

DOI :10.14456/bei.2024.24

การพัฒนาแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมจากผักตบชวา

DEVELOPMENT OF PRECAST CONCRETE PANEL CONTAINING WATER HYACINTH

กุลวดี ปิติวิตยากุล^๑ โสภา วิศิษฐ์ศักดิ์^๑ และ ณัฏรี ศรีदारานนท์^{๑*}

Kulvadee Pitivittayakula Sopa Visitsaka and Nattaree Sridaranon^{๑*}

^๑คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ ประเทศไทย

^๑Faculty of Architecture, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

*Corresponding Author Email: nattaree.sr@ku.th

Received: November 23, 2023

Revised: June 20, 2024

Accepted: October 24, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำผักตบชวาที่เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันซึ่งมีคุณสมบัติเด่นทางด้านองค์ประกอบทางเคมี และมีเส้นใยเซลลูโลสจำนวนมาก มาพัฒนาต่อยอดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความร้อนของกรอบอาคารในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ที่จะช่วยลดปริมาณการใช้คอนกรีต และวัสดุสังเคราะห์ทดแทนการใช้วัสดุกันความร้อนที่ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น โฟมโพลียูรีเทน โพลีสไตรีน ฉนวนใยแก้ว แผ่นอิพซัมและ สีเคลือบสะท้อนความร้อน เป็นต้น โดยทำการศึกษาศักยภาพในการพัฒนาเป็นแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปชนิดไม่รับน้ำหนัก ประกอบด้วย การผลิตแผ่นวัสดุตัวอย่างที่มี 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดกว้าง 20 x ยาว 20 x หนา 7.5 เซนติเมตร ขนาดลูกบาศก์ 15 เซนติเมตร และขนาดลูกบาศก์ 5 เซนติเมตร ที่มีอัตราส่วนผสมของ ซีเมนต์ : ทราย : น้ำ เท่ากับ 1 : 1.5 : 0.5 และมีการใส่ผักตบชวาในอัตราส่วนต่าง ๆ กันรวม 5 สูตร (A1 – A5) ได้แก่ 0.08 , 0.1, 0.125 , 0.15 และ 0.175 ตามลำดับ เพื่อทดสอบการขึ้นรูป หาค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ การนำความร้อน (k) การต้านแรงอัด และแรงดัด ผลการทดสอบพบว่าทุกสูตร มีค่าการนำความร้อน ผ่านเกณฑ์ประกาศกระทรวงพลังงาน โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.3 - 0.47 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน และมีค่าการต้านแรงอัดขึ้นวัสดุตัวอย่างทดสอบเฉลี่ยที่อายุ 28 วัน ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐาน มอก. 58-2533 (≥ 2.5 เมกะพาสคัล) โดยสูตร A1 1 : 1.5 : 0.5 : 0.08 มีค่าใกล้เคียงค่ามาตรฐานมากที่สุด (1.89 เมกะพาสคัล) และมีค่าการดูดซึมน้ำที่ (ร้อยละ 15.86) ซึ่งใกล้เคียงค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2226-2548 ($\leq$ ร้อยละ 14) ผลการทดสอบในภาพรวมยืนยันว่าเส้นใยจากผักตบชวามีศักยภาพในการนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเพื่อการนำไปใช้ในอนาคต

Abstract

The objective of this research is to use water hyacinth, a current environmental problem, which has outstanding properties in terms of chemical composition and has a lot of cellulose fibers to develop further to increase efficiency in reducing heat of building envelopes in the construction industry that will help reduce the amount of concrete and other synthetic materials used. And instead of using heat-

insulating materials that are not environmentally friendly, such as polyurethane foam, polystyrene, fiberglass insulation, gypsum board and Heat-reflecting coatings, etc. The step of studying the potential of developing non-load-bearing prefabricated concrete slabs consists of producing sample sheets with dimensions of 3 sizes : width 20 x length 20 x thickness 7.5 centimeters, 5 cubic centimeter and 15 cubic centimeter and a mixture ratio by weight of cement : sand : water equals to 1 : 1.5 : 0.5 and water hyacinth was added in different ratios, a total of 5 formulas to test the formability of the sample sheets. Then the sample sheets were tested in the laboratory to find the values of density, water absorption, thermal conductivity (k), compression resistance, and bending strength. Test results found that all of the sample have the thermal conductivity values in the range of the standard criteria announced by the Ministry of Energy, which is 0.3 - 0.47 Watt per meter kelvin. and have the average compression resistance values of the test samples at 28 days of age, slightly lower than the Thai Industrial Standard 58-2533 (≥ 2.5 megapascal). The formula A1 1 : 1.5 : 0.5 : 0.08 has an average compression resistance value (1.89 megapascal) closest to the TIS58-2533 and has a water absorption value of 15.86 percent, lower than the TIS 2226-2005 (≤ 14 percent) Overall test results confirm that water hyacinth fibers have the potential to be further developed as prefabricated concrete panel for future use.

คำสำคัญ: ผักตบชวา แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป แผ่นคอนกรีตชนิดไม่รับน้ำหนัก การถ่ายเทความร้อน

Keywords: Water hyacinth, Concrete wall panel, Non-load bearing precast concrete wall, Heat transfer

บทนำ

ผักตบชวา (Water hyacinth) เป็นวัชพืชในแม่น้ำลำคลองที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก และสามารถแพร่กระจายเพิ่มปริมาณได้อย่างรวดเร็ว จาก 1 ต้น กลายเป็น 1 ล้านต้นได้ภายในระยะเวลาเพียง 1 ปีเท่านั้น นอกจากนี้ยังเป็นวัชพืชที่มีความแข็งแรงทนทาน ทนต่อสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย ไม่สามารถควบคุมการเพิ่มจำนวนได้ และยังยากต่อการกำจัดทิ้ง ส่งผลให้เกิดผลกระทบที่สร้างความเสียหายให้กับระบบเศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อมและด้านอื่น ๆ อีกหลายด้าน เช่น กีดขวางการขนส่งและการจราจรทางน้ำ สร้างความยากลำบากแก่การจับสัตว์น้ำทางการประมง รวมถึงการจับสัตว์น้ำเพื่อดำรงชีพ อัตราการไหลของแม่น้ำลำคลองลดลงมากถึง ร้อยละ 40 (เทียบกับสภาวะการไหลปกติของแม่น้ำ) ทำให้เกิดการเน่าเสียของน้ำซึ่งส่งผลกระทบทั้งกับสัตว์น้ำ และเกิดมลพิษทางกลิ่นรบกวนมีชีวิตที่อาศัยอยู่โดยรอบ นอกจากนี้ผักตบชวายังส่งผลให้แม่น้ำลำคลองตื้นเขินเร็วกว่าปกติซึ่งเกิดจากการทับถมของซากผักตบชวาได้ผิวน้ำ และเป็นอุปสรรคต่อการระบายน้ำ นำไปสู่ปัญหาการระบายน้ำไม่ทันส่งผลให้น้ำท่วมขังในปัจจุบัน (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2560)

ในปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำคุณสมบัติเด่นของผักตบชวามาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เพื่อลดปริมาณของผักตบชวาในแม่น้ำลำคลอง เช่น การนำผักตบชวามาทำเครื่องจักสาน การนำเส้นใยผักตบชวามาใช้ในงานหัตถกรรม ใช้เพื่อการบำบัดน้ำเสีย การนำมาใช้ทำเป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น ฝ้าเพดานซับเสียง ฉนวนกันความร้อน และพื้นทางเดินจากผักตบชวา เนื่องจากส่วนประกอบของผักตบชวามีองค์ประกอบทางเคมีคือ ลิกนิน เถ้า และเซลลูโลส โดยเฉพาะเซลลูโลสซึ่งมีปริมาณมากถึงร้อยละ 43-45 ของสารประกอบทั้งหมด ปริมาณเส้นใยเซลลูโลสที่มีอยู่เป็น

จำนวนมากส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพมีความเป็นผลึกมาก มีคุณสมบัติส่งเสริมความแข็งแรง และเนื่องจากแกนกลางของลำต้นผักตบชวามีความหนาแน่นต่ำกว่าบริเวณรอบนอก ส่งผลให้เนื้อของวัสดุมีช่องว่างทางอากาศกระจายตัวอยู่อย่างทั่วถึงทำให้มีค่าการนำความร้อนต่ำ มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน (เพ็ญชาย เวียงใต้, 2562) จึงสามารถนำคุณสมบัติดังกล่าวมาพัฒนาต่อยอดเป็นวัสดุประกอบอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความร้อนของกรอบอาคารได้ ทดแทนการใช้วัสดุกันความร้อนที่ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ยกตัวอย่างเช่น วัสดุประเภทโฟม โพลียูรีเทน พอลิสไตรีน ฉนวนใยแก้ว แผ่นยิปซัม สีเคลือบสะท้อนความร้อน อลูมิเนียมพอยล์ หรือ ผนังโฟม เป็นต้น (Thai Matal, 2565) โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้ทำการศึกษา พัฒนา นำผักตบชวามาใช้ในงานอุตสาหกรรม การก่อสร้างอย่างแพร่หลาย เช่น การพัฒนาวัสดุผนังวอลเปเปอร์จากเส้นใยผักตบชวา (อ.กฤติน วิจิตรไตรธรรม, 2563) การใช้ผักตบชวาผลิตอิฐบล็อกประสานเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน (เพ็ญชาย เวียงใต้, 2562) การผลิตและศึกษาคุณสมบัติแผ่นฉนวนผนังเบาจากเส้นใยชานอ้อยเพื่อใช้ในงานสถาปัตยกรรม (นิตยา พัดเกาะ, 2559) สมรรถนะทางความร้อนของอิฐบล็อกผสมผักตบชวาและซีเมนต์ (บุญถนอมวงศ์, 2557) เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยในส่วนหนึ่งของผนังสำเร็จรูปจากผักตบชวายังพบอยู่น้อยมาก ในขณะที่ปัจจุบันสังคมเริ่มให้ความสนใจด้านการก่อสร้างในรูปแบบที่ช่วยลดเวลาในการก่อสร้าง ระบบการก่อสร้างแบบสำเร็จรูปถูกนำมาใช้เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ในอาคารหลายประเภท เนื่องจากใช้เวลาในการก่อสร้างที่หน้างานน้อยลง ลดแรงงาน และการลดปริมาณขยะและมลพิษระหว่างการดำเนินงานก่อสร้างหน้างานลงได้ ซึ่งมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคต (Bimspaces, 2564)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำผักตบชวาซึ่งมีเส้นใยที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนมาเพิ่มมูลค่าโดยพัฒนาเป็นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปชนิดไม่รับน้ำหนักโดยมีผักตบชวาเป็นส่วนประกอบ สะดวกต่อการใช้งานและมีประสิทธิภาพด้านการลดการนำความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร ทดแทนการใช้วัสดุโฟมที่เป็นส่วนประกอบของผนัง ซึ่งงานวิจัยนี้นอกจากจะเกิดประโยชน์แก่สภาพแวดล้อมแล้ว ยังสามารถพัฒนาเป็นวัสดุทางเลือกสีเขียวสู่อุตสาหกรรมก่อสร้างที่ยั่งยืนได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพัฒนาแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมของผักตบชวาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร
2. เสนอแนะแนวทางการประยุกต์ใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมของผักตบชวา

วิธีการวิจัย

การวิจัยในหัวข้อนี้เป็นรูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) ประกอบด้วยขั้นตอนหลักคือ 1) วัสดุและอุปกรณ์ 2) การออกแบบการทดลอง และการผลิต 3) การจัดเตรียมวัสดุ 4) การผลิตแผ่นวัสดุตัวอย่างเพื่อการทดสอบ 5) การทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ การนำความร้อน (k) การรับแรงอัดและแรงดัด

- 1) วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตขึ้นรูปแผ่นตัวอย่างเพื่อการทดสอบได้แก่ ลำต้นผักตบชวา (ภาพที่ 1ก) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (ภาพที่ ข) หวายหยาบที่ใช้ต้องผ่านกระบวนการคัดแยกเกรดหลายขั้นตอนที่ได้คุณภาพ สะอาดไร้สิ่งเจือปนและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 - 4.75 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการผสมคอนกรีต (ภาพที่ 1ค)

และบล็อกแม่พิมพ์ไม้อัดหน้าฟิล์มดำเงา ขนาด 20 x 20 x 7.5 เซนติเมตร บล็อกแม่พิมพ์ลูกบาศก์ 15 เซนติเมตร และ บล็อกแม่พิมพ์ลูกบาศก์ 5 เซนติเมตร (4 ช่อง) (ภาพที่ 2) เครื่องปั่นผสมปูนแบบมือถือ (ภาพที่ 3ก) ถังผสมปูน (ภาพที่ 3ข) เกรียงปาดปูน (ภาพที่ 3ค) ถ้วยตวงสำหรับตวงน้ำสะอาด (ภาพที่ 3ง) เครื่องชั่งดิจิตอล MPUT (ภาพที่ 4ก) และ เครื่องอบลมร้อน (Hot Air Oven) (ภาพที่ 4ข)



(ก)

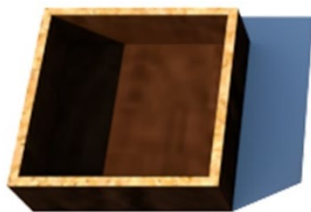


(ข)

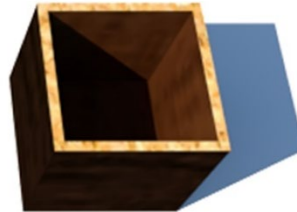


(ค)

ภาพที่ 1 วัสดุที่ใช้ในการผลิตขึ้นรูปแผ่นตัวอย่างเพื่อการทดสอบ (ก) ลำต้นผักตบชวา (ข) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 และ (ค) ทราย



ขนาด 20x20x7.5 เซนติเมตร



ขนาด ลูกบาศก์ 15 เซนติเมตร



ขนาด ลูกบาศก์ 5 เซนติเมตร

ภาพที่ 2 บล็อกแม่พิมพ์แต่ละขนาด



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมขึ้นรูปแผ่นตัวอย่างเพื่อการทดสอบ (ก) เครื่องปั่นผสมปูนแบบมือถือ (ข) ถังผสมปูน 2 ขนาด (ค) เกรียงปาดปูน และ (ง) ถ้วยตวง



