

ซีเมนต์เส้นใยผลตาลและเส้นใยมะพร้าว เพื่อลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร Palmyra Fiber Coconut Coir Cement Board for Reducing Heat Load Through Building

เรืองรัมภา อินทรักษ์¹ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์เจนจิรา ขุนทอง²

¹อาจารย์ และ ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา 90000

Ruengrumpa Intharak¹* and Janejira Khunthong²

¹Lecturer and ²Assistant Professors

Faculty of Architecture, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla, Thailand, 90000

*E-mail: ruengrumpaa.i@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาซีเมนต์เส้นใยผลตาลและเส้นใยมะพร้าว เพื่อลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเส้นใยผลตาลและเส้นใยมะพร้าวที่เหลือทิ้งจากการแปรรูปมาผลิตขึ้นรูปซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติและหาอัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับเส้นใยผลตาลและเส้นใยมะพร้าวที่เหมาะสมสำหรับการผลิตซีเมนต์เส้นใยผลตาลและเส้นใยมะพร้าว เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล และการนำความร้อนของซีเมนต์เส้นใยผลตาล และเส้นใยมะพร้าว ให้เป็นไปตามมาตรฐานการผลิต ASTM ที่ใช้กับงานสถาปัตยกรรม

การวิจัยได้มีการขึ้นรูปซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติขนาด 20 X 20 เซนติเมตร หนา 2.5 เซนติเมตร โดยมีสูตรการผสมทั้งหมด 7 สูตร โดยแต่ละสูตรเก็บตัวอย่างละ 3 ตัวอย่างและทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล และการนำความร้อน ผลการศึกษาพบว่า มีค่าความสามารถในการเป็นฉนวนความร้อนที่ดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การกักความร้อนเท่ากับ 0.2043 ± 0.0210 W/m.K มีค่าความสามารถในการต้านทานแรงดัด 2.3780 ± 0.4488 MPa ถือว่ามีค่าเหมาะสมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การกักความร้อนและค่าความสามารถในการต้านทานแรงดัดที่ดี นอกจากนี้ยังมีความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์ที่ดี มีความแข็งแรงที่ดี จึงเป็นสูตรที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานจริงเป็นวัสดุ เพื่อลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร สามารถนำไปพัฒนาต่อยอด เพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้างหรือวัสดุเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต

คำสำคัญ: การนำความร้อน, ซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติ, เส้นใยธรรมชาติ

Abstract

This Research is a study about Natural fiber cement and coconut coir to decrease the heat load through a building. The objectives of this research are to bring the fiber of Palmyra fiber and coconut coir which were left from the process to produce natural fiber cement and find the proper ratio of Palmyra fiber and coconut coir in the cement production process. Besides, to test the physical properties, mechanical properties, and thermal conductivity by following ASTM standards in architecture.

The research has molded natural fiber cement size 20 X 20 centimeters thickness 2.5 centimeters with 7 formulas. Each of the 7 formulas used 3 samples to test its physical properties, mechanical properties, and thermal conductivity. The test shows a good insulating capability. It has a heat insulating coefficient of $0.2043 \pm$

0.0210 W/m.K. and has a bending strength of 2.3780 ± 0.4488 MPa. Those results show that it has a suitable value of a heat insulating coefficient and bending resistance with a good density standard. It has suitable strength to use as material in practical usage to reduce heat load through the building. It can further develop for using as building materials or commercial materials in the future.

Keywords: Heat conduction, Natural fiber cement, Natural fiber

Received: October 12, 2022; **Revised:** May 26, 2023; **Accepted:** June 15, 2023

1. บทนำ

ตาลโตนดถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้กับชุมชนและประเทศไทย ซึ่งตาลและมะพร้าวเป็นพืชในตระกูลเดียวกัน โดยจุดเด่นของใยเส้นตาล คือ มีความเหนียว มีความแข็งแรง จึงมีการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ (จุฑารัตน์ นกแก้ว, 2564) สำหรับในประเทศไทยมีการปลูกมะพร้าวจำนวนมาก ซึ่งทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งจากมะพร้าวในปริมาณมากเช่นกัน (ศุภาพล ปิ่นพัฒน์พงศ์, ปิติพร มโนคูน, ภัทรมาศ เทียมเงิน และฐนียา รังสิริรัชชชัย, 2563) นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุเหลือทิ้งจากมะพร้าวมีปริมาณสูงถึงประมาณ 62.5 ล้านตันต่อปี (Osarhiemhen Azeta, Oluranti Agboola, Augustine O. Ayeni and Francis B. Elehinafe, 2021)

ไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในงานก่อสร้างประกอบด้วยปูนซีเมนต์และเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยสังเคราะห์ ทำหน้าที่ในการเสริมแรงเพื่อรับแรงอัด เพิ่มความต้านทานแรงดึง ซึ่งในการผลิตปูนซีเมนต์มักส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อมจึงเริ่มมีการนำวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตมากขึ้น (อนุรัตน์ ภูวานคำ, 2564) ในปัจจุบันมีการใช้ผงซีเมนต์บอร์ค และผงยิปซัมบอร์คในระบบโครงผนังเบา (อรณิข ธนากรธู และนภตล จอกแก้ว, 2564) โดยผลิตภัณฑ์แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ได้รับความนิยมในการนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างเนื่องจากมีน้ำหนักเบา มีความสามารถในการทนความร้อนและมีความแข็งแรง ซึ่งการผลิตแผ่นซีเมนต์กับเส้นใยธรรมชาติในส่วนประกอบและปริมาณของเส้นใยธรรมชาติมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของแผ่นซีเมนต์ โดยการนำเส้นใยหลายชนิดที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาใช้ในการผลิตแผ่นซีเมนต์เป็นการลดปัญหาให้กับเกษตรกรและนำข้อดีในเรื่องความแข็งแรงของเส้นใยมาใช้ในการผลิตแผ่นซีเมนต์ได้ (จุฑามาศ ลักษณะกิจ และนันท์ชัช ชูศิลป์, 2562) ในส่วนของภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีอัตราการเติบโตสูงและมีส่วนสำคัญในการพัฒนาประเทศ ซึ่งการควบคุมคุณภาพและต้นทุนถือเป็นปัจจัยที่สามารถช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตได้ การนำระบบการก่อสร้างแบบใหม่ ๆ เข้ามาใช้ในระบบอุตสาหกรรมถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถเพิ่มศักยภาพในอุตสาหกรรมได้ (อรณิข ธนากรธู และนภตล จอกแก้ว, 2564) โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประเด็นนี้ เช่น การศึกษาสมบัติเชิงกลของซีเมนต์เพสต์เสริมเส้นใยมะพร้าว ได้แก่ กำลังอัด แรงดัด แรงเฉือน แรงดึงแบบผ่าซีกและแรงดึงโดยตรง พบว่า ส่วนกำลังอัด แรงดัด แรงเฉือน และแรงดึงแบบผ่าซีกจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณของเส้นใยมะพร้าวมากขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไปสมบัติในการรับแรงทุกการทดสอบจะลดลง (วิโรจน์ ไกรเทพ, 2562) นอกจากนี้ยังมีการนำเศษเปลือกตาลที่เหลือทิ้งจากการนำจาวตาลและผลตาลสุกไปใช้ประโยชน์ พบว่า ต้นแบบที่ผลิตขึ้นมีความแข็งแรงไม่แตกหักง่าย ไม่เสียรูปทรงและมีน้ำหนักเบา โดยถัอกมีส่วนผสมจากเส้นใยตาลโตนด ผงซีเมนต์ ปูนยิปซัมและน้ำ นำมาขึ้นรูปต้นแบบในถัอกพิมพ์ขนาด $0.20 \times 0.20 \times 0.025$ ม. ที่ทำจากโฟมอัด (รอฮานา แวดอลေး และคณะ, 2565)

มะพร้าวมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี โดยเฉพาะขุยมะพร้าวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน คือ 0.023 (W/m-K) ซึ่งเมื่อใช้ขุยมะพร้าวจะสามารถลดปริมาณวัสดุในการผลิตคอนกรีตมวลเบา เช่น ปูนซีเมนต์ และทราย อีกทั้งยังสามารถลดปริมาณความร้อนที่แพร่เข้าสู่อาคารได้มากกว่าวัสดุก่อสร้างทั่วไปอีกด้วย โดยจากการใช้มาตรฐานมอก. 2601 - 2556 ในการทดสอบเพื่อควบคุมการผลิตคอนกรีตมวลเบา และทดสอบการนำความร้อน (การนำความร้อน, K, ASTM C518) พบว่า หากมีการผสมขุยมะพร้าวลงไปจะทำให้ลดความร้อนได้ดีขึ้น (ธรรมศร เชียงทองสุข และคณะ 2564) โดยการผสมเส้นใยมะพร้าวในปริมาณที่เหมาะสม

