วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.04.005

บทความวิจัย

การพัฒนาซีเมนต์บอร์ดจากคอนกรีตผสมแกนกัญชงเสมือนมวลรวมละเอียด

มงคล ยุทธหาร[1] ศตวรรษ หฤหรรษพงศ์[1*] ณรงค์เดช อินทรัตน์ชัยกิจ[1] และ ยิ่งยง รุ่งฟ้า[2]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย

[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย

[*] ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: sattawat_ha@rmutto.ac.th

วันที่รับบทความ: 13 สิงหาคม 2567; วันที่ทบทวนบทความ: 3 มกราคม 2568; วันที่ตอบรับบทความ: 27 มกราคม 2568
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 22 เมษายน 2568

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากแกนกัญชงเสมือนมวลรวมละเอียดร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน โดยกำหนดอัตราส่วนทั้งหมด 5 อัตราส่วน ประกอบด้วยอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ : ทราย : แกนกัญชง เท่ากับ 1 : 2 : 0.11, 1 : 2 : 0.12, 1 : 2 : 0.13, 1 : 2 : 0.14 และ 1 : 2 : 0.15 โดยน้ำหนัก ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของแผ่นซีเมนต์บอร์ด ตามมาตรฐาน มอก. 878-2566 จากผลการทดสอบพบว่ามีค่าความหนาแน่นตั้งแต่ 1,752 ถึง 1,783 กก./ลบ.ม. ค่าความชื้นร้อยละ 2.37 ถึง 3.75 ส่วนค่ากำลังรับแรงดัดเท่ากับ 5.18 ถึง 6.81 กก./ตร.ซม. ที่อายุ 7 วัน และค่าความต้านทานของแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเท่ากับ 0.11 ถึง 0.18 กก./ตร.ซม. ที่อายุ 7 วัน โดยอัตราความชื้นและการพองตัว มีค่าผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน มอก. 878-2566 ส่วนความหนาแน่น กำลังรับแรงดัด และแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด เนื่องจากลักษณะกายภาพของแกนกัญชงมีความพรุน ซึ่งลดการยึดเกาะระหว่างปูนซีเมนต์และแกนกัญชง พื้นที่สัมผัสระหว่างซีเมนต์และแกนกัญชงลดลง ทำให้แรงดัดและแรงดึงตั้งฉากลดลงตามการเพิ่มของปริมาณแกนกัญชง

คำสำคัญ: แกนกัญชง; แผ่นซีเมนต์บอร์ด; สมบัติทางกายภาพ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.04.005

บทความวิจัย

Development of Cement Board from Concrete Mixed with Hemp Core as Fine Aggregate Substitute

Mongkol Yutthaharn[1], Sattawat Haruehansapong [1*], Narongdej Intaratchaiyakit[1] and Yingyong Rungfah[2]

[1] Division of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Tawan-ok (Uthenthawai Campus)

[2] Division of Industrial Product Design Technology, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Tawan-ok (Uthenthawai Campus)

[*] Corresponding author, E-mail: sattawat_ha@rmutto.ac.th

Received: 13 August 2024; Revised: 3 January 2025; Accepted: 27 January 2025
Online Published: 22 April 2025

Abstract: This research focuses on the development of cement boards using hemp core as a fine aggregate substitute combined with cement as a binder. Five mix ratios were designed, consisting of cement: sand: hemp core ratios of 1 :2 :0.11, 1 :2 :0.12, 1 :2 :0.13, 1: 2: 0.14, and 1: 2: 0.15 by weight. The physical and mechanical properties of the cement boards were evaluated according to the Thai Industrial Standard (TIS) 878-2566. The results showed that the density of the boards ranged from 1,752 to 1,783 kg/m³, while the moisture content varied between 2.37% and 3.75%. The flexural strength was recorded at 5.18 to 6.81 kg/cm² at 7 days, and the tensile strength perpendicular to the surface ranged from 0.11 to 0.18 kg/cm² at 7 days. The moisture content and swelling values complied with the TIS 878-2566 standards. However, the density, flexural strength, and tensile strength perpendicular to the surface were below the specified requirements of the standard. This is attributed to the porous nature of the hemp core, which reduces the bonding between the cement and the hemp core. The decreased contact area between the cement matrix and the hemp core resulted in reduced flexural and tensile strength as the proportion of hemp core increased.