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 อุปกรณ์สำหรับชั่งและอบวัสดุ (ก) เครื่องชั่งดิจิตอล MPUT และ (ข) เครื่องอบลมร้อน (Hot Air Oven)

2) การออกแบบการทดลองและการผลิต ประกอบด้วย 5 สูตร (A1 - A5) อัตราส่วนผสมที่กำหนด ซีเมนต์ : ทราย : น้ำ : ผักตบชวา คือ 1 : 1.5 : 0.5 : อัตราส่วนผักตบชวาที่ 0.08 , 0.1 , 0.125 , 0.15 และ 0.175 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ผักตบชวาที่ใช้ในการผสม เป็นผักตบชวาแบบหั่นท่อน 1 เซนติเมตร เพื่อสะดวกต่อการผสมและกระจาย ทั่วชิ้นงาน โดยทำการทดลองขึ้นรูปแผ่นผนังไม่รับน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางส่วนผสมและการทดสอบขึ้นรูปชิ้นงานทดลอง

อัตราส่วนผสม (โดยน้ำหนัก)					
สูตร	ซีเมนต์ (กก.)	ทราย (กก.)	น้ำ (กก.)	ผักตบชวา (กก.)	ทดสอบขึ้นรูป
A1	1	1.5	0.5	0.08	สามารถขึ้นรูปได้
A2	1	1.5	0.5	0.1	สามารถขึ้นรูปได้
A3	1	1.5	0.5	0.125	สามารถขึ้นรูปได้
A4	1	1.5	0.5	0.15	สามารถขึ้นรูปได้
A5	1	1.5	0.5	0.175	สามารถขึ้นรูปได้

3) การผลิตแผ่นตัวอย่างเพื่อการทดสอบ เตรียมผักตบชวาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ (ภาพที่ 1ก) ทำการล้างน้ำ ให้สะอาด หั่นท่อนขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร หั่นก่อนนำไปตากแดดเนื่องจากหั่นแบบสดง่ายกว่าแบบแห้ง ตากแดด จนแห้งและนำไปเข้าเครื่องอบลมร้อน 75 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ภาพที่ 5) การขึ้นรูปขึ้นตัวอย่างวัสดุ ทดสอบ เริ่มจากเทซีเมนต์ ทราย น้ำสะอาด แล้วใช้เครื่องปั่นปูนผสมให้เข้าด้วยกันจากนั้นนำผักตบชวาขนาด 1 เซนติเมตร ใส่ลงไปจนถึงผสมปูนและปั่นจนส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน จึงเทใส่แม่พิมพ์ตามขนาดที่กำหนดทิ้งไว้จน เริ่มเซตตัวประมาณ 2-3 วัน จึงถอดแม่พิมพ์ออกแล้วทำการบ่มจนครบ 7 วัน ดังภาพที่ 10 แล้วนำมาทำการทดสอบ กำลังอัดที่อายุ 14 วันและ 28 วัน ดังภาพที่ 6

การพัฒนาแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมจากผักตบชวา
กุลวดี ปิติวิทยากุล โสภา วิศิษฐ์ศักดิ์ และ ญักรีย์ ศรีदारานนท์



(ก)



(ข)

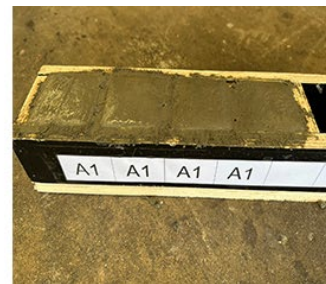
ภาพที่ 5 ลำต้นผักตบชวาท่อนขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร ทั้งแบบสด และแบบแห้ง (ก) ลำต้นผักตบชวาแบบสดหั่นท่อน
ขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร และ (ข) ลำต้นผักตบชวาท่อนตากแดดและอบลมร้อนด้วยเครื่อง



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

ภาพที่ 6 กระบวนการขึ้นรูปแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมจากผักตบชวา : (ก) เครื่องชั่งส่วนผสม (ข) เทซีเมนต์และทรายในถังผสม
(ค) เทน้ำและผักตบชวาในถังผสม (ง) ปั่นส่วนผสมให้เข้าด้วยกัน (จ) แม่พิมพ์ และ (ฉ) เทส่วนผสมลงใน

4) การทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพ โดยกำหนดขนาดแผ่นตัวอย่าง 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด กว้าง 20 ยาว 20 หน้า 7.5 เซนติเมตร เพื่อทดสอบค่าการนำความร้อน (k) ทดสอบค่าแรงดัด ขนาดลูกบาศก์ 15 เซนติเมตร เพื่อทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ และขนาดลูกบาศก์ 5 เซนติเมตร เพื่อทดสอบค่าความต้านแรงอัด โดยแบ่งการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพออกเป็น 5 การทดสอบ

4.1) การหาค่าความหนาแน่น ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบขนาดกว้าง 20 ยาว 20 หน้า 7.5 เซนติเมตร รวม 5 สูตร (A1 - A5) สูตรละ 4 แผ่น รวม 20 แผ่น

สูตรคำนวณหาค่าความหนาแน่น

$$\text{ความหนาแน่น} = (m/v) \times 10^{-3} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{เมื่อ } m = \text{น้ำหนัก (g)}$$

$$V = \text{ปริมาตร (m}^3\text{)}$$

4.2) การดูดซึมน้ำ ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ขนาดลูกบาศก์ 15 เซนติเมตร รวม 5 สูตร (A1 - A5) สูตรละ 3 แผ่น รวม 15 แผ่น วิธีการทดสอบ คือ การอบคอนกรีตให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ (110 ± 5) องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) (ภาพที่ 7ก) จนกระทั่งน้ำหนักที่สูญหายภายใน 24 ชั่วโมงน้อยกว่าร้อยละ 0.1 นำคอนกรีตจุ่มในน้ำให้ท่วมชิ้นงาน ทดสอบคอนกรีตเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยอุณหภูมิของน้ำอยู่ที่อุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 7ข) ยกชิ้นตัวอย่างทดสอบขึ้นจากน้ำ แล้วเช็ดผิวให้แห้งด้วยผ้าซับ แล้วชั่งน้ำหนัก (ภาพที่ 7)

โดยวิธีการรายงานค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นตัวอย่างทดสอบแต่ละค่าเป็นการคำนวณร้อยละจากสมการ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2226-2548) ของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป

$$\frac{\text{การดูดซึมน้ำ}}{\text{ร้อยละ โดยน้ำหนัก}} = \frac{\text{การมวลแห้งคอนกรีตต้มตัวด้วยน้ำ} - \text{มวลแห้งคอนกรีตหลังการอบแห้ง}}{\text{มวลแห้งคอนกรีตหลังการอบแห้ง}} \times 100$$



(ก)



(ข)