จะสามารถลดความหนาแน่นสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและเพิ่มความต้านทานแรงดัดของเปลือกอาคารที่มีส่วนผสมของเส้นใยมะพร้าวได้ (กิตติพันธ์ บุญโตสิทธิตระกูล และคณะ 2562)

จากวรรณกรรมปริทัศน์ยังไม่พบการศึกษาการนำเส้นใยผลตาลและเส้นใยมะพร้าวมาเป็นวัสดุในการเสริมแรงของซีเมนต์ร่วมกันจึงตกผลึกในการศึกษาเรื่องซีเมนต์เส้นใยผลตาลและเส้นใยมะพร้าวเพื่อลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารเพื่อพัฒนาขั้นตอนการผลิต และเพื่อเป็นแนวทางในการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้างเพื่อลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารให้มีคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล และการนำความร้อนที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง เป็นไปตามมาตรฐานการผลิต ASTM ที่ใช้กับงานสถาปัตยกรรม โดยนำข้อดีของเส้นใยมะพร้าวที่มีความแข็งแรงสามารถทนต่อแรงต่าง ๆ ได้ดี และนำข้อดีของเส้นใยผลตาลที่มีความเหนียวและแข็งแรง เมื่อนำมาขึ้นรูปจะมีน้ำหนักเบาและไม่แตกหักง่ายมาก ลบข้อด้อยของวัสดุที่ทำจากเส้นใยมะพร้าวที่เมื่อเวลาผ่านไปคุณสมบัติในการรับแรงจะลดลงถือเป็นการสร้างความคุ้มค่าต่อการสิ่งแวดล้อม เป็นประโยชน์ในการนำของเหลือใช้มาพัฒนาวัสดุก่อสร้างทางเลือกและสร้างความคุ้มค่าในการใช้วัสดุเหลือใช้อีกด้วย

2. วัตถุประสงค์

2.1) เพื่อพัฒนาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติให้เป็นวัสดุที่ใช้กับงานสถาปัตยกรรม

2.2) เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล และการนำความร้อนของซีเมนต์เส้นใยผลตาล และเส้นใยมะพร้าวให้เป็นไปตามมาตรฐานการผลิต ASTM ที่ใช้กับงานสถาปัตยกรรม

3. การทบทวนวรรณกรรม

ประภาพร ฐ์ พันนวล และคณะ (2561) กล่าวว่า ลักษณะของเส้นใยลูกตาลจะเป็นเส้นใยเล็กน้อย มีความเหนียว และมีความทนทาน สามารถนำมาแปรรูปได้อย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้ง ข้อมูลของ Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] (2009) กล่าวว่า เส้นใยมะพร้าวเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงและรับแรงดึงได้ดี เนื่องจากมีลิกนินเป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการต้านทานปฏิกิริยาจากจุลินทรีย์ และการกัดกร่อนจากน้ำเค็มได้ดี จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเส้นใยลูกตาล และเส้นใยมะพร้าวมาใช้เป็นวัสดุในงานสถาปัตยกรรม โดย วรวิจิตร วิจิตรจันทร์ และ ชูพงษ์ ทองคำสมุทร (2561) กล่าวว่า การเลือกใช้วัสดุผนังอาคารในการป้องกันความร้อนจากภายนอกอาคาร ในกรณีที่แสงแดดไม่กระทบกับแผ่นวัสดุโดยตรง วัสดุประเภทไม้อัดสัก ไม้อัดยาง ไม้อัดซีเมนต์ กระดาษไผ่ ยิปซัมและซีเมนต์เส้นใยจะสามารถกันความร้อนได้แตกต่างกันเล็กน้อย

มาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วย 1) การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐาน ASTM C20 - 00 เพื่อพิจารณาสัดส่วนผสมของซีเมนต์เกรดที่เหมาะสมสำหรับการผลิตซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติ ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพที่ศึกษา ได้แก่ ความพรุน (Apparent porosity) ความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water absorption) และความหนาแน่น (Bulk density) ของซีเมนต์เกรด (ASTM Committee, 2005) 2) การทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนตามมาตรฐาน JIS R2618 เพื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) (Japanese Standards Association, 1992) 3) การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM C1185 - 03 และ ASTM C1186 - 02 (American Society of Testing and Material [ASTM], 2006)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า การทดสอบคุณสมบัติใด ๆ ในการประยุกต์ใช้วัสดุนั้นควรมีการทดสอบคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ จากส่วนประกอบแต่ละส่วนของพืชที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์เป็นส่วนประกอบในอาคารเพื่อกันความร้อนจากการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากต้นปุด พบว่า แผ่นฉนวนจากเส้นใยของต้นปุดไม่ว่าจะเป็นเส้นใยใบ เปลือกนอกและแกนในสามารถที่จะเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี (อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์ และ ฉันทนา เล็กใจเชื้อ, 2560) หรือการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของเส้นใยมะพร้าว โดยมีการทดสอบสมบัติทางกายภาพของฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยมะพร้าว พบว่า ค่าการนำความร้อนของชิ้นทดสอบของผลิตภัณฑ์วัสดุผสมมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเส้นใยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้น (สมพงษ์ พิริยานต์ และกิตติศักดิ์ บัวศรี, 2562) นอกจากนี้ยังพบว่า ชิ้นงานทั้งหมดที่ผสมผสานเดิมแต่ที่เป็นเส้น

ใยมะพร้าวมีสมบัติเชิงกลที่ต่างกันไปตามอัตราส่วนผสมของเส้นใยจากมะพร้าวที่ต่างกัน (อรินีย์ บุญทิ และคณะ, 2561) ซึ่งมีความสอดคล้องกับวิธีการดำเนินการวิจัยที่มีการทดสอบคุณสมบัติ 3 ส่วน คือ คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางความร้อนผ่านการวัดค่าสัมประสิทธิ์การกันความร้อนและคุณสมบัติเชิงกลผ่านการวัดค่าความสามารถในการต้านทานแรงดัด

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาเรื่องซีเมนต์เส้นใยผลตาลและเส้นใยมะพร้าวเพื่อลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารจากเศษวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมทางเกษตรมีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย คือ 1) การเตรียมเส้นใย 2) การเตรียมเส้นใยสำหรับวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล 3) ผลิตรชิ้นงาน 4) ทดสอบชิ้นงาน โดยทำการทดสอบตัวอย่างที่พัฒนาขึ้นเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐาน ASTM C20 – 00 การทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนตามมาตรฐาน JIS R2618 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM C1185 - 03 และ ASTM C1186 – 02

4.1 การเตรียมเส้นใย

เส้นใยตาลโดนด มีการเตรียมเส้นใยตาลโดนดที่เหลือใช้จากการแปรรูปทำขนม สบู่ แชมพู และน้ำยาล้างจาน โดยการขยี้ด้วยน้ำเปล่าเพื่อแยกเส้นใยออก หลังการขยี้หรือสกัดเนื้อตาลจะเห็นได้ส่วนของเส้นใยลูกตาลที่ติดกับเมล็ดตาล โดยเฉลี่ยเส้นใยลูกตาลจะมีความยาวประมาณ 7 - 10 เซนติเมตร จัดว่าเป็นเส้นใยธรรมชาติประเภทสั้น ซึ่งเส้นใยลูกตาลจะมีสีเหลืองสด



ภาพที่ 1 เส้นใยตาลโดนดที่เตรียม

เส้นใยมะพร้าว มีการเตรียมเส้นใยมะพร้าว โดยการทุบพรดมะพร้าวแกล้งน้ำตาลทำให้เกิดพรดมะพร้าวแตกออก เพื่อง่ายต่อการฉีกเส้นใยมะพร้าว จากนั้นนำเส้นใยที่ได้ไปแช่น้ำเพื่อลดความแข็งของเส้นใยและป้องกันฝุ่นละอองจากใยมะพร้าวแล้วนำเส้นใยมะพร้าวไปตากแดดให้แห้งสนิท



