

กำลังอัด ร้อยละการดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย

ของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมแกนกัญชง

Compressive Strength, Water Absorption and Dry Density of Lightweight Concrete Blocks mixed with Hemp Shiv

ประชุม คำพุ่ม¹ ทวิช กล้าแท้^{2*}, ชูเกียรติ ชูสกุล², นกมล ศรภักดี², สุพร ฤทธิภักดี², เช่าพีร์ ตีอราแม³

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12120

²สาขาวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

นครศรีธรรมราช 80210

³ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ กรุงเทพมหานคร 10120

Prachoom Khamput¹, Tawich Klathae^{2*}, Chookiat Choosakul², Napadon Sormpakdee²,
Suporn Rittipukdee², Saofee Dueramae³

¹Department of Civil Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi,

Pathumthani 12120

²Department of Engineering, College of Industrial Technology and Management, Rajamangala University
of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat 80210

³Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology

Krungthep, Bangkok 10120

Received 27 September 2023; Received in revised 4 April 2024; Accepted 20 May 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังอัด ร้อยละการดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมแกนกัญชง ที่ใช้ปูนปลาสเตอร์ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน เพื่อพัฒนาคอนกรีตมวลเบาที่มีสมบัติตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 เรื่องคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ (มอก. 2601-2556) โดยกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ : ปูนปลาสเตอร์ : น้ำ เท่ากับ 1 : 1 : 1 โดยน้ำหนัก ผสมแกนกัญชงที่บดย่อยผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 6, 10 และ 25 มม. ในสัดส่วนร้อยละ 3, 4 และ 5 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด ขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกมวลเบาขนาด 10 x 20 x 60 ซม. ทดสอบความต้านทานแรงอัดที่อายุ 7, 28, 60 และ 90 วัน การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมวลเบา ที่อายุ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่มีค่าลดลง เมื่ออัตราส่วนของแกนกัญชงเพิ่มขึ้น ในขณะที่การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมวล

*ผู้รับผิดชอบบทความ: Tawich.k@rmutsv.ac.th

เบามีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมวลเบามีค่าลดลง นอกจากนี้พบว่าขนาดแกนกัญชงผ่านตะแกรงช่องเปิดขนาด 6 และ 10 มม. ในสัดส่วนร้อยละ 3, 4 และ 5 มีค่าความต้านทานแรงอัด ร้อยละการดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย ที่อายุ 28 วัน ผ่านตามเกณฑ์ตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 จัดเป็นคอนกรีตบล็อกมวลเบาประเภท C10 และ C9 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การดูดซึมน้ำ; กำลังอัด; แกนกัญชง; ความหนาแน่นแห้ง; คอนกรีตบล็อกมวลเบา

Abstract

This research aims to study the compressive strength, water absorption, and dry density of lightweight concrete blocks mixed with hemp shiv, using a combination of plaster and Portland cement as binder to develop lightweight concrete blocks according to the Thai Industrial Standard Institute (Cellular lightweight concrete blocks using preformed foam, TISI 2601-2556). The mix ratio was 1:1:1 by weight for cement: plaster: water. The hemp shiv was ground and sieved through meshes of 6, 10, and 25 mm in proportions of 3%, 4%, and 5% by total weight. The lightweight concrete blocks were molded to the size of 10 x 20 x 60 cm. The compressive strength was tested at 7, 28, 60, and 90 days, while water absorption and dry density were tested at 28 days. The results showed that the compressive strength of the lightweight concrete blocks decreased as the proportion of hemp shiv increased, while water absorption increased, resulting in a decrease in dry density. Additionally, it was found that hemp shiv sizes that passed through 6 mm and 10 mm meshes in proportions of 3%, 4%, and 5% met the criteria of TISI 2601-2556 and were classified as C10 and C9 lightweight concrete blocks, respectively.

Keywords: Compressive strength; Dry density; Hemp shiv; Lightweight concrete blocks; Water absorption

1. บทนำ

ปัจจุบันตลาดกัญชงโลกเติบโตสูงขึ้นมากกว่า 4.75 พันล้านดอลลาร์สหรัฐฯ และมีการคาดการณ์ว่า ในระยะข้างหน้าตลาดกัญชงจะเติบโตต่อเนื่องอยู่ที่ 1.86 หมื่นล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ในปี 2570 ซึ่งมากกว่า 60 ประเทศทั่วโลก อนุญาตให้ปลูกกัญชงในเชิงพืชเศรษฐกิจ โดย 5 ประเทศที่มีพื้นที่ปลูกกัญชงมากที่สุดได้แก่ สหรัฐอเมริกา จีน แคนาดา เกาหลีใต้ และฝรั่งเศส ตามลำดับ ในประเทศไทยกัญชงหรือเฮมพ์ เริ่มเข้ามามีบทบาทในการเป็นพืชเศรษฐกิจ หลังจากรัฐบาลประกาศปลดล็อกให้สามารถขออนุญาตปลูก ผลิต นำเข้าเมล็ดพันธุ์ ครอบครอง และจำหน่ายได้ การปลดล็อกดังกล่าวโดยเฉพาะการนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรม ทั้งนี้ ประเมินว่าผลิตภัณฑ์กัญชงไทยจะเติบโตอย่างมากในช่วง 5 ปีแรกหลังรัฐปลดล็อกการประกอบธุรกิจ โดยตลาดกัญชงไทยจะมีมูลค่าสูงถึง 1.58 หมื่นล้านบาท ณ สิ้นปี 2568 หรือเติบโตเฉลี่ย 126% ต่อปี [1] ที่ผ่านมาในประเทศไทยมีการศึกษาวิจัยเพื่อนำแกนกัญชงมาผลิตเป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น วัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุก่อผนัง เฮมพ์คอนกรีต คอนกรีตมวลเบา บล็อกประสานมวลเบา คอนกรีตบล็อกมวลเบา หรือแม้แต่งานฉนวนกันความร้อน เนื่องจากแกนกัญชงมีคุณสมบัติ น้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ มีคุณสมบัติเป็นฉนวน คลายความร้อนได้เร็ว ดูดซับกลิ่น ไม่ลามไฟ และสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์ได้ดี [2-6] นอกจากนี้ในต่างประเทศได้มีการศึกษาวิจัยการใช้ยิปซัมเป็นตัวเชื่อมประสาน ในผลิตภัณฑ์ยิปซัมบอร์ดที่มีส่วนผสมของเฮมพ์ในระบบกันไฟ ผลการศึกษาพบว่า การเสริมประสิทธิภาพยิปซัมบอร์ดด้วยเส้นใยกัญชงช่วยเสริมแรงและช่วยป้องกันอัคคีภัย ซึ่งการทดสอบที่อุณหภูมิ 150 และ 250 องศาเซลเซียส ในการทดสอบด้านคุณสมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้ใยกัญชงเป็นเส้นใยเป็นการสนับสนุนให้เลือกใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [7] ต่อมา Fabio Iucolano และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงกระแทก และแรงดัดของ