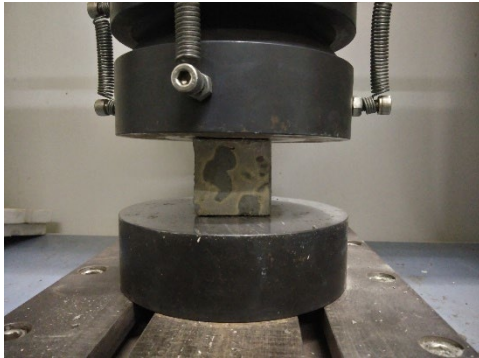
ภาพที่ 7 วิธีการทดสอบด้านการดูดซึมน้ำ : (ก) อบคอนกรีตให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ (110 ± 5) องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) และ (ข) การแช่ชิ้นงานทดสอบคอนกรีตผสมผักตบชวาในน้ำ 24 ชั่วโมง

4.3) การทดสอบค่าการนำความร้อน (k) ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ขนาด กว้าง 20 ยาว 20 หนา 7.5 เซนติเมตร รวม 5 สูตร (A1 - A5) สูตรละ 4 แผ่น รวม 20 แผ่น ทดสอบที่ช่วงอายุ 28 วัน วิธีการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบการนำความร้อน Thermal Conductivity (W/m.K) รุ่น Refer Standard ASTM C518 ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การทดสอบค่าการนำความร้อนโดยเครื่อง ASTM C518

4.4) การทดสอบความต้านแรงอัด ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ขนาดลูกบาศก์ 5 เซนติเมตร รวม 5 สูตร (A1 - A5) สูตรละ 4 ชิ้น รวม 20 ชิ้น ทดสอบที่ช่วงอายุ 14 และ 28 วัน วิธีการทดสอบโดยใช้เครื่อง UTM Universal Testing Machine Max Load : 20 ตัน ดังภาพที่ 9



(ก)



(ข)

ภาพที่ 9 การทดสอบความต้านแรงอัด โดยเครื่อง UTM Universal Testing Machine Max Load : 20 ตัน : (ก) ทดสอบความต้านแรงอัด และ ข) เครื่อง UTM Universal Testing Machine Max Load : 20 ตัน

4.5) การทดสอบด้านแรงดัด ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ขนาด กว้าง 20 ยาว 20 หนา 7.5 เซนติเมตร รวม 5 สูตร (A1 - A5) สูตรละ 3 แผ่น รวม 15 แผ่น ทดสอบที่ช่วงอายุ 28 วัน วิธีการทดสอบโดยใช้เครื่อง UTM Universal Testing Machine Max Load : 20 ตัน ดังภาพที่ 10



(ก)



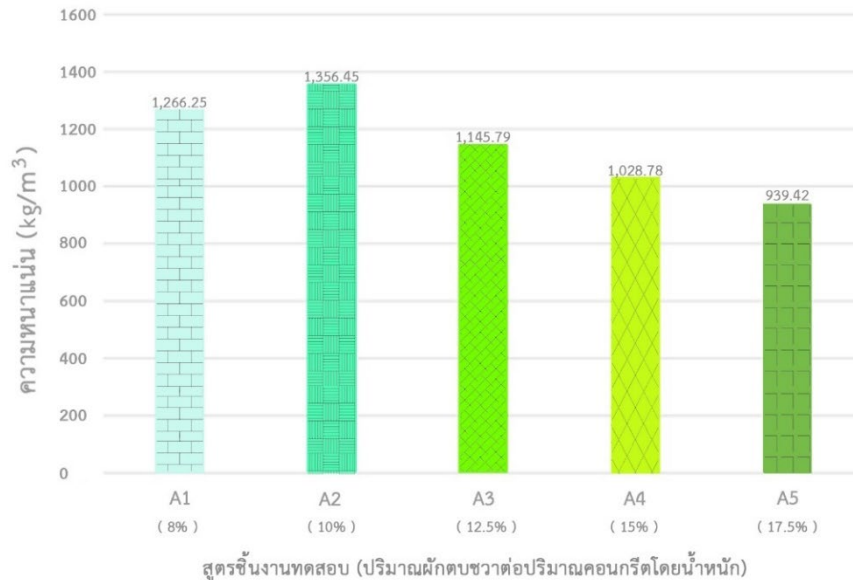
(ข)

ภาพที่ 10 เครื่องทดสอบด้านแรงดัด Flexural Strength UTM Universal Testing Machine Max Load : 20 ตัน

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

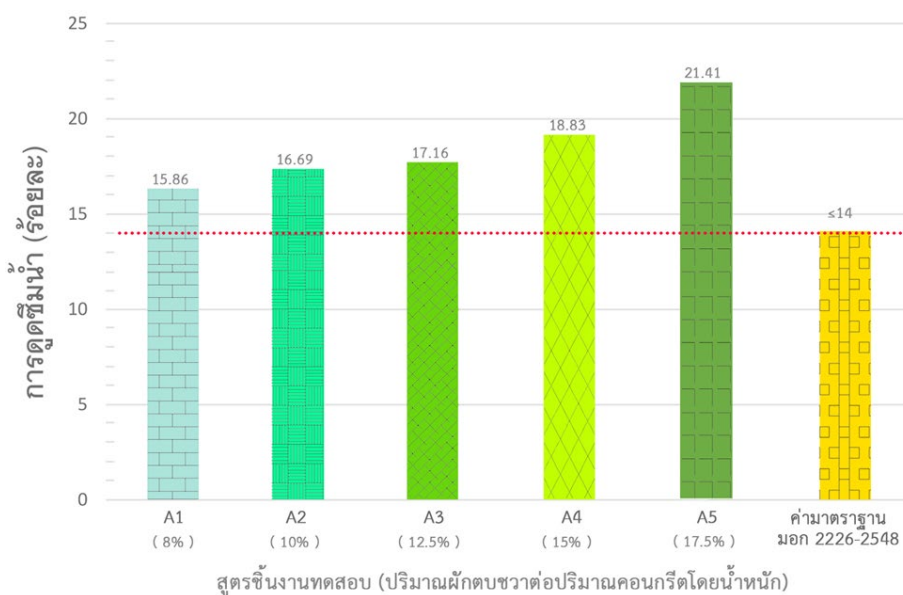
1) ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น ลักษณะทางกายภาพหลังจากทดสอบชิ้นรูปงานตัวอย่างทดลองแผ่น คอนกรีตสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมจากผักตบชวาตามชุดทดสอบ ทั้งหมด 5 ชุด ได้แก่ A1 - A5 โดยแต่ละชุดการทดสอบ มีลักษณะทางกายภาพที่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัดตามปริมาณความหนาแน่น จากภาพที่ 11 พบว่าสูตร A2 โดยมีอัตราส่วนผสมของ ซีเมนต์ : ทราย : น้ำ : ผักตบชวา เท่ากับ 1 : 1.5 : 0.5 : 0.1 โดยน้ำหนัก มีค่าความหนาแน่นสูงสุดอยู่ที่ 1,356.45

กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนสูตร A5 ซีเมนต์ : ทราย : น้ำ : ผักตบชวา เท่ากับ 1 : 1.5 : 0.5 : 0.175 โดยน้ำหนัก
มีค่าความหนาแน่นต่ำสุดอยู่ที่ 939.42 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 11 ผลการทดสอบการหาค่าความหนาแน่นของชิ้นงานทดสอบ (A1-A5) ที่มีส่วนผสมของผักตบชวาในอัตราส่วนต่าง ๆ