ภาพที่ 2 เส้นใยมะพร้าวที่ตากแดดจนแห้งสนิท

4.2 การเตรียมเส้นใยสำหรับวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของเส้นใย

ดำเนินการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลด้วยการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ โดยการเตรียมเส้นใยสำหรับการวิเคราะห์มีการดำเนินการ ดังนี้ แบ่งชิ้นทดสอบประมาณ 5 กรัม จำนวน 3 ชิ้น ชั่งมวลของชิ้นทดสอบเป็นมวลของชิ้นทดสอบก่อน

แช่น้ำ หลังจากนั้นแช่ขึ้นทดสอบในน้ำสะอาด แก้วละ 500 กรัม ที่โดยตั้งไว้ที่อุณหภูมิ $20 \pm 2^\circ\text{C}$ เมื่อแช่ขึ้นทดสอบครบ 1 ชั่วโมง แล้วรืบนำขึ้นทดสอบขึ้นมาบีบขับน้ำแล้วปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นปล่อยขึ้นทดสอบไว้อีก 1 ชั่วโมง นำขึ้นทดสอบขึ้นมาซึ่งเป็นมวลหลังแช่น้ำ โดยสามารถหาค่าการดูดซึมน้ำได้จากสมการ เมื่อ m_1 คือ มวลของขึ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (g) และ m_2 คือ มวลของขึ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (g)

$$\text{Water Absorption (\%)} = \left[\frac{m_2 - m_1}{m_1} \right] \times 100$$

4.3 ผลิตั้งงาน

ทำการออกแบบสูตรการผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ type I ชนิดพิเศษ (Green Industrial) ยี่ห้อ SCG กับเส้นใย 2 ชนิด คือ เส้นใยจากผลตาลโตนดและเส้นใยมะพร้าว โดยมีอัตราส่วนของน้ำ (w/c) เท่ากับ 1:0.5:0.5 โดยปริมาตร ซึ่งทำการออกแบบสูตรตัวอย่าง ดังนี้

สูตรที่ 1 แผ่นซีเมนต์ควบคุม (CC) เป็นการผสมระหว่างปูนซีเมนต์ จำนวน 2 ส่วนโดยปริมาตรผสมกับน้ำจำนวน 1 ส่วน โดยปริมาตร (w/c 0.5) ผสมให้เข้ากันแล้วเทส่วนผสมทั้งหมดลงในแบบอะคริลิกขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร หนา 2 เซนติเมตร จนเต็มแบบแล้วใช้เกรียงปาดหน้าให้เรียบก่อนนำแผ่นอะคริลิกปิดด้านบนแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นถอดออกจากแบบอะคริลิกแล้วนำไปบ่มต่อน้ำอุณหภูมิปกติจนครบเวลา 28 วัน ก่อนจะนำมาทดสอบสมบัติด้านต่าง ๆ

สูตรที่ 2 แผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาลโตนด (CFp)

วิธีทดลองผสมแผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาลโตนด

1. ชั่งน้ำหนักเส้นใยผลตาลโตนด ดังภาพที่ 3 (ก) จำนวน 1 ส่วนโดยปริมาตร แช่น้ำจำนวน 1 ส่วนโดยปริมาตรซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.5

2. ชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์ จำนวน 2 ส่วนโดยปริมาตร จากนั้นทำการเทวัสดุในข้อที่ 1 ลงในอ่างผสมแล้วผสมให้เข้ากัน ดังภาพที่ 3 (ง - จ)

3. เทส่วนผสมทั้งหมดลงใน แบบอะคริลิก ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร หนา 2 เซนติเมตร จนเต็มแบบแล้วใช้เกรียงปาดหน้าให้เรียบก่อนนำแผ่นอะคริลิกปิดด้านบนแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3 (ฉ - ฉ) หลังจากนั้นถอดออกจากแบบอะคริลิกแล้วนำไปบ่มต่อน้ำอุณหภูมิปกติจนครบเวลา 28 วัน ก่อนจะนำตัวอย่างแต่ละสูตรมาทดสอบสมบัติด้านต่าง ๆ



ภาพที่ 3 วิธีการผสมแผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาลโตนด

แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าว

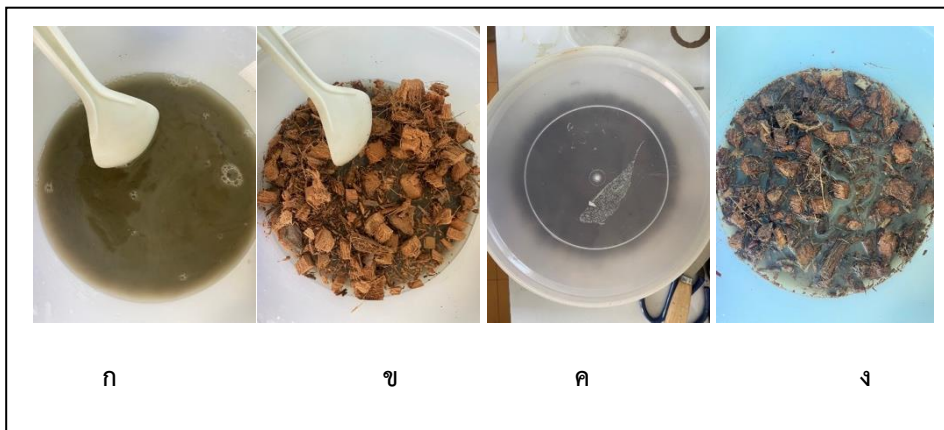
นอกจากนี้ยังทำการทดลองสูตรการผสมแผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าว โดยใช้อัตราส่วนการผสมเช่นเดียวกับแผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาลโตนดแต่ต่างกันตรงขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบของเส้นใยมะพร้าว โดยในส่วนเส้นใยมะพร้าวแยกเป็น 2 แบบ คือ

สูตรที่ 3 แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าว (CFc) ที่เส้นใยมะพร้าวที่ได้จากการเตรียมด้วยวิธีทางกล โดยใช้เครื่องย่อยกาบมะพร้าวและมีขั้นตอนการผสมเช่นเดียวกันกับแผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาลโตนด



ภาพที่ 4 (ก) วัตถุดิบกาบมะพร้าว(ข) เครื่องย่อยกาบมะพร้าว และ (ค)
เส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการย่อยแล้ว

สูตรที่ 4 แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าว (CFcem) ที่เส้นใยมะพร้าวที่ได้จากกระบวนการทางชีวภาพโดยใช้ EM ช่วยในการหมัก ย่อย ในสภาพไร้อากาศเป็นเวลา 7 วัน แล้วนำมาผสมโดยใช้วิธีการเดียวกับแผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาลโตนด



ภาพที่ 5 (ก) สารละลาย EM (ข) กาบมะพร้าวสับใส่ใน EM (ค) ปิดฝาหมักเป็นเวลา 7 วัน
และ (ง) เส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการหมักด้วย EM แล้ว

สูตรที่ 5 แผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาลและเส้นใยมะพร้าวผสมกัน (CFpc) โดยการผสมเส้นใยผลตาลโตนด จำนวน 1 ส่วนโดยปริมาตรรวมกับเส้นใยมะพร้าว จำนวน 1 ส่วนโดยปริมาตร แช่น้ำจำนวน 1 ส่วนเช่นกันและผสมกับปูนซีเมนต์ จำนวน 2 ส่วนโดยปริมาตรทำการผสมให้เข้ากันและเทลงแบบอะคริลิก ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร หนา 2 เซนติเมตร จน

เต็มแบบแล้วใช้เกรียงปาดหน้าให้เรียบก่อนนำแผ่นอะคริลิกปิดด้านบนแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นถอดออกจากแบบอะคริลิกแล้วนำไปบ่มต่อในน้ำอุณหภูมิปกติ จนครบเวลา 28 วัน ก่อนจะนำตัวอย่างมาทดสอบสมบัติด้านต่าง ๆ เช่นกัน

นอกจากนี้ยังได้นำเส้นใยมะพร้าวที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมาทำการศึกษาร่วมด้วย โดยแบ่งเป็นมะพร้าวสับและขุยมะพร้าว เป็นสูตรดังนี้

สูตรที่ 6 แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าวสับ (CFcc)