Keywords: Hemp Core; Cement Board; Physical Properties

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.04.005

บทความวิจัย

1. บทนำ

แผ่นซีเมนต์บอร์ดหรือไม้อัดซีเมนต์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการก่อสร้างบ้านสำเร็จรูปและใช้เป็นส่วนประกอบของบ้านเรือน สามารถลดต้นทุนในการก่อสร้างลงได้ เนื่องจากนิยมนำมาใช้เป็นผนังแทนการก่ออิฐฉาบปูน ซึ่งแผ่นซีเมนต์บอร์ดมีกรรมวิธีการผลิตโดยใช้เส้นใยจากไม้แทนที่จะเป็นชิ้นไม้ แผ่นซีเมนต์บอร์ดแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ 1. แผ่นเส้นไม้อัดซีเมนต์ หรือมีชื่อเรียกว่า Wood-Wood Board หรือ Wood-Wood Cement Slabs (W.W.S.) แผ่นฝอยไม้อัดซีเมนต์ชนิดใช้งานทั่วไป 2. แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ (Cement-Bonded Particle-Boards) ชิ้นไม้สับ (Wood Chip) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ มีความหนาแน่น (Density) สูงสุด 1,250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีมาตรฐาน มอก.878-2566 [1] แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ความหนาแน่นสูง และ 3. แผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ (Cement-Bonded Fiber Board) มีกรรมวิธีการผลิตเช่นเดียวกับแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ แต่ใช้เส้นใยจากไม้แทนที่จะเป็นชิ้นไม้ ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์แผ่นซีเมนต์บอร์ดจากเส้นใยไม้ ยังไม่มีมาตรฐานใดมากำหนดคุณภาพของวัสดุที่จะใช้ผลิต ทำให้เส้นใยชนิดอื่น ๆ เช่น ไม้ยูคาลิปตัส เส้นใยจากปาล์มน้ำมัน เถ้ากะลามะพร้าวและแกนกัญชง [2] อาจถูกนำมาใช้ในอนาคตเพื่อทดแทนเส้นใยที่ได้จากแร่ใยหิน (Asbestos) ที่สร้างมลพิษให้กับสภาพสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก [3]

ในประเทศไทย กัญชง (Hemp) จัดเป็นพืชเส้นใยที่มีสมบัติในด้านความยืดหยุ่น ความแข็งแรง และความทนทานสูงสามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย และปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดี ชาวเขาเผ่าต่าง ๆ ทางภาคเหนือจึงมีการใช้เส้นใยจากลำต้นของต้นกัญชงกันมาใช้เป็นเส้นใยทอผ้า จากการศึกษาพบว่าเส้นใยกัญชงเป็นเส้นใยที่มีคุณภาพสูง มีความยืดหยุ่น แข็งแรงและทนทาน สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผ้าและกระดาษได้ดี มีคุณภาพดีกว่าเส้นใยจากฝ้ายและลินิน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเส้นใยจากการปลูกกัญชงกับการปลูกฝ้าย กัญชงจะให้ผลผลิตมากกว่าฝ้าย 2 ถึง 3 เท่า เส้นใยกัญชงจึงเริ่มมีบทบาทสำคัญในตลาดเส้นใยธรรมชาติและนอกเหนือจากเส้นใยแล้ว ส่วนอื่น ๆ ของกัญชง เช่น น้ำมันจากเมล็ดกัญชง (Hemp Seed Oil) ยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทำเป็นอาหารเสริม เครื่องสำอาง น้ำมันหอมระเหย อย่างไรก็ตามหลังจากกระบวนการแปรรูปกัญชงแล้ว ยังเหลือส่วนที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ ส่วนของลำต้นและแกนของต้นกัญชง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 70 ถึง 80 ของผลผลิตทั้งหมดของต้นกัญชง [4] ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าควรที่จะนำแกนกัญชงนี้มาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าและนำแกนกัญชงมาใช้ประโยชน์เพื่อลดความสูญเปล่าของวัสดุอย่างมีประสิทธิภาพ (Zero Waste) ซึ่งในต่างประเทศ [5] ได้นำส่วนที่เหลือดังกล่าวมาแปรรูปเป็นวัสดุก่อสร้างบ้านเรือน โดยเฉพาะการนำส่วนเหลือของกัญชงมาเป็นส่วนผสมหลักในการทำส่วนผสมในคอนกรีต [6] และเป็นวัสดุทดแทนไม้จากธรรมชาติ

ปัจจุบันการนำวัสดุผสมชีวภาพมาใช้ในส่วนผสมคอนกรีตจะต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสมรรถนะของเส้นใยธรรมชาติให้ดีขึ้นและเหมาะสมต่อการนำมาประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากโดยธรรมชาติของเส้นใยธรรมชาติจะมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากเส้นใย คือ เซลลูโลส (Celluloses) ลิกนิน (Lignin) เพกติน (Pectin) และ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.04.005

เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้การยึดเกาะไม่ดี อันเป็นผลมาจากการที่วัสดุชีวภาพดูดซึมความชื้นเอาไว้ และส่งผลถึงสมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุประสานให้ลดน้อยลงไปด้วย [7] และจากการศึกษาของ สมชายและคณะ [8] พบว่ามีศักยภาพในการนำเส้นใยธรรมชาติมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุประสานและยังสามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการทำลายของแมลงและถูกนำไปใช้ตกแต่งภายในอาคารเพื่อให้เกิดความสวยงาม ทดแทนการใช้ไม้ มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพช่วยประหยัดพลังงานและลดขนาดน้ำหนักโครงสร้างของอาคารลงได้