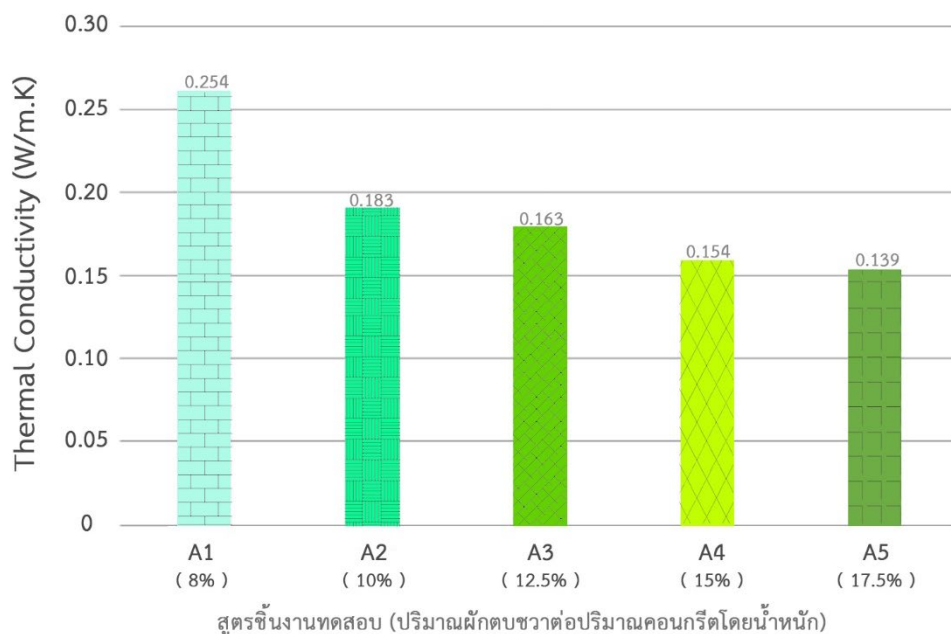
2) ผลการทดสอบด้านการดูดซึมน้ำ โดยผลการทดสอบด้านการดูดซึมน้ำพบว่า ค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานตัวอย่างทดสอบแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมจากผักตบชวา ทั้ง 5 สูตร ได้แก่ A1-A5 มีค่าเท่ากับร้อยละ 15.86, 16.69, 17.16, 18.83, และ 21.41 ตามลำดับ ซึ่งสูตร A1 มีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานการดูดซึมน้ำของผนังคอนกรีตสำเร็จรูป มอก. 2226-2548 มากสุด ซึ่งกำหนดค่าไม่เกินร้อยละ 14 ดังภาพที่ 12 จึงเสนอแนะให้มีการฉาบผนังอาจช่วยลดการดูดซึมน้ำลงได้



ภาพที่ 12 ผลการทดสอบการหาค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของชิ้นงานทดสอบ (A1-A5) ที่มีส่วนผสมของผักตบชวาในอัตราส่วนต่าง ๆ

จากภาพที่ 12 ผลการทดสอบพบว่าสูตร A5 ในอัตราส่วนผสมน้ำหนัก ซีเมนต์ : ทราย : น้ำ : ผักตบชวา เท่ากับ 1 : 1.5 : 0.5 : 0.175 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นสูตรที่มีอัตราส่วนผสมของผักตบชวามากที่สุด เนื่องจากการใช้ ผักตบชวาในส่วนผสมคอนกรีตในปริมาณมาก ทำให้แนวโน้มค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นผนังคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากที่เส้นใยผักตบชวาที่ใช้ผสมในแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นเส้นใยเซลลูโลสสูง ซึ่งเส้นใยเซลลูโลสเป็น คาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งที่เกิดจากเซลลูโลสยึดเกาะกันด้วยการดึงดูตน้ำ จากลักษณะทางกายภาพเช่นนี้จึงเป็นผลให้ชิ้นวัสดุ ทดสอบสามารถดูดซึมน้ำไว้ได้มากขึ้น ซึ่งผลการทดสอบ สูตร A1 มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน มอก. 2226-2548 เพียงเล็กน้อย

3) ผลการทดสอบค่าการนำความร้อน (k) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเป็นฉนวน ป้องกันความร้อนของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมจากผักตบชวา โดยค่าสภาพการนำความร้อน ที่น้อยลงแสดงว่ามีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดี

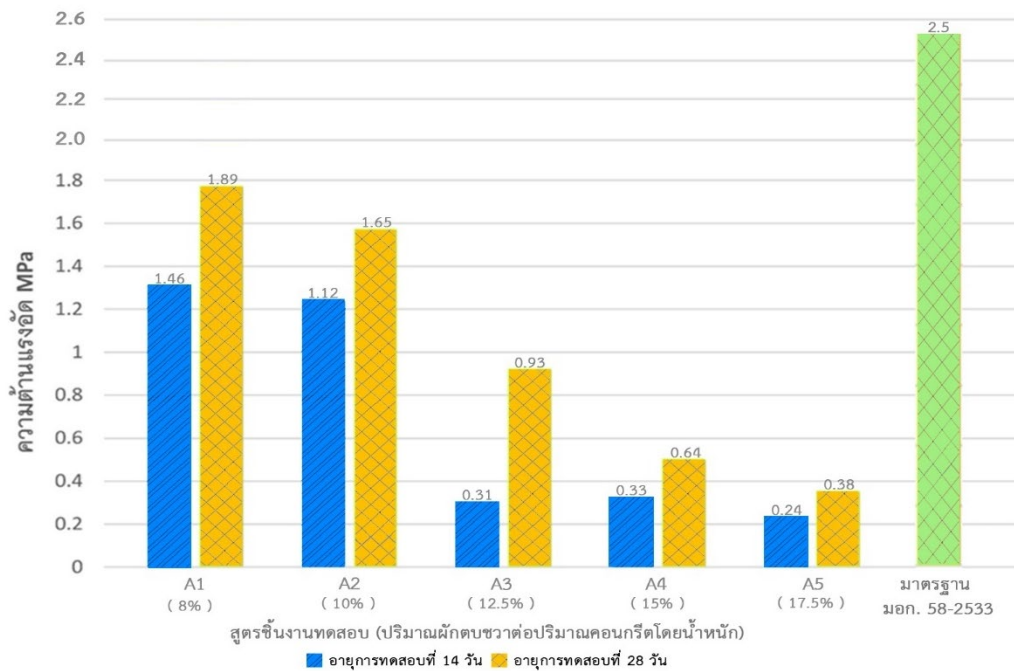


ภาพที่ 13 ผลการทดสอบการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของชิ้นงานทดสอบ (A1-A5) ที่มีส่วนผสมของผักตบชวาในอัตราส่วนต่าง ๆ