โดยการผสมเส้นใยมะพร้าวสับ จำนวน 1 ส่วนโดยปริมาตร แขนในน้ำจำนวน 1 ส่วน และผสมกับปูนซีเมนต์จำนวน 2 ส่วนโดยปริมาตร ทำการผสมให้เข้ากันและเทลงแบบอะคริลิก ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร หนา 2 เซนติเมตร จนเต็มแบบแล้วใช้เกรียงปาดหน้าให้เรียบก่อนนำแผ่นอะคริลิกปิดด้านบนแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากครบเวลาให้ถอดแผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าวสับออกจากแบบอะคริลิกแล้วนำไปบ่มต่อในน้ำอุณหภูมิปกติจนครบเวลา 28 วัน ก่อนจะนำตัวอย่างมาทดสอบสมบัติด้านต่าง ๆ

สูตรที่ 7 แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าวขุย (CFcf)

โดยการผสมเส้นใยมะพร้าวขุย จำนวน 1 ส่วนโดยปริมาตร แขนในน้ำจำนวน 1 ส่วน และผสมกับปูนซีเมนต์จำนวน 2 ส่วนโดยปริมาตร จากนั้นทำการผสมให้เข้ากันและเทลงแบบอะคริลิก ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร หนา 2 เซนติเมตร จนเต็มแบบแล้วใช้เกรียงปาดหน้าให้เรียบก่อนนำแผ่นอะคริลิกปิดด้านบนแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากครบเวลาให้ถอดแผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าวขุยออกจากแบบอะคริลิกแล้วนำไปบ่มต่อในน้ำอุณหภูมิปกติจนครบเวลา 28 วัน ก่อนจะนำตัวอย่างมาทดสอบสมบัติด้านต่าง ๆ

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมแผ่นซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติ

สูตรการผสม	ปูนซีเมนต์	เส้นใยจากผลตาล	เส้นใยมะพร้าว	น้ำ (W/C)
1. แผ่นซีเมนต์ควมคุม (CC)	1	-	-	0.5
2. แผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาล (CFp)	1	0.5	-	0.5
3. แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าว (CFc)	1	-	0.5	0.5
4. แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าวหมัก EM (CFcem)	1	-	0.5 (หมัก EM 7วัน)	0.5
5. แผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาลและเส้นใยมะพร้าวผสมกันทั้ง 2 ชนิด (CFpc)	1	0.5	0.5	0.5
6. แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าวสับ (CFcc)	1	-	0.5 (มะพร้าวสับ)	0.5
7. แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าวขุย (CFcf)	1	-	0.5 (ขุยมะพร้าว)	0.5

จากการศึกษาวิจัยเชิงทดลองของแผ่นซีเมนต์เส้นใยที่ผลิตจากเส้นใยผลตาลโตนดและเส้นใยมะพร้าวผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นซีเมนต์เส้นใยผลตาลและเส้นใยมะพร้าวเพื่อลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยมีสูตรการผสมทั้งหมด 7 สูตรการผสม ประกอบไปด้วย

สูตรที่ 1 แผ่นซีเมนต์ควบคุม (CC) ใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ผสมกับน้ำ (W/C) เท่ากับ 0.5
สูตรที่ 2 แผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาล (CFp) ใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน เส้นใยผลตาล 0.5 ส่วน และน้ำ (W/C) เท่ากับ 0.5
สูตรที่ 3 แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าว (CFc) ใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน เส้นใยมะพร้าว 0.5 ส่วน และน้ำ (W/C) เท่ากับ 0.5
สูตรที่ 4 แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าวหมัก EM (CFcem) ใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน เส้นใยมะพร้าว (หมัก EM 7วัน) 0.5 ส่วน และน้ำ (W/C) เท่ากับ 0.5

สูตรที่ 5 แผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาล และเส้นใยมะพร้าวผสมกันทั้ง 2 ชนิด (CFpc) ใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน เส้นใยผลตาล 0.5 เส้นใยมะพร้าว 0.5 ส่วนและน้ำ (W/C) เท่ากับ 0.5

สูตรที่ 6 แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าวสับ (CFcc) ใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน เส้นใยมะพร้าว (มะพร้าวสับ) 0.5 ส่วน และน้ำ (W/C) เท่ากับ 0.5

สูตรที่ 7 แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าวขุย (CFcf) ใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน เส้นใยมะพร้าว (ขุยมะพร้าว) 0.5 ส่วน และน้ำ (W/C) เท่ากับ 0.5

โดยมีผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของ เส้นใยตาลโตนดและเส้นใยมะพร้าวในเบื้องต้นได้ผลดังตารางที่ 2 ซึ่งจากการทดสอบพบว่า เส้นใยผลตาลโตนดมีค่าความชื้นในวัสดุต่ำกว่าเส้นใยมะพร้าว ดังนั้นจึงมีความสามารถในการดูดซึมน้ำของตัววัสดุ (Water absorption, %) มากกว่า เส้นใยมะพร้าว

3.1 ทดสอบชิ้นงานหลัง

จากได้ตัวอย่างสูตรการผสมแผ่นซีเมนต์เส้นใยชนิดต่าง ๆ ที่บ่มจนครบเวลา 28 วัน ขนาด 20x20x2 cm³ แล้วนำตัวอย่างแต่ละสูตรมาทดสอบสมบัติด้านต่าง ๆ ตามมาตรฐาน ดังนี้

1) การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์เพสต์ผสมเส้นใยธรรมชาติตามมาตรฐาน ASTM C20 - 00 เพื่อพิจารณา สัดส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติ คุณสมบัติทางกายภาพที่ศึกษา ได้แก่ ความพรุน (Apparent porosity) ความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water absorption) และความหนาแน่น (Bulk density) ของซีเมนต์เพสต์

2) การทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของซีเมนต์เพสต์ผสมเส้นใยธรรมชาติเป็นไปตามมาตรฐาน JIS R2618 เพื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity)

3) การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของซีเมนต์เพสต์ผสมเส้นใยธรรมชาติตามมาตรฐาน ASTM C1185 - 03 และ ASTM C1186 - 02 เพื่อพัฒนาคุณสมบัติของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ตามเกณฑ์มาตรฐานสากลและสามารถใช้งานได้การขึ้นรูปตัวอย่างแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์เริ่มจากการผสมซีเมนต์เพสต์ซึ่งมีเส้นใยธรรมชาติและทำการทดสอบตัวอย่างแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ทันทีที่นำออกจากน้ำ การทดสอบสมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนของแผ่นซีเมนต์เส้นใย สูตรต่าง ๆ ทั้ง 7 สูตรเพื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน โดยมีรายละเอียดการทดสอบคุณสมบัติตามลำดับ คือ

- สมบัติทางกายภาพ: การทดสอบสมบัติทางกายภาพ: เชิงมิติ (กว้างxยาวxหนา) ความหนาแน่น (Density) ความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยสูตรต่าง ๆ ทั้ง 7 สูตร ตามมาตรฐาน ASTM C20 - 00

- สมบัติเชิงกล: การทดสอบค่าความสามารถในการต้านทานแรงดัดตามมาตรฐาน ASTM C1185 - 03 และ ASTM C1186 - 02

- สมบัติทางความร้อน: การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) ของแผ่นซีเมนต์เส้นใยสูตรต่าง ๆ ทั้ง 7 สูตร ตามมาตรฐาน JIS R2618

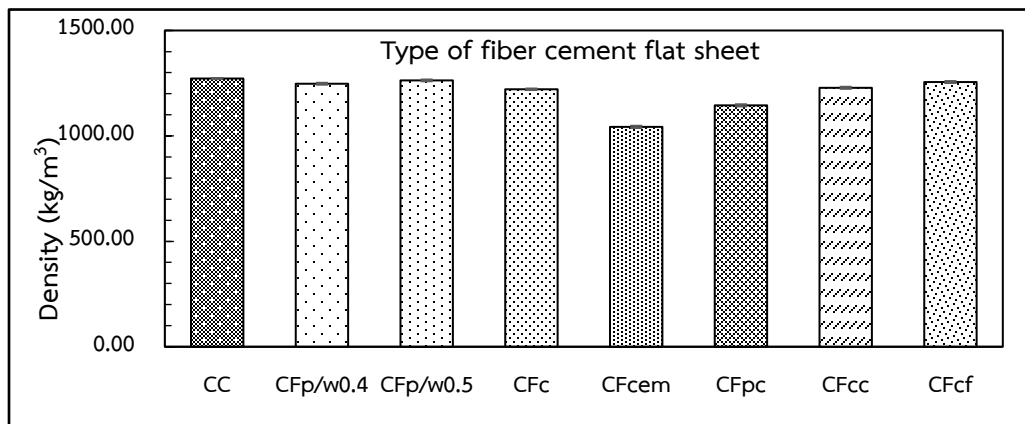
ตารางที่ 2 ค่าความชื้นในวัสดุ และค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของวัสดุ