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำแกนกัญชงมาเป็นวัสดุประสานที่มีสมบัติเป็นวัสดุที่น้ำหนักเบา ทนทานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [9] โดยผลของการศึกษาจะเป็นประโยชน์อย่างมากที่สามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทดแทนไม้อัดที่สร้างมูลค่าเพิ่มและส่งเสริมการปลูกต้นกัญชงในอนาคตเพื่อนำมาเป็นวัสดุทางเลือกในด้านงานก่อสร้าง

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้วิจัย

2.1.1 วัสดุประสาน

ปูนซีเมนต์ (Cement) ใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hybrid Cement) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.94 และมีสมบัติตามมาตรฐาน มอก.2594 [10]

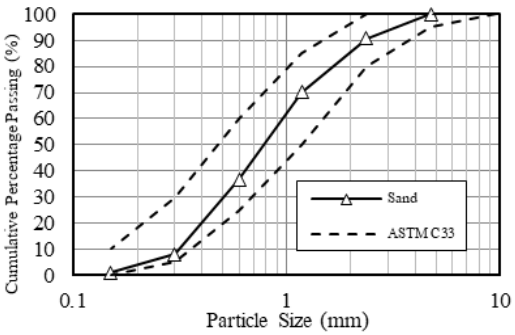
2.1.2 แกนกัญชง

แกนกัญชง (รูปที่ 1) จากสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูงจากทางภาคเหนือของประเทศไทยและมีค่าความถ่วงจำเพาะ และความหนาแน่นอยู่ที่ 0.6 และ 120 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [11] โดยนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) แล้วใช้แกนกัญชงที่ขนาดค้างตะแกรงเบอร์ 4 ทำหน้าที่เสมือนมวลรวมละเอียด

2.1.3 มวลรวม

มวลรวมละเอียดที่ใช้เป็นทรายแม่น้ำมีขนาดผ่านตะแกรง เบอร์ 4 ซึ่งมีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.54 และค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.27 โดยขนาดคละของมวลรวมละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C33 [12] แสดงดังรูปที่ 2

รูปที่ 1 แกนกัญชงที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมในงานวิจัย



รูปที่ 2 ขนาดคละของมวลรวมละเอียด

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.04.005

2.1.4 สารผสมเพิ่ม

สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) ที่นำมาใช้ คือ ADVA CAST 2727 เป็นสารประกอบโพลิเมอร์ (Polymer) ที่ออกแบบมาใช้กับงานที่ต้องการกำลังอัดสูงในช่วงต้น ให้ความสามารถในการไหลตัวได้ดี โดยทำการผสมที่ 1% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ สารอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ [$Al_2(SO_4)_3$] และสารแคลเซียมซัลเฟต [$Ca(OH)_2$] นำมาใช้อัตราส่วน $Al_2(SO_4)_3$: $Ca(OH)_2$ = 21 : 42 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของแกนเฮมพ์เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุแกนเฮมพ์ก่อนนำมาใช้ดังงานวิจัยของ Saksith และคณะ [2]

2.2 ส่วนผสมแผ่นซีเมนต์บอร์ด

ออกแบบส่วนผสมของแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากแกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน เพื่อใช้ในการขึ้นรูปและทดสอบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ประโยชน์ โดยได้ออกแบบจากอัตราส่วนของแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่มีปริมาณแกนกัญชงมากที่สุด แล้วจึงได้ลดปริมาณของแกนกัญชงลง จนได้อัตราส่วนทั้งหมดรวม 5 อัตราส่วน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากแกนกัญชง (โดยน้ำหนัก)

ตัวอย่าง	ปูน	ทราย	แกนกัญชง	น้ำ
H11	1	2	0.11	0.48
H12	1	2	0.12	0.48
H13	1	2	0.13	0.48
H14	1	2	0.14	0.48
H15	1	2	0.15	0.48

2.3 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของแผ่นซีเมนต์บอร์ดตามมาตรฐาน มอก.878-2566 เรื่องแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ในแต่ละอายุการทดสอบจะใช้ตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่างเพื่อเป็นค่าเฉลี่ยในการทดสอบ ซึ่งสมบัติที่ต้องทดสอบตามมาตรฐาน มอก.878-2566 นี้ จะประกอบไปด้วย ความหนาแน่น, ความชื้น, การพองตัวเมื่อแช่น้ำ, ความต้านทานแรงดัด และความต้านทานแรงดึงตั้งฉากที่ผิวหน้า โดยขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นซีเมนต์บอร์ด ดังนี้