จากภาพที่ 13 ผลการทดสอบค่าการนำความร้อน (k) ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนผ่าน เครื่องทดสอบ ASTM C518 พบว่าค่าการนำความร้อนของชิ้นวัสดุทดสอบทั้ง 5 สูตร ผ่านเกณฑ์มาตรฐานประกาศ กระทรวงพลังงานที่กำหนดให้ผนังอิฐหรือคอนกรีตต้องมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.3 - 0.47 W/m.K โดยค่าเฉลี่ยของ ชิ้นงานทดสอบ A1 - A5 มีค่าเท่ากับ 0.254 (± 0.025) , 0.183 (± 0.003) , 0.163 (± 0.029) , 0.154 (± 0.011) , 0.139 (± 0.026) W/m.K ตามลำดับ โดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนชุดการทดสอบ A1 มีค่าการนำความร้อนสูง ที่สุด และชุดการทดสอบ A5 มีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุดและมีความหนาแน่นน้อยที่สุด มีความเป็นรูพรุนมากที่สุด จึงมีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด

4) ผลการทดสอบความต้านแรงอัด (MPa) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533 คอนกรีตบล็อก ไม่รับน้ำหนัก ซึ่งระบุว่า ความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักเฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อกต้องไม่ต่ำกว่า 2.5

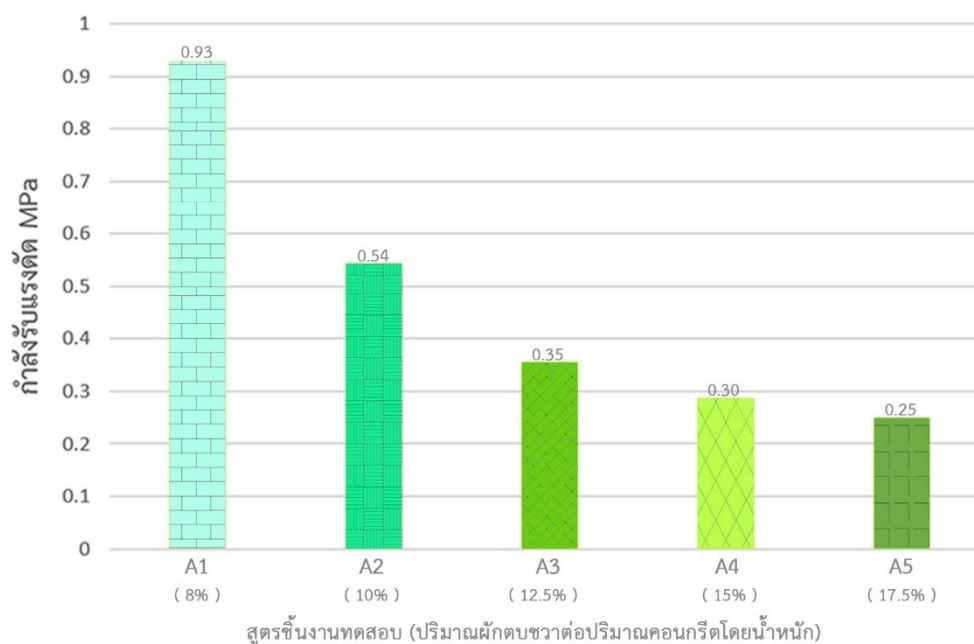
เมกะพาสคัล และคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อนต้องไม่ต่ำกว่า 2.0 เมกะพาสคัล (เฉลี่ยจากพื้นที่รวม) เครื่องทดสอบที่ใช้เครื่องทดสอบ UTM Universal Testing Machine Max Load : 20 ตัน ดังภาพที่ 16 จากชิ้นงานวัสดุตัวอย่างทดสอบมี 5 สูตร ได้แก่ A1, A2, A3, A4 และ A5 สูตรละ 4 ชิ้น เป็น 20 ชิ้นงานทดสอบ โดยทดสอบในช่วงอายุ 28 วัน



ภาพที่ 14 ผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดเฉลี่ยของชิ้นงานทดสอบ (A1-A5) ที่อายุทดสอบ 14 และ 28 วัน

จากภาพที่ 14 ผลการทดสอบการต้านแรงอัดพบว่า วัสดุแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปไม่รับน้ำหนักจากผักตบชวา จำนวน 5 ตัวอย่างทดสอบ ได้แก่ A1, A2, A3, A4 และ A5 โดยขึ้นตัวอย่างการทดสอบมีอัตราส่วน ซีเมนต์ : ทราย : น้ำ : ผักตบชวา ตัวอย่างชิ้นวัสดุตัวอย่างทดสอบมีน้ำหนักต่อชิ้น คือ 178.6, 187.29, 156.89, 149.84 และ 133.54 กรัม ตามลำดับ มีน้ำหนักเบา ซึ่งวัตถุประสงค์หลักคือต้องการแผ่นผนังประกอบสำเร็จรูปที่มีน้ำหนักเบา คนสามารถยกติดตั้งได้ง่ายจึงไม่ใส่หินและแทนด้วยผักตบชวา ทำให้มีค่ากำลังแรงอัดต่ำ ผลการรับกำลังแรงอัดเฉลี่ยชิ้นวัสดุตัวอย่างทดสอบ 1.89, 1.65, 0.93, 0.64 และ 0.38 เมกะพาสคัล ตามลำดับ โดยค่ากำลังแรงอัดสูงสุดอยู่ที่ 1.89 เมกะพาสคัล และค่ากำลังแรงอัดต่ำสุดอยู่ที่ 0.38 เมกะพาสคัล ซึ่งค่ากำลังแรงอัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มอก.58-2533ระบุว่า ความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักเฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อนต้องไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อนต้องไม่ต่ำกว่า 2.0 เมกะพาสคัล (เฉลี่ยจากพื้นที่รวม) ซึ่งสรุปได้ว่าผลการทดสอบค่าการต้านแรงอัดสูตร A1 และ A2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐาน มอก.58-2533 จึงมีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดเพื่อให้ผ่านมาตรฐานได้

5) ผลการทดสอบด้านแรงดัด การทดสอบแรงดัดคือแรงที่ทำให้วัตถุโค้งงอตัววัตถุถูกแรงกระทำในลักษณะแรงดัด จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโครงสร้าง โดยทดสอบแรงดัดผ่านเครื่องทดสอบด้านแรงดัด Flexural Strength UTM Universal Testing Machine Max Load : 20 ตัน ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 15 ผลการทดสอบการความต้านแรงดัดเฉลี่ยของชิ้นงานทดสอบ (A1-A5) ที่มีส่วนผสมของผักตบชวาในอัตราส่วนต่าง ๆ

จากภาพที่ 15 ผลการทดสอบพบว่า การรับกำลังแรงดัดของชิ้นงานทดสอบคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมจากผักตบชวาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร จำนวน 5 ตัวอย่างทดสอบ ตัวอย่างละ 4 ชิ้น โดยตัวอย่างการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าค่าการรับแรงดัดของคอนกรีตผสมผักตบชวาที่อายุ 28 วัน ผลการทดสอบด้านแรงดัดเฉลี่ยขึ้นตัวอย่างวัสดุ 0.93, 0.54, 0.35, 0.3 และ 0.25 เมกะพาสคัล โดยมีอัตราส่วนผสมของ ซีเมนต์ : หิน : น้ำ : ผักตบชวา เท่ากับ 1 : 1.5 : 0.5 และมีการใส่ผักตบชวาในอัตราส่วนต่าง ๆ กันรวม (A1 – A5) 0.08 , 0.1, 0.125 , 0.15 และ 0.175 โดยน้ำหนักตามลำดับ ซึ่ง สูตร A1 มีอัตราส่วนผสมของผักตบชวาน้อยกว่าสูตร A2 - A5 จึงทำให้มีค่าแรงดัดมากกว่าสูตรอื่น ๆ