ตัวอย่างวัสดุ	ค่าความชื้นในวัสดุ (Moisture content, %)	ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water absorption, %)
เส้นใยผลตาลโตนด	4.864 ± 0.30	453.150 ± 11.43
เส้นใยมะพร้าว	5.115 ± 0.45	396.272 ± 10.50

ผลการทดสอบที่ได้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการนำไปหาอัตราส่วนในการผสมแผ่นซีเมนต์เส้นใยผลตาลและเส้นใยมะพร้าว

3.4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ: เชิงมิติ (กว้างxยาวxหนา) ความหนาแน่น (Density) ความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ของแผ่นซีเมนต์เส้นใย สูตรต่าง ๆ ทั้ง 7 สูตร ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

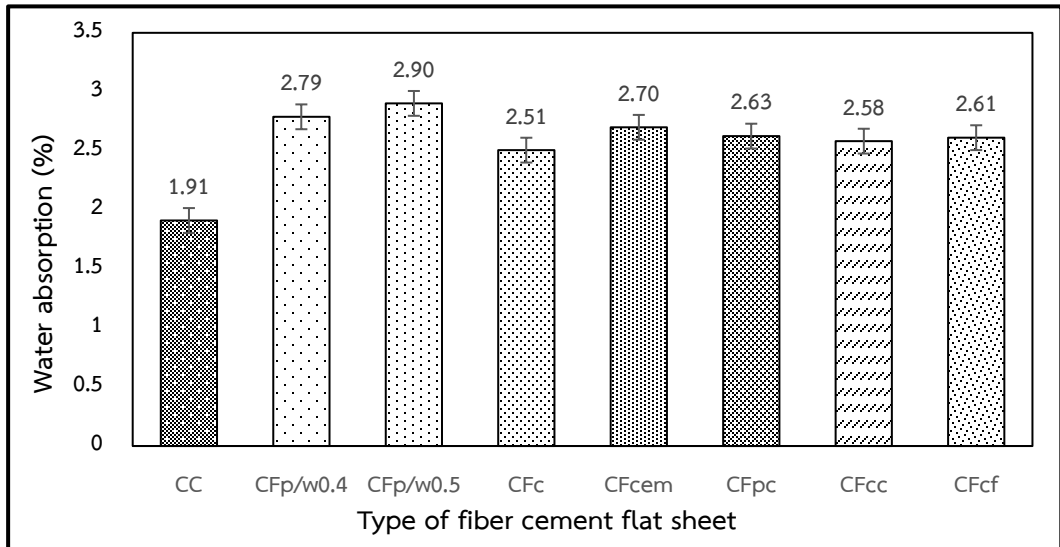
3.4.1.1 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น (Density) เป็นการทดสอบในส่วนของซีเมนต์เพสต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ



ภาพที่ 6 อธิบายค่าความหนาแน่น (Density) ของซีเมนต์เพสต์ผสมเส้นใยธรรมชาติสูตรต่าง ๆ

จากผลการทดสอบค่าความหนาแน่น (density) ของซีเมนต์เพสต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ ดังภาพที่ 6 พบว่า เมื่อผสมซีเมนต์เพสต์กับเส้นใยธรรมชาติตามอัตราส่วนผสมสูตรต่าง ๆ แล้ว เป็นผลทำให้ค่าความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์ที่ได้ทำการผสมเส้นใยชนิดต่าง ๆ มีค่าลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 5.64% ในทุกสูตรการผสม เมื่อเทียบกับแผ่นซีเมนต์ควบคุม (CC) ซึ่งมีค่าสูงที่สุดอยู่ที่ 1272.17 ± 2.352 kg/m³ ซึ่งทุกสูตรมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับแผ่นซีเมนต์ควบคุมโดยที่สูตร CFcem มีความหนาแน่นน้อยที่สุด จากการทดสอบค่าความหนาแน่นที่ลดลงเป็นผลดีในเรื่องของการใช้งานที่ผนังอาคารไม่ต้องรับน้ำหนักมากเกินไปหรือช่วยในเรื่องการขนส่งที่จะช่วยประหยัดได้ในระดับหนึ่ง

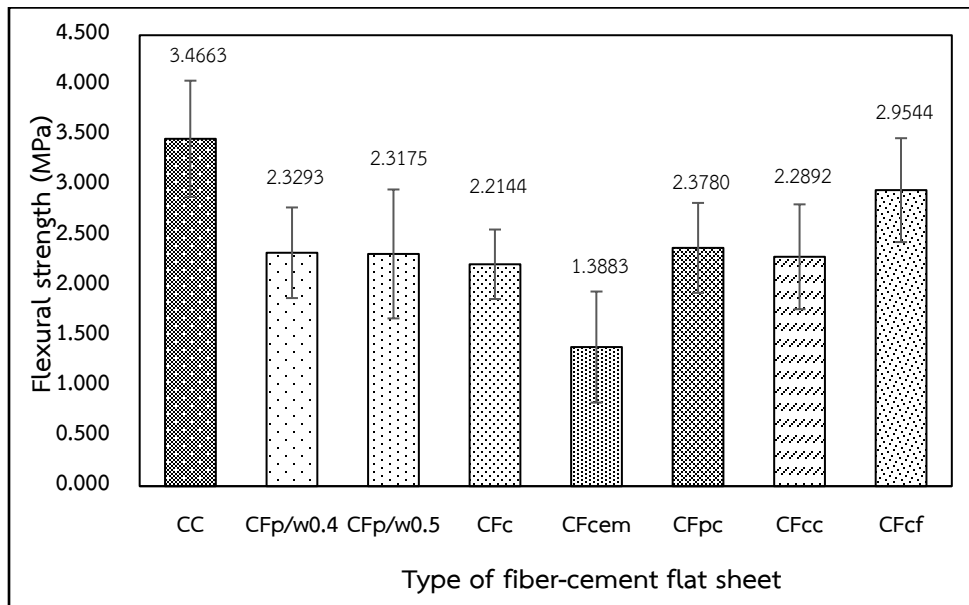
3.4.1.2 ผลการทดสอบค่าความสามารถในการซึมน้ำ (Water absorption) เป็นการทดสอบในส่วนของซีเมนต์เฟสท์ผสมเส้นใยธรรมชาติ



ภาพที่ 7 อธิบายค่าความสามารถในการซึมน้ำ (Water absorption) ของซีเมนต์เฟสท์ผสมเส้นใยธรรมชาติสูตรต่าง ๆ

จากผลการทดสอบค่าความสามารถในการดูดซึม (water absorption) ดังภาพที่ 7 ของแผ่นซีเมนต์เฟสท์ผสมเส้นใยธรรมชาติ พบว่า เมื่อผสมซีเมนต์เฟสท์กับเส้นใยธรรมชาติตามอัตราส่วนผสมตามสูตรต่าง ๆ แล้วทำให้แผ่นซีเมนต์เส้นใยทุกสูตรมีค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นทุกสูตรการผสมและมีค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 2.51% ถึง 2.90% เนื่องมาจากเส้นใยธรรมชาติแต่ละชนิดที่นำมาทำการศึกษาวิจัยมีสมบัติเฉพาะตัวในเรื่องการดูดซึมน้ำ แต่ถึงอย่างไรก็ตามค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้นไม่ได้เกินมาตรฐานที่กำหนด ตาม ASTM C373 ที่กำหนดให้ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ไม่เกิน 5%