1. เตรียมแบบหล่ออะคริลิคแผ่นซีเมนต์บอร์ด โดยทาน้ำยาทาแบบที่แบบหล่ออะคริลิค ขนาด 30 × 30 × 1.5 เซนติเมตร
2. เตรียมส่วนผสมสำหรับแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์ (OPC) เป็นวัสดุประสานตามการออกแบบ
3. ผสมส่วนผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมคอนกรีต
4. นำส่วนผสมที่เข้ากันดีแล้วมาเทลงในแบบอะคริลิคเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นซีเมนต์บอร์ด ที่อุณหภูมิปกติและทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จนแผ่นซีเมนต์บอร์ดแข็งตัว
5. นำแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากแกนกัญชงที่ได้จากการถอดแบบอะคริลิคเรียบร้อยแล้ว ไปบ่มในอากาศเป็นระยะเวลาต่าง ๆ ได้แก่ 7 14 และ 28 วัน ตามลำดับและทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ต่อไป

2.4 วิธีการทดสอบสมบัติต่าง ๆ

2.4.1 ความหนาแน่น

ชั่งน้ำหนักของแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานและวัดขนาดความกว้าง ความยาวทั้ง 4 ตำแหน่งที่กำหนดบนแผ่นซีเมนต์บอร์ด แล้วหาค่าเฉลี่ยความหนาแน่น

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.04.005

2.4.2 ความชื้น

แผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่ผ่านการทดสอบความหนาแน่นมาแล้ว นำมาเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ คือ น้ำหนักของแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ชั่ง 2 ครั้ง ห่างกัน 6 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.1 แล้วปล่อยให้แผ่นซีเมนต์บอร์ดเย็นตัวลงและทำการชั่งน้ำหนักหาค่าเฉลี่ย

2.4.3 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ

นำแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานมาวัดความหนาของแผ่นซีเมนต์บอร์ด 44 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาก่อนทำการแช่ในน้ำสะอาด โดยนำแผ่นซีเมนต์บอร์ดแช่ในน้ำสะอาดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาซับด้วยผ้าสะอาดและปล่อยเอาไว้ให้แห้งครบ 2 ชั่วโมง นำวัดความหนาหลังแช่น้ำและหาค่าเฉลี่ย

2.4.4 ความต้านทานแรงดัด

วางแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานบนแท่นรองรับของเครื่องกด โดยให้แรงกดกระทำบนจุดกึ่งกลางของแผ่นซีเมนต์บอร์ด โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอและใช้เวลาตั้งแต่เริ่มกดจนกระทั่งแผ่นซีเมนต์บอร์ดแตกหักต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาทีแต่ไม่เกิน 120 วินาที การหาค่าความต้านทางแรงดัดแสดงดังสมการที่ 1

2.4.5 ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากที่ผิวหน้า

เตรียมแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ขนาด 5×5 เซนติเมตร เพื่อติดกับแผ่นเหล็กเพลท ขนาด 5×5 เซนติเมตร ที่เชื่อมติดกับเหล็กข้ออ้อย DB 12 ความยาว 30 เซนติเมตร โดยใช้กาวสังเคราะห์อีพล็อกซี่ที่มีแรงยึดมากกว่าแรงยึดในตัวแผ่นซีเมนต์บอร์ดและนำไปเข้าเครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine, UTM) ซึ่งจะให้แผ่นซีเมนต์บอร์ดแยกออกจากกันในชั้นไส้ อัตราการเพิ่มแรงดึงต้องสม่ำเสมอและใช้เวลาไม่น้อยกว่า 30 วินาทีแต่ไม่เกิน 120 วินาที ดังแสดงในรูปที่ 3

รูปที่ 3 ทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉาก

$$f = \frac{3Wl}{2bf^2} \quad (1)$$

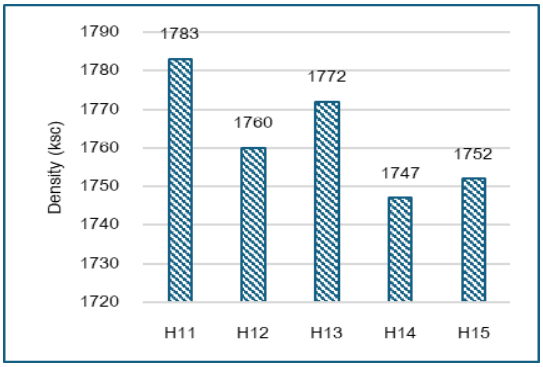
เมื่อ f คือ ความต้านแรงดัด เป็นเมกะพาสคัล
W คือ แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ เป็นนิวตัน
l คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร
b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร
d คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.04.005