แนวคิดทางการประยุกต์ใช้แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมจากผักตบชวา

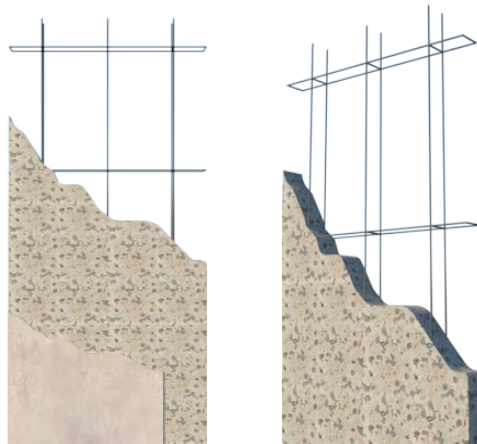
นำเสนอตัวอย่างแนวทางการออกแบบและพัฒนาแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมจากผักตบชวาเพื่อการประยุกต์ใช้เป็นผนังอาคาร

1) ตัวอย่างแนวทางกระบวนการออกแบบและพัฒนาแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป เนื่องจากแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมจากผักตบชวามีลักษณะผิวไม่เรียบเนียน และมีค่าผลการทดสอบเรื่องการดูดซึมน้ำสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานเพียงเล็กน้อย จึงเสนอแนวคิดให้มีการฉาบผิวบางเพื่อความสวยงาม ดังภาพที่ 16 และลดการสัมผัสน้ำกับแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปโดยตรง



ภาพที่ 16 ภาพสามมิติผิวแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมจากผักตบชวาและภาพฉาบผิวบางในมุมมองด้านหน้าตรง

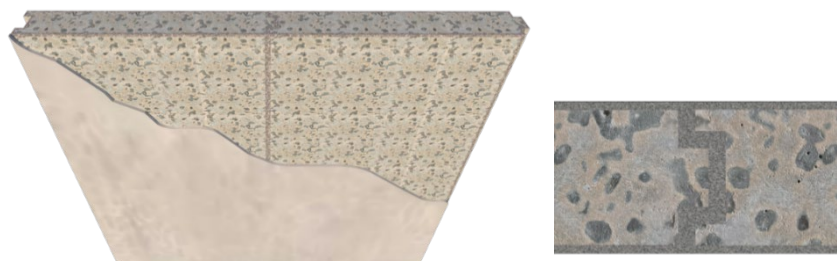
2) ตัวอย่างแนวทางการกระบวนการออกแบบและพัฒนาแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมจากผักตบชวา เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารให้มีขนาดแผ่นที่กว้างและยาวขึ้นให้เป็นผนังสำเร็จรูป อาจมีการคำนวณใส่ เหล็กเส้นเสริมเพื่อความแข็งแรงและสะดวกในการติดตั้ง ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ภาพสามมิติแนวทางในการนำไปพัฒนาต่อยอดเสริมเหล็กและการฉาบผิวบางในมุมมองด้านหน้าตรง และไอโซเมตริก

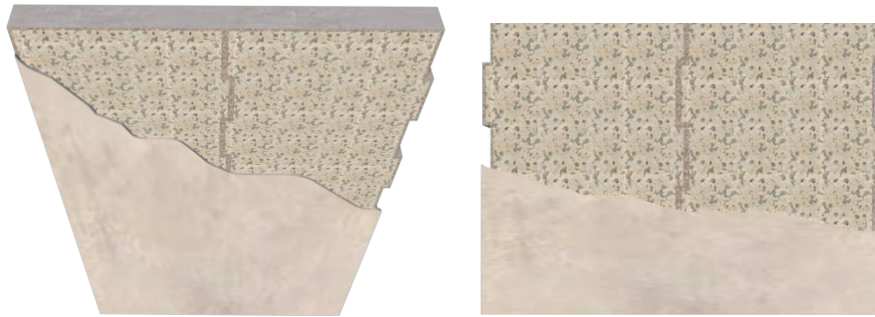
3) ตัวอย่างแนวทางการกระบวนการออกแบบและพัฒนาการติดตั้งแผ่นคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมจาก ผักตบชวาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร

รูปแบบที่ 1 นำเสนอให้มีการพัฒนารูปแบบในการผลิตแผ่นแบบเดือยรับ (ตัวเมีย) เดือยยื่น (ตัวผู้) ดังภาพที่ 18



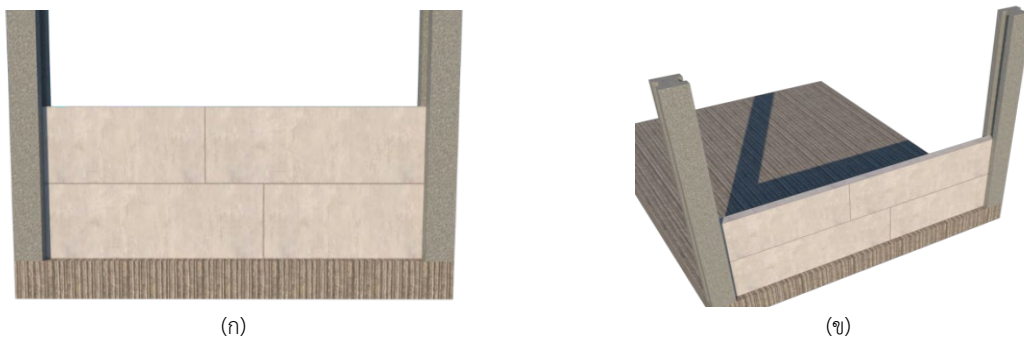
ภาพที่ 18 ภาพสามมิติแนวทางในการนำไปพัฒนารูปแบบการผลิตที่ 1 แบบเดือยรับและเดือยยื่นในมุมมองไอโซเมตริก และด้านบน

รูปแบบที่ 2 นำเสนอให้มีการพัฒนารูปแบบในการผลิตแผ่นแบบสลับพื้นปลา ดังภาพที่ 19



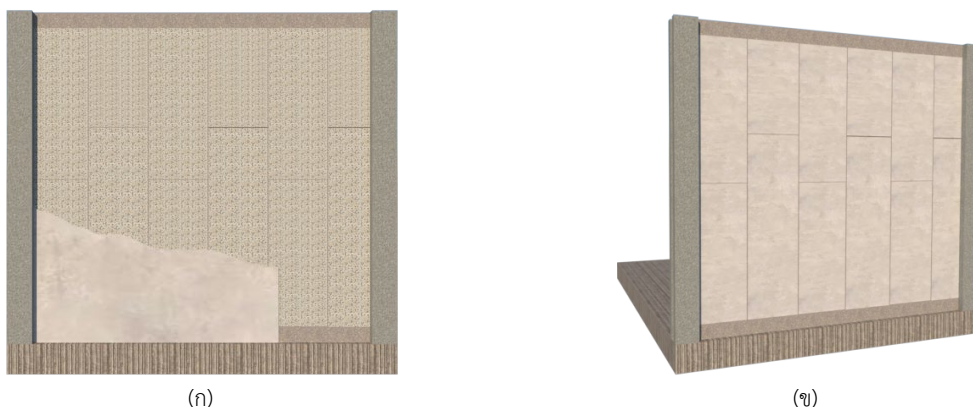
ภาพที่ 19 ภาพสามมิติแนวทางในการนำไปพัฒนารูปแบบการผลิตที่ 2 แบบสลับพื้นปลาในมุมมองไอโซเมตริก และด้านหน้าตรง