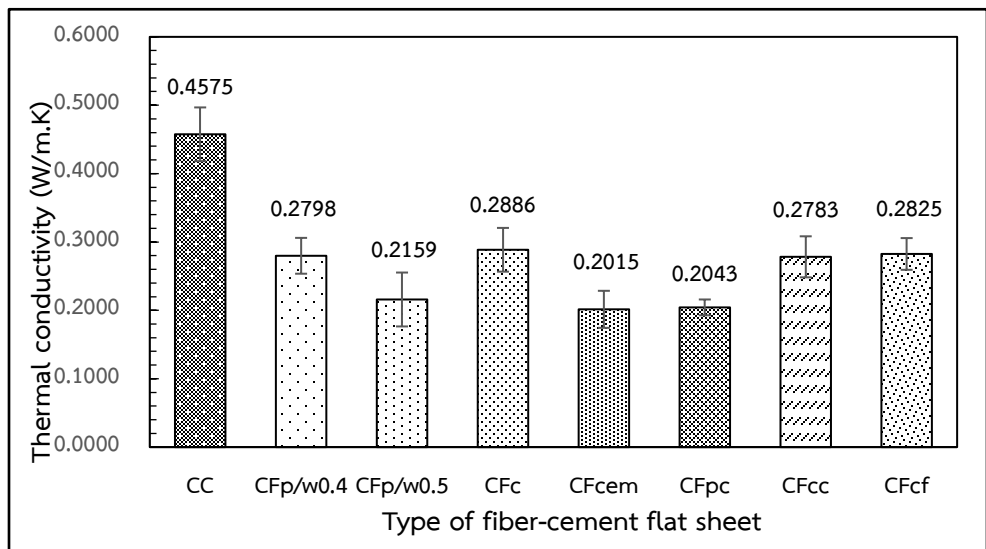
3.4.2 ผลการทดสอบเชิงกล: การทดสอบค่าความสามารถในการต้านทานแรงดัด (flexural strength) เป็นการทดสอบในส่วนของซีเมนต์เฟสท์ผสมเส้นใยธรรมชาติ



ภาพที่ 8 อธิบายความสามารถในการต้านทานแรงดัด (Flexural strength)
ของซีเมนต์เฟสผสมเส้นใยธรรมชาติสูตรต่าง ๆ

จากผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงดัด (flexural strength) ดังภาพที่ 8 ของซีเมนต์เฟสผสมเส้นใยธรรมชาติตามมาตรฐาน ASTM C293 center point loading พบว่า เมื่อผสมซีเมนต์เฟสกับเส้นใยธรรมชาติสูตรต่าง ๆ แล้วทำให้ค่าความสามารถในการต้านทานแรงดัดลดลงเมื่อเทียบกับแผ่นซีเมนต์ควบคุม (CC) ซึ่งมีค่าสูงที่สุดอยู่ที่ 3.4663 ± 0.5802 MPa อยู่ในช่วง 2.2144 ถึง 2.9544 MPa และสูตรที่ 4 แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าวหมัก EM (CFcem) มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งเป็นผลการทดสอบที่มีความสัมพันธ์กับค่าสภาพการนำความร้อน (K) ในขณะที่แผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาล และเส้นใยมะพร้าวผสมกันทั้ง 2 ชนิด มีค่าความสามารถในการต้านทานแรงดัด 2.3780 ± 0.4488 MPa ซึ่งมีขนาดเส้นใยทั้งแบบสั้นและยาวช่วยในการส่งเสริมให้มีค่าความสามารถในการต้านทานแรงดัดที่ดี

3.4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน: ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity) ความสามารถในการกักความร้อน (Temperature transmission) ของแผ่นซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติสูตรต่าง ๆ ทั้ง 7 สูตร ได้ผลการทดสอบดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 อธิบายสมบัติทางความร้อนของซีเมนต์ เฟสท์ผสมเส้นใยธรรมชาติสูตรต่าง ๆ

จากผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของแผ่นซีเมนต์เฟสท์ผสมเส้นใยธรรมชาติ ตามมาตรฐาน ASTM C518 ด้วยเครื่องทดสอบ Thermal conductivity tester ของ EKO ประเทศญี่ปุ่น พบว่า เมื่อผสมซีเมนต์เฟสท์กับเส้นใยธรรมชาติเป็นแผ่นซีเมนต์เส้นใยแล้วทำให้ค่าสภาพการนำความร้อน (K) ลดลงเมื่อเทียบกับแผ่นซีเมนต์ควบคุม (CC) ซึ่งมีค่าสูงที่สุด คือ 0.4575 ± 0.0393 W/m.K ลดลงอยู่ในช่วง 36.92 ถึง 55.96% โดยพบว่า สูตรที่ 4 แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าวหมัก EM (CFcem) มีค่าต่ำที่สุด ถัดมาคือสูตรที่ 5 แผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาลและเส้นใยมะพร้าวผสมกันทั้ง 2 ชนิด (CFpc) และสูตรที่ 2 แผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาล (CFp) ส่วนในสูตรที่ผสมกับเส้นใยมะพร้าวที่ได้จากชุมชน หรือเส้นใยที่ขายในท้องตลาด ทั้งกาบมะพร้าวสับและขุยมะพร้าว มีค่าใกล้เคียงกัน คือ 0.2886 ± 0.0320 , 0.2783 ± 0.0300 และ 0.2825 ± 0.0232 W/m.K ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า เส้นใยธรรมชาติมีสมบัติในการกั้นความร้อนที่ดีเมื่อผสมในซีเมนต์ทำให้มีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำลง มีความสามารถในการเป็นฉนวนมากขึ้น โดยเส้นใยมะพร้าวหมัก EM ทำให้เส้นใยถูกดูดซับความชื้นเข้าไปในเส้นใย เมื่อผสมกับซีเมนต์จึงมีความเข้ากันได้ดี ส่วนแผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาล และเส้นใยมะพร้าวผสมกันทั้ง 2 ชนิด มีความหลากหลายของขนาดเส้นใยทั้งแบบสั้นและยาว เมื่อผสมกับซีเมนต์จึงสามารถเข้ากันได้ดีเช่นกัน จึงส่งผลให้มีค่าสภาพการนำความร้อน (K) ต่ำทั้ง 2 สูตร

สูตรการผสมที่ผู้วิจัยนำมาใช้ในการต่อยอด คือ สูตรที่ 5 แผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาลและเส้นใยมะพร้าวผสมกันทั้ง 2 ชนิด (CFpc) โดยการผสมเส้นใยจากผลตาล และเส้นใยมะพร้าวเนื่องจากในสูตรนี้เป็นสูตรที่มีคุณสมบัติเหมาะสมมากที่สุดในการนำมาพัฒนาเนื่องจากมีค่าความสามารถในการเป็นฉนวนความร้อนที่ดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การกั้นความร้อนเท่ากับ 0.2043 ± 0.0210 W/m.K ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักของทางผู้วิจัยที่ต้องการผลิตและต่อยอดแผ่นซีเมนต์เส้นใยเพื่อลดปริมาณความร้อนสู่อาคารตลอดจนสูตรดังกล่าวมีค่าความความสามารถในการต้านทานแรงดัด 2.3780 ± 0.4488 MPa ซึ่งถ้าเทียบสูตรการผสมของแผ่นซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติทั้ง 7 สูตรการผสมแล้วแผ่นซีเมนต์เส้นใยผลตาลและเส้นใยมะพร้าวที่มีการผสมเส้นใยทั้ง 2 ชนิด มีค่าเหมาะสมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การกั้นความร้อนและค่าความความสามารถในการต้านทานแรงดัดที่ดี นอกจากนี้ยังเป็นการนำวัสดุจากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของผู้วิจัย ทั้งนี้ในส่วนของการพัฒนาต่อยอดในงานวิจัยขั้นนี้ทั้งหมด 6 สูตร ดังนี้

สูตรที่ 1 แผ่นซีเมนต์ควบคุม (CC)

สูตรที่ 2 แผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาล (CFp)

สูตรที่ 3 แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าว (CFC)

สูตรที่ 4 แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าวหมัก EM (CFcem)

สูตรที่ 6 แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าวสับ (CFcc)

สูตรที่ 7 แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าวขุย (CFcf)

เนื่องจากแต่ละสูตรมีความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์ที่ดี มีความแข็งแรงที่ดี แต่ในแง่ของค่าความสามารถในการเป็นฉนวนความร้อนยังน้อยกว่าสูตรที่ 5 ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ของผู้วิจัย อาจกล่าวได้ว่าการพัฒนาต้องเป็นลักษณะด้านความแข็งแรงในการรับน้ำหนัก ซึ่งในการนำไปใช้งานควรเน้นการใช้ในอาคารมากกว่าหรือนำมาพัฒนาเป็นซีเมนต์ที่ประยุกต์ใช้ในเชิงโครงสร้าง เช่น การลดมวลรวมโดยใช้วัสดุทางธรรมชาติทดแทนและต้องมีย่อขังหรือช่องว่างการใช้งานในด้านคุณสมบัติดังกล่าวที่สามารถนำมาใช้งานได้จริง