3. ผลการทดสอบ

3.1 ความหนาแน่น

ค่าการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน แสดงดังรูปที่ 4 ที่ตัวอย่าง H11 มีค่าความหนาแน่น 1,783 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าที่มาตรฐาน มอก.878-2566 ได้กำหนดเอาไว้ พบว่าค่าความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่มีการผสมแกนกัญชง จะทำให้แผ่นซีเมนต์บอร์ดมีความหนาแน่นที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับมาตรฐาน มอก.878-2566 ที่กำหนดให้มีค่าระหว่าง 1,100 ถึง 1,300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีความหนาแน่นสูงกว่าถึงเกือบ 1.3 เท่า จากที่มาตรฐานกำหนด ทั้งนี้เป็นเพราะความถ่วงจำเพาะของส่วนผสมที่ค่อนข้างสูง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ เท่ากับ 2.94, ทราย เท่ากับ 2.67และแกนกัญชง เท่ากับ 0.6 แตกต่างจากแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ทั่วไปที่มีส่วนผสมหลักเป็นชิ้นไม้ มีความถ่วงจำเพาะเพียง 0.6 ถึง 1.1 [13] จากงานวิจัยของ Ardanuy และคณะ [14] ได้ยืนยันถึงความหนาแน่นที่สูงขึ้นของวัสดุที่ผสมเส้นใยพืช โดยเฉพาะการใช้เส้นใยพืช เช่น เส้นใยจากเซลลูโลส หรือฟางข้าว [8] ในวัสดุซีเมนต์ที่ทำให้วัสดุมีความแข็งแรงและความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ส่วนผลแนวโน้มของค่าความหนาแน่นไม่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันอันเป็นผลเนื่องมาจาก การกระจายตัวของแกนกัญชงในส่วนผสมอาจไม่สม่ำเสมอ ทำให้บางพื้นที่มีความหนาแน่นสูงกว่าหรือบางกว่าบริเวณอื่น ส่งผลให้ความหนาแน่นของแต่ละตัวอย่างตัวอย่างมีค่าแตกต่างกัน เพียงเล็กน้อยซึ่งอยู่ในช่วง 1,747 - 1,783 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

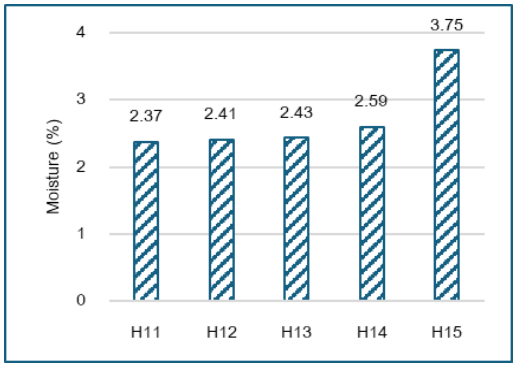


รูปที่ 4 ความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ที่อายุการบ่ม 28 วัน

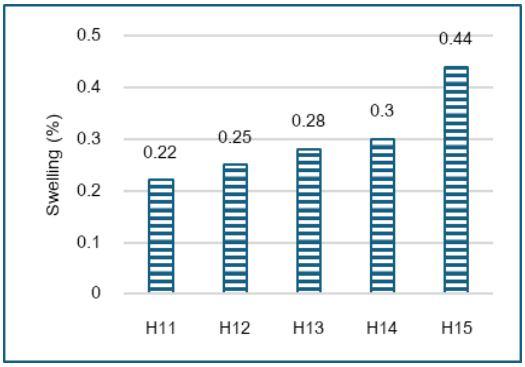
3.2 ความชื้น

รูปที่ 5 แสดงค่าความชื้นของแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน พบว่ามีค่าความชื้นอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 2.37 ถึง 3.75 ซึ่งเป็นค่าความชื้นที่มีค่าไม่มากนักและเป็นไปตามที่มาตรฐาน มอก.878-2566 ได้กำหนดเอาไว้ ระหว่างร้อยละ 9 ถึง 15 จากการทดสอบดังกล่าวสังเกตได้ว่าค่าความชื้นของแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย จากปริมาณแกนกัญชงที่ผสมภายในแผ่นซีเมนต์บอร์ด เป็นผลมาจากลักษณะของแกนกัญชงที่มีรูพรุนอยู่บ้าง [15] ทำให้มีการสะสมความชื้นอยู่ภายในแผ่นซีเมนต์บอร์ด แต่ค่าความชื้นดังกล่าวยังมีค่าไม่สูงมากและใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 2.37 ที่อัตราส่วนแกนกัญชง 0.11 หากการเก็บตัวอย่างหรือการบ่มแผ่นซีเมนต์บอร์ดอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน จะส่งผลต่อค่าความชื้นของตัวอย่างได้ส่งผลให้ความชื้นที่ได้มีค่าที่แตกต่างกัน [6]

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.04.005



รูปที่ 5 ความชื้นของแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ที่อายุการ บ่ม 28 วัน



รูปที่ 6 การพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ที่อายุการบ่ม 28 วัน

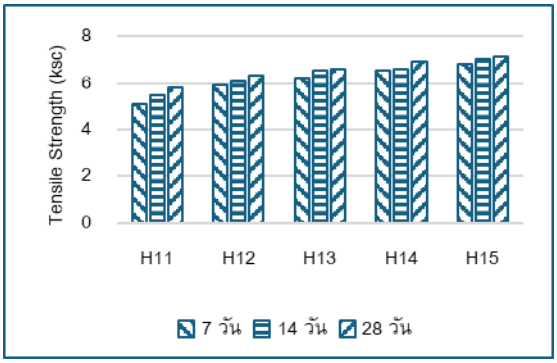
3.3 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ

รูปที่ 6 แสดงผลลัพธ์ค่าการพองตัวทั้งหมดยังมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.22 ถึง 0.44 ตามมาตรฐาน มอก. 878-2566 โดยได้กำหนดเอาไว้ว่าจะต้องมีค่าการพองตัว ไม่เกินร้อยละ 2 จากผลการทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณแกนกัญชงที่ผสมลงไป โดยมีค่าการพองตัวร้อยละ 0.22 ที่อัตราส่วนแกนกัญชง 0.11 ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านตามมาตรฐาน มอก.878-2566 ทั้งนี้สมบัติด้านการพองตัวเมื่อแช่น้ำ ยังมีความสำคัญต่อการนำมาใช้เป็นผนังภายนอกอาคารที่ต้องสัมผัสกับฝนและความชื้นอย่างมาก [16] โดยจากการศึกษางานวิจัยของ Karimah และคณะ [17] แสดงให้เห็นว่า การใช้วัสดุชีวภาพ เช่น แกนกัญชง หรือ การใช้กากกะลามะพร้าว [3] มีผลในการลดการดูดซึมความชื้นและการพองตัวของซีเมนต์บอร์ด ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในงานวิจัยนี้

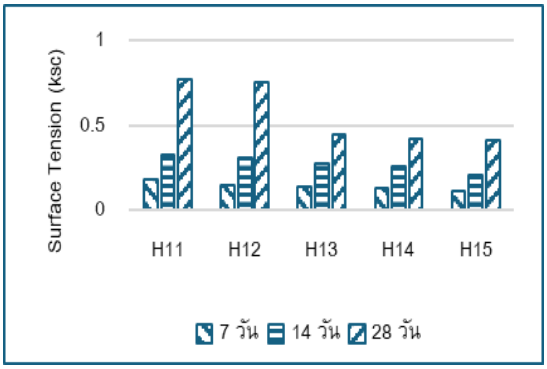
3.4 ความต้านทานแรงดัด

จากผลการทดสอบแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน แสดงดังรูปที่ 7 มีค่าการต้านทานแรงดัดเท่ากับ 5.18, 5.95, 6.24, 6.51 และ 6.81 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับตัวอย่าง H11 H12 H13 H14 และ H15 ตามลำดับ ที่อายุ 7 14 และ 28 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแกนกัญชงที่ผสมไปมีส่วนทำให้ความต้านทานแรงดัดเพิ่มมากขึ้น ที่อายุ 7 14 และ 28 วัน ซึ่งเป็นผลมาจากแกนกัญชงที่มีหน้าที่เป็นมวลรวมในแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่มีความยืดหยุ่นมากกว่ามวลรวมธรรมชาติทำให้รับแรงดัดได้มากกว่ามวลรวมปกติ [18] ปริมาณแกนกัญชงที่เพิ่มขึ้นในระดับที่เหมาะสมช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของวัสดุ ทำให้แรงดัดเพิ่มขึ้นในช่วงแรก อย่างไรก็ตาม หากเพิ่มแกนกัญชงมากเกินไปอาจทำให้โครงสร้างวัสดุอ่อนแอลงและแรงดัดลดลงตามปริมาณกัญชงที่ใช้

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.04.005



รูปที่ 7 ความต้านทานแรงดัดของแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน



รูปที่ 8 ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากที่ผิวหน้าของแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

3.5 ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน แสดงดังรูปที่ 8 พบว่าปริมาณแกนกัญชงที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าลดลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากแกนกัญชงมีรูพรุน เนื่องจากแกนกัญชงมีรูพรุน ซึ่งลดการยึดเกาะระหว่างปูนซีเมนต์และแกนกัญชง [19] อีกทั้งเมื่อรูพรุนเพิ่มขึ้น พื้นที่สัมผัสระหว่างซีเมนต์และแกนกัญชงลดลง ทำให้แรงดึงตั้งฉากต่ำลง ทำให้มีค่าต่ำกว่าตามมาตรฐาน มอก.878-2566 ที่กำหนดไว้ว่าต้องสูงกว่า 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สอดคล้องกับงานวิจัยงานวิจัยของ Silva และคณะ [20] ได้สนับสนุนผลการทดลองนี้ โดยระบุว่าการใช้เส้นใยธรรมชาติในวัสดุซีเมนต์มีผลทำให้ความต้านทานแรงดึงลดลง เนื่องจากการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและซีเมนต์ไม่ได้แข็งแรงเท่ากับวัสดุสังเคราะห์