รูปแบบที่ 3 นำเสนอให้มีการพัฒนารูปแบบในติดตั้งเสียบล๊อคเสาคอนกรีตแบบแนวนอนและสลับพื้นปลา เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ภาพสามมิติแนวทางในการนำไปพัฒนาการติดตั้งรูปแบบที่ 3 ในมุมมองด้านหน้าตรง และไอโซเมตริก : (ก) ภาพสามมิติรูปแบบที่ 3 ในมุมมองด้านหน้าตรง และ (ข) ภาพสามมิติรูปแบบที่ 3 ในมุมมองไอโซเมตริก

รูปแบบที่ 4 นำเสนอให้มีการพัฒนารูปแบบในติดตั้งเสียบล๊อคเสาคอนกรีตแบบแนวตั้งและสลับพื้นปลา เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 ภาพสามมิติแนวทางในการนำไปพัฒนาการติดตั้งรูปแบบที่ 4 ในมุมมองด้านหน้าตรง และไอโซเมตริก : ก) ภาพสามมิติรูปแบบที่ 4 ในมุมมองด้านหน้าตรง และ ข) ภาพสามมิติรูปแบบที่ 4 ในมุมมองไอโซเมตริก

สรุปผลทดสอบและข้อเสนอแนะ

การศึกษางานวิจัยนี้ได้ศึกษาอัตราส่วนการผสมแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปไม่รับน้ำหนักจากผักตบชวาที่เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันนำมาเพิ่มมูลค่าโดยพัฒนาเป็นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมจากผักตบชวาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร

1) การทดสอบการหาค่าการดูดซึมน้ำ จากผลการทดสอบพบว่า สูตร A1 ในอัตราส่วนผสมน้ำหนัก ซีเมนต์ : หทราย : น้ำ : ผักตบชวา เท่ากับ 1 : 1.5 : 0.5 : 0.08 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นสูตรที่มีอัตราส่วนผสมของผักตบชวาน้อยที่สุด แต่เนื่องจากการใช้ผักตบชวาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตจึงทำให้แนวโน้มค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นผนังคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติของเส้นใยที่สามารถดูดซึมน้ำได้ การผสมเส้นใยผักตบชวาลงไปในแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปยังเป็นการเพิ่มรูพรุนในชิ้นตัวอย่างทดสอบให้มีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลการทดสอบ สูตร A1 ต่ำกว่ามาตรฐาน มอก. 2226-2548 เพียงเล็กน้อย

2) การทดสอบการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) จากผลการทดสอบพบว่าค่าการนำความร้อนของชิ้นงานทดสอบ A1 - A5 ที่มีส่วนผสมของผักตบชวาในอัตราส่วนต่าง ๆ ผ่านเกณฑ์ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีการคำนวณ และการรับรองผลการตรวจประเมินในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ.2564 หมวดผนังอิฐ/คอนกรีต ที่กำหนดค่าเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วง 0.473 - 0.72 W/m.K ซึ่งสูตร A1 - A5 โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.254 (± 0.025) , 0.183 (± 0.003) , 0.163 (± 0.029) , 0.154 (± 0.011) , 0.139 (± 0.026) W/m.K ตามลำดับ

3) การทดสอบค่าความต้านแรงอัดตามมาตรฐาน มอก. 58-2533 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่กำหนดค่าไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะพาสคัล แต่ผลทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปไม่รับน้ำหนักจากผักตบชวาอยู่ที่ 1.89 เมกะพาสคัล (MPa) ซึ่งสูตร A1 มีค่าที่ใกล้เคียงมาตรฐาน จึงมีศักยภาพในการนำไปใช้พัฒนาต่อยอดให้ผ่านมาตรฐานได้

4) ศึกษาและพัฒนาในเรื่องของความแข็งแรงของชิ้นตัวอย่างวัสดุ เมื่อนำไปเป็นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปเพื่อการใช้งานที่มีขนาดใหญ่ขึ้น อาจต้องมีการคำนวณเหล็กเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ควบคู่ไปกับการพิจารณาด้านการลดน้ำหนักของตัวแผ่นผนังเพื่อให้สะดวกต่อการติดตั้ง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนด้านอุปกรณ์เครื่องมือทดสอบประสิทธิภาพ รวมถึงคำแนะนำการใช้เครื่องมือที่มีความจำเป็นต่องานวิจัยจากศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางอาคาร (CBIT) ภาควิชาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- กรมโยธาธิการและผังเมือง ศูนย์ประสานงานแก้ไขปัญหาผักตบชวา. (2560). ข้อมูลผักตบชวาเบื้องต้น. กระทรวงพลังงาน. (2564). *เรื่องหลักเกณฑ์ วิธีการคำนวณ และการรับรองผลการตรวจประเมินในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร*.
- กระทรวงอุตสาหกรรม สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2533). *เรื่อง แก้ไขมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (แก้ไขครั้งที่ 1) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2530 มอก. 58-2533*.
- กระทรวงอุตสาหกรรม, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2548). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2226-2548 แผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป*.
- ชัยรัตน์ บุญถนอมวงศ์, & วรณี เอกศิลป์. (2557). สมรรถนะทางความร้อนของอิฐบล็อกผสมผักตบชวาและซีเมนต์. ใน *ประชุมวิชาการระดับชาติ ประจำปี 2557* (หน้า 179-186). ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต.
- นิตยา พัฒเกา, กิตติศักดิ์ บัวศรี, & ประยูร สุรินทร์. (2555). *การผลิตและศึกษาคุณสมบัติแผ่นฉนวนผนังเบาจากเส้นใยชานอ้อย*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร.
- เพ็ญชาย เวียงใต้, ปิยะพล สีหาบุตร, เจษฎ์ศิริ เกื้อนมูลละ, & ภคพล ช่างยนต์. (2562). *การใช้ผักตบชวาผลิตอิฐบล็อกประสานเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน*. สาขาการจัดการงานช่างและผังเมือง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- วิจิตรไตรธรรม, ก. (2563). *การพัฒนาวาสถุภัณฑ์วอลเปเปอร์จากเส้นใยผักตบชวา*. สาขาออกแบบชุมชนเมือง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล.
- Bimspaces. (2564). *เจาะเทรนด์วัสดุก่อสร้าง 2565 สร้างเพื่อชีวิตที่ยั่งยืน*. สืบค้นจาก https://bimspaces.com/blog/building_materials_trend2022/
- Thai metal. (2565). *สารก่อมะเร็งที่ซ่อนอยู่ในวัสดุก่อสร้าง*. สืบค้นจาก <https://www.tm-aluwindow.com/article/cancer-instrument/>