ตารางที่ 3 การสรุปคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ

การทดสอบ	รายละเอียด
<u>การทดสอบสมบัติทางกายภาพ</u> ประกอบด้วย - การทดสอบความหนาแน่น - การทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ	- ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น (Density) พบว่า เมื่อผสมซีเมนต์เพสต์กับเส้นใยธรรมชาติตามอัตราส่วนผสมสูตรต่าง ๆ แล้วความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์มีค่าลดลงทุกสูตรการผสมเมื่อเทียบกับแผ่นซีเมนต์ควบคุม (CC) ซึ่ง เป็นผลดีในเรื่องของการใช้งานที่ผนังอาคารไม่ต้องรับน้ำหนักมากเกินไปหรือช่วยประหยัดในเรื่องการขนส่ง - ผลการทดสอบค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ (water absorption) พบว่า เมื่อผสมซีเมนต์เพสต์กับเส้นใยธรรมชาติตามอัตราส่วนผสมตามสูตรต่าง ๆ แล้วทำให้แผ่นซีเมนต์เส้นใยทุกสูตรมีค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นทุกสูตรการผสมและมีค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้น 2.5062 - 2.9022% ซึ่งไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดตาม ASTM C373 ที่กำหนดให้ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ไม่เกิน 5%
<u>การทดสอบสมบัติเชิงกล</u> ทดสอบสมบัติด้านความแข็งแรง โดย การทดสอบค่าความสามารถในการต้านทานแรงดัด	ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงดัด (flexural strength) ตามมาตรฐาน ASTM C293 center point loading พบว่า เมื่อผสมซีเมนต์เพสต์กับเส้นใยธรรมชาติสูตรต่าง ๆ แล้วทำให้ค่าความสามารถในการต้านทานแรงดัดลดลงเมื่อเทียบกับแผ่นซีเมนต์ควบคุม (CC) ซึ่งมีค่าสูงที่สุดอยู่ที่ 3.4663 ± 0.5802 MPa อยู่ในช่วง 2.2144 - 2.9544 MPa โดยขนาดเส้นใยที่มีทั้งแบบสั้นและแบบยาวจะช่วยส่งเสริมให้มีค่าความสามารถในการต้านทานแรงดัดที่ดี
การทดสอบ	รายละเอียด
<u>การทดสอบสมบัติทางความร้อน</u> ทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนของแผ่นซีเมนต์เพสต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ ตามมาตรฐาน ASTM C518 ด้วยเครื่องทดสอบ Thermal conductivity tester ของ EKO ประเทศญี่ปุ่น โดยการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเพื่อวัดความสามารถในการกั้นความร้อน พบว่า เมื่อผสมซีเมนต์เพสต์กับเส้นใยธรรมชาติเป็นแผ่นซีเมนต์เส้นใยแล้วทำให้ค่าสภาพการนำความร้อน (K) ลดลงเมื่อเทียบกับแผ่นซีเมนต์ควบคุม (CC) ซึ่ง

การทดสอบ	รายละเอียด
	มีค่าสูงที่สุด คือ 0.4575 ± 0.0393 W/m.K ลดลงอยู่ในช่วง 36.92 - 55.96% โดยพบว่า สูตรที่ 4 แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าวห้ก EM (CFcem) มีค่าต่ำที่สุด รองลงมาคือ สูตรที่ 5 แผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาลและเส้นใยมะพร้าวผสมกันทั้ง 2 ชนิด (CFpc) ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าเส้นใยธรรมชาติมีสมบัติในการกั้นความร้อนที่ดีเมื่อผสมในซีเมนต์ทำให้มีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำลง มีความสามารถในการเป็นฉนวนมากขึ้น โดยเส้นใยมะพร้าวห้ก EM ทำให้เส้นใยถูกดูดซับความชื้นเข้าไปในเส้นใย เมื่อผสมกับซีเมนต์จึงมีความเข้ากันได้ดี ส่วนแผ่นซีเมนต์เส้นใยจากผลตาล และเส้นใยมะพร้าวผสมกันทั้ง 2 ชนิด มีความหลากหลายของขนาดเส้นใยทั้งแบบสั้นและยาวเมื่อผสมกับซีเมนต์จึงสามารถเข้ากันได้ดีเช่นกัน จึงส่งผลให้มีค่าสภาพการนำความร้อน (K) ต่ำ

การติดตามผล

การทดลองชิ้นงานในงบประมาณประจำปี 2563 เป็นการนำร่องการทดลองการใช้งานและรูปแบบที่สามารถนำมาใช้ในการติดตั้ง เนื่องจากในการทดสอบซีเมนต์ต้องใช้เวลาในการทดสอบ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สามารถนำไปสู่การตรวจสอบผลของการใช้งาน ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้มีการติดตามผลจากการติดตั้งการใช้งานเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสภาพของชิ้นงาน มีการทดลองค่าความร้อน โดยการติดตั้งแผ่นซีเมนต์เส้นใยและไม่ติดตั้งแผ่นซีเมนต์เส้นใยภายในพื้นที่ห้องว่ามีข้อดีและข้อเสียอย่างไร

จากการทดสอบโดยการนำแผ่นซีเมนต์สูตรที่ 5 ติดที่ผนังอาคาร โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิอาคารภายนอกและอุณหภูมิวัสดุภายนอกอาคาร พบว่าผนังอาคารที่ติดตั้งแผ่นซีเมนต์จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิผนังอาคารภายนอกทั่วไป อุณหภูมิลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 2.37 องศาเซลเซียส ดังนั้นจากการทดสอบทำให้เห็นว่าการนำแผ่นซีเมนต์ในสูตรที่ 5 มาใช้งานสามารถลดค่าความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารได้ ถือว่าเป็นประโยชน์ในการนำมาพัฒนาและต่อยอดในอนาคตรวมถึงการออกแบบเชิงสร้างสรรค์ให้เป็นแผ่นซีเมนต์เส้นใย เพื่อใช้ในวัสดุก่อสร้างหรือวัสดุเชิงพาณิชย์ได้โดยการวัดอุณหภูมิจากเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด BENETECH รุ่น GM320 IR Thermometer ซึ่งเครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด (Infrared Thermometer) รุ่น GM320 แบรนด Benetech มีย่านการวัด ระหว่าง -50°C ถึง 380°C (-58°F ถึง 716°F) มีความแม่นยำในการวัดที่ $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ เพิ่มความแม่นยำในการวัดด้วย Laser Pointer ทำให้แสดงตำแหน่งที่วัดได้อย่างแม่นยำ หน้าจอ LCD พร้อมกับ Back light ทำให้สามารถอ่านค่าได้แม้ในที่แสงสว่างน้อย GM320 ผ่านการรับรองมาตรฐาน CE เหมาะสำหรับวัดอุณหภูมิบริเวณพื้นที่อันตราย พื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง พื้นที่แคบ ชิ้นงานที่ไม่ต้องการให้สัมผัสงานซ่อมบำรุงที่มีพื้นที่แคบหรือไม่สามารถติดตั้งเครื่องมือวัดได้

การทดสอบเพิ่มเติม

การทดสอบ EM ในสูตรที่ 4 แผ่นซีเมนต์เส้นใยมะพร้าวห้ก EM (CFcem) ทั้งนี้ในการทดลอง ในการย่อยสลายเส้นใยให้อ่อนตัวลง 7 วัน โดยอาศัยประสิทธิภาพของ EM ที่สามารถเปลี่ยนสภาพความเป็น กรด - ด่าง ให้เส้นใยนิ่มนวลลงไม่ได้มีผลในเชิงความสามารถในแง่ของความสามารถในการเป็นฉนวนความร้อน ซึ่งทางผู้วิจัยมีความเห็นว่าหากต้องพัฒนาในส่วนผสมดังกล่าวอาจจะทำในส่วนงานวิจัยต่อยอดในด้านอื่นต่อไปในอนาคต