3.6 ความคุ้มค่าและความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 2 แสดงต้นทุนรวมต่อหน่วยของแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผลิตจากแกนกัญชงเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแกนกัญชงที่ใช้ในแต่ละอัตราส่วน โดยตัวอย่าง H11 มีต้นทุนต่ำสุดที่ 135 บาทต่อหน่วย ขณะที่ตัวอย่าง H15 มีต้นทุนสูงสุดที่ 143 บาทต่อหน่วย ต้นทุนการผลิตของแผ่นซีเมนต์บอร์ดปกติจะอยู่ที่ประมาณ 130 บาทต่อหน่วย ซึ่งต่ำกว่าซีเมนต์บอร์ดจากแกนกัญชงเล็กน้อย ต้นทุนที่สูงขึ้นของแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากแกนกัญชงเกิดจากการใช้วัตถุดิบที่มีราคาสูงกว่า เช่น แกนกัญชง ซึ่งมีต้นทุนสูงกว่าเส้นใยไม้หรือชิ้นไม้ที่ใช้ในซีเมนต์บอร์ดปกติ อย่างไรก็ตาม ต้นทุนของแกนกัญชงยังต่ำกว่าแร่ใยหิน (Asbestos) ที่ถูกเลิกใช้เนื่องจากผลกระทบด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อม [3]

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.04.005

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบต้นทุนและสมบัติระหว่างแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากแกนกัญชงในอัตราส่วนต่าง ๆ และซีเมนต์บอร์ดปกติ

รายการเปรียบเทียบ	**H11**	**H12**	**H13**	**H14**	**H15**	**ซีเมนต์บอร์ดปกติ**
ต้นทุนปูนซีเมนต์ (บาท/หน่วย)	100	100	100	100	100	100
ต้นทุนแกนกัญชง (บาท/หน่วย)	20	22	24	26	28	0
ต้นทุนทราย (บาท/หน่วย)	10	10	10	10	10	10
ต้นทุนรวมวัตถุดิบ (บาท/หน่วย)	135	137	139	141	143	110
ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	1,783	1,760	1,772	1,747	1,752	1,200
ความชื้น (%)	2.37	2.41	2.43	2.59	3.75	4
การพองตัวเมื่อแช่น้ำ (%)	0.22	0.25	0.28	0.30	0.44	2
ความต้านทานแรงดัด (กก./ตร.ซม.) ที่อายุ 7 วัน	5.18	5.95	6.24	6.51	6.81	9
ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (กก./ตร.ซม.) ที่อายุ 7 วัน	0.18	0.15	0.14	0.13	0.11	0.5
ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	สูง	สูง	สูง	สูง	สูง	ปานกลาง

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.04.005

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากแกนกัญชงกับแผ่นซีเมนต์บอร์ดปกติในตารางที่ 2 พบว่า ตัวอย่าง H11 มีความคุ้มค่ามากที่สุดจากอัตราส่วนผสมตัวอย่าง H12 H13 H14 และ H15 เมื่อพิจารณาจากต้นทุนการผลิตและคุณสมบัติที่ได้การผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน มอก.878-2566 ในด้าน ความชื้นและการพองตัวเมื่อแช่น้ำ อีกทั้งแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากแกนกัญชงในอัตราส่วนนี้ยังคงรักษาความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การใช้แกนกัญชงช่วยลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และส่งเสริมการใช้วัสดุชีวภาพซึ่งเป็นทรัพยากรที่ยั่งยืนและปลอดภัยต่อสุขภาพ การศึกษาจาก Pavithra และคณะ [21] พบว่าการใช้เส้นใยธรรมชาติ เช่น ใยปาล์ม ใยมะพร้าว [3] หรือ ฟางข้าว [8] ในการพัฒนาซีเมนต์บอร์ดสามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างในปัจจุบัน

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสมบัติของแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากแกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างสามารถสรุปได้ ดังนี้

1. จากผลการทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างนั้น พบว่าตัวอย่าง H11 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : แกนกัญชง = 1 : 2 : 0.11) เป็นอัตราส่วนผสมของแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากแกนกัญชงที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมอื่นๆ ซึ่งปรากฏผลของความหนาแน่นสูงถึง 1,783 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความชื้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.37 รวมไปถึงมีค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำมีค่าที่ต่ำถึง ร้อยละ 0.22 ส่วนค่ากำลังรับแรงดัด และแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเท่ากับ 5.18 และ 0.18 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อายุ 7 วัน ตามลำดับ

2. ในส่วนสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นซีเมนต์บอร์ดจากการใช้แกนกัญชงร่วมกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพื่อเป็นวัสดุก่อสร้าง ความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่ผลิตจากแกนกัญชงสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ การพองตัวเมื่อแช่น้ำ และ ค่าความชื้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณแกนกัญชงที่เพิ่มขึ้นโดยมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีคุณสมบัติกันความชื้นที่ดี แรงดัด เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแกนกัญชงในระดับที่เหมาะสม ส่วนแรงดึงตั้งฉาก ลดลงตามการเพิ่มของปริมาณแกนกัญชง เนื่องจากลักษณะรูพรุนของแกนกัญชงที่ลดการยึดเกาะระหว่างวัสดุ

