para Rubber Wood Fly Ash. **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**. Vol. 7, No. 1, pp. 70-82 (in Thai)

- [10] Thongkhwan, T., Chusilp, N., and Laksanakit, C. (2022). The Strength of Concrete with Rubber Wood Ash for Prefabricated Structure. In **Proceeding of The 27th National Convention on Civil Engineering**. MAT09-1-7 (in Thai)
- [11] Klathae, T., Sornpakdee, N., Buathongkhue, C., and Deedard, N. (2020). Utilization of Parawood Ash in Concrete Paving Blocks. **RMUTSV Research Journal**. Vol. 12, No. 1, pp. 36-48 (in Thai)
- [12] Hawa, A. (2008). **Properties of Pumice Lightweight Concrete Containing Rubber Wood Fly Ash and Rice Husk Ash**. M.S. Engineering. Department of Civil Engineering. Faculty of Engineering. Thesis Prince of Songkla University (in Thai)
- [13] Bamrungphon, Y., Tiyaengthong, S., Suksiripattanapong, C., Tabyang, W., Chusilp, N., and Laksanakit, C. (2022). Improvement of Lateritic Soil by Using Biomass Ash Geopolymer. In **Proceeding of The 27th National Convention on Civil Engineering**. GTE40-1-5 (in Thai)
- [14] Sundum, T. and Kaewtatip, K. (2017). Effect of Wheat Gluten and Milled Rubber Wood Fly Ash on the Properties of Starch-based Bioplastics. **The Journal of Industrial Technology: Suan Sunandha Rajabhat University**. Vol. 5, No. 2, pp. 29-37 (in Thai)
- [15] Bootklad, M. Szecsenyi, K. M., and Kaewtatip, K. (2015). Structure and Properties of Wheat Gluten/Rubber Wood Ash Biocomposites. **The Journal of Industrial Technology: Suan Sunandha Rajabhat University**. Vol. 18, No. 3, pp. 49-55
- [16] Deetriphe, R., Radeng, S., Vani, P., and Dasaesamon, A. (2012). Insulation Board from Para Rubber Wood Fly Ash Reinforced by Mineral Fiber. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning**. Vol. 3, No. 1, pp. 37-41 (in Thai)
- [17] Media Center for Development Foundation. (2012). **Paper for Trees Project**. Access (2 April 2021). Available (<https://urbancreature.co/save-papers-save-trees/>)
- [18] Tok, R., Maae, E., and Dearamae, R. (2021). Development of Insulation from Nano-composite Materials from Rice Husk Ash and Carbon of Hermit Flowers. **Journal of Physics and General Science**. Vol. 5, No. 1, pp. 43-53 (in Thai)
- [19] Laksanakit, C. and Chusilp, N. (2019). Effect of Natural Fibers from Waste Materials on Properties of Cement Fibers Ceiling Boards. **Engineering Journal of Research and Development**. Vol. 30, No. 4, pp. 7-17 (in Thai)
- [20] Weeranukul, P., Suweero, K., and Weeranukul, I. (2018). Coconut Coir Ceiling Board Product with Thermal Insulation Property. **Journal of Engineering, RMUTT**. Vol. 16, No. 2, pp. 129-138 (in Thai)
- [21] Boontositrakul, K., Weeranukul, P., Deepanya, W., and Suweero, K. (2021). Development of Water Hyacinth Gypsum Board for Community Enterprise. **Journal of Engineering, RMUTT**. Vol. 19, No. 1, pp. 113-123 (in Thai)
- [22] Paoleng, P. and Meepon, I. (2023). The Development of Cement-bonded Composite Board from Aseptic Carton Waste with Distillery Slop. **Engineering Journal of Research and Development**. Vol. 34, Issue 2, pp. 53-69 (in Thai)
- [23] Padkho, N. (2015). The Production and Study Property of Insulation Wall Light Board from Bagasse Fiber for Using in Architecture Work. **Journal of Engineering, RMUTT**. Vol. 13, No. 2, pp. 11-20 (in Thai)

- [24] Chusilp, N., Laksanakit, C., Boonrasri, P., Somboon, C., and Thongkun, T. (2019). The Development of Tile Roof from Disposal Materials. **RMUTSV Research Journal**. Vol. 11, No. 1, pp. 41-53 (in Thai)
- [25] Jarawae, R. (2016). **The Development of Insulation from Local Plants**. Yala: Yala Rajabhat University
- [26] Nisaimun, C. (2021). **Preparation of Low-Density Calcium Silicate Ceramics for Insulating Refractory Applications Using Rice Husk Ash**. M.S. Science. Department of Materials Science. Faculty of Science. Thesis Chulalongkorn University
- [27] Wang, S., Li, H., Zou, S., Liu, L., Bai, C., Zhang, G., and Fang, L. (2022). Experimental Study on Durability and Acoustic Absorption Performance of Biomass Geopolymer-Based Insulation Materials. **Construction and Building Materials**. Vol. 361, pp. 129575. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.129575