5. สรุป

ในการศึกษาวิจัยเชิงทดลองของแผ่นซีเมนต์เส้นใยผลตาลและเส้นใยมะพร้าวเพื่อลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารนั้นพบว่า แผ่นซีเมนต์เส้นใยที่มีสูตรการผสมของเส้นใยจากผลตาลโดนดและเส้นใยมะพร้าวในอัตราส่วน ปูนซีเมนต์:เส้นใยจากผลตาลโดนด:เส้นใยมะพร้าว:น้ำ เท่ากับ 1:0.5:0.5:0.5 มีความสามารถในการเป็นฉนวนความร้อนที่ดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การกั้น

ความร้อนเท่ากับ 0.2043 ± 0.0210 W/m.K และมีค่าความสามารถในการต้านทานแรงดัด 2.3780 ± 0.4488 MPa ในการทดสอบทางกายภาพนั้นทุกสูตรการผสมผ่านตามาตรฐาน ASTM C20 – 00 โดยมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับแผ่นซีเมนต์ควมคุม ส่วนความสามารถการดูดซึมน้ำทุกสูตรผ่านมาตรฐาน ASTM C373 ที่กำหนดค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำไม่เกิน 5% สำหรับการทดสอบเชิงกลทุกสูตรผสมผ่านตามาตรฐาน ASTM C1186 – 02 ที่กำหนดขั้นต่ำของความต้านทานแรงดัด คือ 4MPa ซึ่งถ้าเทียบสูตรการผสมของแผ่นซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติทั้ง 7 สูตรการผสมแล้ว แผ่นซีเมนต์เส้นใยผลตาลและเส้นใยมะพร้าวที่มีการผสมเส้นใยทั้ง 2 ชนิดมีค่าเหมาะสมทั้งค่าสมบัติการกันความร้อนและค่าความสามารถในการต้านทานแรงดัดที่สามารถนำไปพัฒนาต่อยอด รวมถึงนำการออกแบบเชิงสร้างสรรค์ให้เป็นแผ่นซีเมนต์เส้นใย เพื่อใช้ในวัสดุก่อสร้างหรือวัสดุเชิงพาณิชย์ได้

ข้อเสนอแนะจากงานวิจัยครั้งนี้ คือ จากการที่แผ่นซีเมนต์เส้นใยผลตาลและเส้นใยมะพร้าวมีค่าสมบัติการกันความร้อน และค่าความสามารถในการต้านทานแรงดัดที่เหมาะสมกับการนำไปพัฒนาเป็นวัสดุบุผนังได้แต่ยังไม่ค่อยมีการศึกษาด้านการใช้งานจริงเท่าที่ควร จึงควรมีการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติในการนำไปใช้งานจริงเพิ่มเติม สำหรับข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อยอดเชิงพาณิชย์อาจมีการพัฒนาเพิ่มความหลากหลายในด้านของสัดส่วนของสูตรการผสมแผ่นซีเมนต์เส้นใยเพื่อให้ยังคุณสมบัติเดิมแต่มีต้นทุนที่ถูกลง ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างความสามารถทางการแข่งขันได้ด้านการเป็นผู้นำด้านต้นทุนได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2563 ซึ่งทำให้ผู้วิจัยสามารถเก็บข้อมูลงานวิจัย การทดสอบ และทดลองงานวิจัยเรื่องซีเมนต์เส้นใยผลตาลและเส้นใยมะพร้าว เพื่อลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร ฉบับนี้ได้สำเร็จดังที่ตั้งใจไว้ทุกประการ

7. เอกสารอ้างอิง

- กิตติพันธ์ บุญโตสิทธะกุล, กิตติพงษ์ สุวิโร และปราโมทย์ วีรานุกุล. (2562). การพัฒนาเปลือกอาคารผสมเส้นใยมะพร้าว. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี*, 17(2), 25–35.
- ศทพพล ปิ่นพัฒนพงศ์, ปิติพร มโนคัน, ภัทรมาศ เทียมเงิน และฐนียา รังสีสุริยะชัย. (2563). การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวและกากไขมันเหลือทิ้งจากมะพร้าว. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, 31(4), 77–86.
- จุฑามาศ ลักษณะกิจ และนันทชัย ชูศิลป์. (2562). อิทธิพลของเส้นใยธรรมชาติจากวัสดุเหลือทิ้งต่อคุณสมบัติของแผ่นผ้าเพดานไฟเบอร์ซีเมนต์. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, 30(4), 7–17.
- จุฑารัตน์ นกแก้ว. (2564). ภูมิปัญญาท้องถิ่นตาลโตนดของไทย: การสังเคราะห์องค์ความรู้จากงานวิจัย. *วารสารห้องสมุด*, 65(1), 35–56.
- ธรรมศร เชียงทองสุข, จิระภา มาพงษ์, ธารารัตน์ แก้วสกุลณี และอำพน จรัสจรวงเกียรติ. (2564). การพัฒนาคอนกรีตบล็อกระบบเซลล์ลาร์ด้วยส่วนผสมจากขุยมะพร้าว เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติฉนวนกันความร้อน. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 26* 23-25 มิถุนายน 2564, การประชุมรูปแบบออนไลน์.
- ประภาพรพันธุ์ พินนวล, พิชัย สดกิบาล และทรงวุฒิ เอกวุฒิจวงศา. (2561). การศึกษาและพัฒนาวัสดุจากเส้นใยจากตาลเพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์. *วารสารวิชาการศิลปสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยรัตนนคร*, 9(2), 1–19.
- รชานา แวดอเลาะ, สาทิณี วัฒนกิจ, ภาณุพันธ์นิตดา ด่านุรักษ์วัฒน์, ณัฐชนา นวลยัง และนันทส ภัคมาน.. (2565). การใช้ประโยชน์จากตาลโตนด สู่นวัตกรรมวัสดุตกแต่งผนังตาลโตนด. *ประชุมวิชาการระดับชาติ RUTS2022*. 1–13.
- วิโรจน์ ไกรเทพ. (2562). สมบัติเชิงกลของซีเมนต์เพสต์เสริมเส้นใยมะพร้าวโดยใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปทุมธานี.
- วรวิจิตร วิจิตรจันทร์ และชูพงษ์ ทองคำสมุทร. (2561). พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความชื้นผ่านวัสดุผนังที่ใช้ในอาคาร. *การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอาคารด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 5*. 1–11.

- สมพงษ์ พิริยานต์ และกิตติศักดิ์ บัวศรี. (2562). การผลิตและทดสอบสมบัติทางความร้อนและทางกลของวัสดุผสมจากน้ำยางธรรมชาติและเส้นใยมะพร้าว. *การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, นนทบุรี*.
- อนูรัตน์ ภูวนาคำ. (2564). การพัฒนาวัสดุเชิงประกอบไฟเบอร์ซีเมนต์จากขยะโรงไฟฟ้าถ่านหิน. *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี*.
- อรณิข ธนากรรัฐ และนภดล จอกแก้ว. (2564). การศึกษาการก่อสร้างระบบอุตสาหกรรมในอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 24*.
- อธิณีย์ บุญที, ศุภัจฉรา ศรีมุข, ไพศาล เอื้อสินทรัพย์, สิริประภัสสร ระย้าย้อย, ศศิธร สายแก้ว และประพนธ์ เลิศลอยปัญญาชัย. (2561). อิทธิพลของเส้นใยจากมะพร้าวที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ. *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 6 : มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง*.
- อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์ และฉันทนา เล็กใจเชื้อ. (2560). สมบัติเชิงความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากต้นปุด. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 35(1), 102-108.
- ASTM Committee. (2005). ASTM C20-00 Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water. *Annual Book of ASTM Standard West Conshohochen USA*.
- American Society of Testing and Material [ASTM]. (2006). ASTM C1185-03 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]. (2006). ASTM C1186-02 Standard specification for flat non-asbestos fiber-cement sheet. Philadelphia.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2009). Natural Fibers: Coir, International Year of Natural Fibers 2009. Retrieved June 1, 2022, from <http://www.naturalfibres2009.org>
- Japanese Standards Association. (1992). JIS R 2618 Testing method for thermal conductivity of insulating fire bricks by hot wire. Japanese Industrial Standard Japan.
- N. D. Bheel, S. Sohu, A. A. Jhatial and N. A. Memon.. (2022). Combined effect of coconut shell and sugarcane bagasse ashes on the workability, mechanical properties and embodied carbon of concrete. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(4), 5207-5223.
- O. Azeta, A. Ayeni, O. Agboola and F. Elehinaf.. (2021). A review on the sustainable energy generation from the pyrolysis of coconut biomass. *Scientific African* 13 (2021).