3. แผ่นซีเมนต์บอร์ดจากแกนกัญชงในตัวอย่าง H11 เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุดจากตัวอย่างที่ทดสอบทั้งหมดเมื่อพิจารณาจากความคุ้มค่าและคุณสมบัติทางกายภาพที่ได้ พบว่าปริมาณแกนกัญชงที่เหมาะสมสามารถนำไปพัฒนาสมบัติบางประการ แม้ต้นทุนการผลิตจะสูงกว่าซีเมนต์บอร์ดปกติเล็กน้อย แต่คุณสมบัติทางกายภาพและความสามารถในการทนความชื้นที่ดีกว่า ทำให้เป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมก่อสร้างที่ต้องการวัสดุที่มีประสิทธิภาพทนต่อความชื้นและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนอุดหนุนการวิจัยภายใต้แผนปฏิบัติการด้านวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (ววน.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 โครงการวิจัยพื้นฐาน กรอบการวิจัย “ระบบนิเวศสีเขียว” สัญญาทุน

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.04.005

เลขที่ น สกสว. 10/2566 และขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัยและส่งเสริมสนับสนุนในการทำวิจัยตลอดโครงการ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] TIS 878-2566, Cement Bonded Particle Boards: High Density, 2023. (in Thai).

[2] S. Phantavee, T. Sinsiri, R. Somna, S. Akkaraikraisri and S. Khuptharat, Preliminary properties of concrete mixed with hemp core replacing coarse aggregate, The 12th Annual Concrete Technical Conference (ACC-Thailand 2017), Proceeding, 2017.

[3] P. Veeranukul and K. Suviro, Development of cement board sheets from coconut shell ash for energy and environmental conservation, Thesis, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Thailand, 2015.

[4] E. Small and D. Marcus, Hemp: A new crop with new uses for north America, 2nd Ed., ASHS Press Inc., VA, USA, 2002.

[5] T. Jami, S.R. Karade and L.P. Singh, A review of the properties of hemp concrete for green building applications, Journal of Cleaner Production, 2019, 239, 117852.

[6] S. Phantavee, Preliminary properties of concrete mixed with hemp core replacing coarse aggregate, The 12th Annual Concrete Technical Conference (ACC-Thailand 2017), Proceeding, 2017.

[7] W. Thamcharee, Biocomposite materials, Bio and Nano, 40, 34-37. (in Thai).

[8] S. Inthata and C. Khankham, Use of rice straw for the production of thermal insulating cement boards, Thesis, Mahasarakham Rajabhat University, Thailand, 2019.

[9] https://urbannext.net/hemp-concrete/ (Accessed on 9 April 2023)

[10] TIS 2594-2567, Hydraulic Cement, 2024. (in Thai).

[11] W. Kroehong and S. Haruehansapong, Mechanical properties, thermal conductivity, and microstructure of hemp concrete, Science and Engineering Connect, 2020, 43, 91-102. (in Thai).

[12] ASTM C33, Standard Specification for Concrete Aggregates, ASTM International, PA, 2018.

[13] A.A. Pablo, Wood cement boards from wood wastes and fast-growing plantation species for low-cost housing, The Philippine Lumberman, 1989, 35, 8-53.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.04.005

[14] M. Ardanuy, J. Claramunt, and R.D. Toledo Filho, Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research, Construction and Building Materials, 2015, 79, 115-128.

[15] T. Sinsiri, S. Phantavee and P. Ratchakham, Production process of hemp concrete from hemp core mixed with fly ash, National Science and Technology Development Agency (NSTDA), 2017. (in Thai).

[16] S. Inthata, S. Attachariyakul and R. Chirawich, Study on the selection of building materials for energy-efficient homes, The 2nd Thailand Energy Network Conference (ENETT-Thailand 2017), Proceeding, 2006, 90-99.

[17] A. Karimah, M. Ridho, S.S. Munawar, D.S. Ismadi, R. Damayanti, B. Subiyanto, W. Fatriasari and A. Fudholi, Biomass waste materials through extrusion-based additive manufacturing: A systematic literature review, Journal of Materials Research and Technology, 2021, 13, 2442-2458.

[18] T. Pakkunwarakit, P. Phuthipairoj, W. Unjittichai and P. Thithawipat, Thermal Resistance Efficiency of Building Insulation Material from Agricultural Waste, Journal of Architectural/Planning Research and Studies, 2006, 4, 3-13. (in Thai).

[19] S. Phantavee, Development of concrete using hemp core as coarse aggregate by improving the quality with aluminum sulfate and calcium hydroxide and the impact of fly ash on hemp concrete, Thesis, Suranaree University of Technology, Thailand, 2017.

[20] G. Silva, S. Kim, R. Aguilar and J. Nakamatsu, Natural fibers as reinforcement additives for geopolymers – A review of potential eco-friendly applications to the construction industry, Sustainable Materials and Technologies, 2020, 23, e00132.

[21] L. Chen, Z. Chen, Z. Xie, L. Wei, J. Hua, L. Huang and P.S. Yap, Recent developments on natural fiber concrete: A review of properties, sustainability, applications, barriers, and opportunities, Developments in the Built Environment, 2023, 16, 100255.