ยิปซัมบอร์ดที่ใช้กัญชงแทนใยแก้วเพื่อเป็นวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม วัสดุประสานที่ใช้ได้แก่ ยิปซัมซึ่งเป็นวัสดุต้นทุนต่ำ น้ำหนักเบา กันความร้อนและกันเสียงได้ดี เหมาะสำหรับการใช้ในงานก่อสร้าง ผลการทดสอบพบว่ายิปซัมมีความสามารถในการรับแรงดัด เหมาะสมกับการนำมาใช้ร่วมกับวัสดุประสานอื่น ๆ เช่น ปูนขาว หรือปูนซีเมนต์ และเสริมแรงด้วยการใช้เส้นใยแก้ว ใยสังเคราะห์และเส้นใยธรรมชาติ เพื่อเพิ่มสมบัติทางกล โดยใช้แกนกัญชงเสริมในยิปซัมบอร์ดร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนน้ำตอยิปซัมเท่ากับ 0.7 พบว่าเส้นใยที่ใส่ช่วยลดการเกิดการแตกร้าว เสริมกำลังดัดได้เป็นอย่างดี ในขณะที่ Luca Boccarusso และคณะ [9] ได้ศึกษากำลังดัด และความทนทานต่อการกระแทกของวัสดุผสมใยกัญชง-ยิปซัม โดยเปรียบเทียบกับวัสดุผสมแบบดั้งเดิม พบว่าการเสริมแรงจากแกนเฮมพ์ร้อยละ 2 ช่วยพัฒนากำลังดัดได้ร้อยละ 100 และการดูดซับพลังงานได้ร้อยละ 320 นอกจากนี้ในปี 2021 มีงานวิจัยที่นำวัสดุเหลือทิ้งทางภาคเกษตรมาใช้ผสมกับกับแกนเฮมพ์ ซึ่งศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของคอนกรีตมวลเบาที่มีเปลือกข้าวสาลี และแกนเฮมพ์เป็นมวลรวมชีวภาพและใช้สารสังเคราะห์จากแมงनीเซียมออกไซด์เพดัดแปลง ผลการทดสอบพบว่าการใช้ปูนขาวเป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว ทำให้สมบัติการยึดเกาะที่ต่ำ แต่เมื่อนำมาใช้ร่วมกับซีเมนต์แมงनीเซียม (Qxysulfate) ส่งผลทำให้เป็นวัสดุประสานที่มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น [10] ในขณะเดียวกัน การนำเทคโนโลยีจีโอโพลิเมอร์มาใช้ในการผลิตเฮมพ์คอนกรีต โดย M. Paz Saez-Perez และคณะ [11] ซึ่งศึกษาการนำเฮมพ์มาใช้ในจีโอโพลิเมอร์และ hydraulic lime พบว่า จากการศึกษาโครงสร้างระหว่าง Si-Na และ Si-Ca โดยใช้แกนกัญชง 2 สถานะ ได้แก่ แบบสด และแบบเก็บรักษาในสภาวะชื้นเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า เฮมพ์ทั้งสองสถานะมีปริมาณเซลลูโลสสูง ช่วยเพิ่มสมบัติทางกลของคอนกรีตได้

จากผลการวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่ามีการศึกษาวิจัยเพื่อนำแกนกัญชงมาผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างได้

แต่องานวิจัยในประเทศไทยยังพบเห็นอยู่น้อยมาก ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลั้งอัด ร้อยละการดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมแกนกัญชง ที่ใช้ปูนปลาสเตอร์ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน โดยกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ : ปูนปลาสเตอร์ : น้ำเท่ากับ 1 : 1 : 1 โดยน้ำหนัก ผสมแกนกัญชงที่บดย่อยผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 6, 10 และ 25 มม. ในสัดส่วนร้อยละ 3, 4 และ 5 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมดทำการขึ้นรูปเป็นคอนกรีตบล็อกมวลเบาขนาด 10 x 20 x 60 ซม. ตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 เรื่องคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ ทำการทดสอบความต้านทานแรงอัดที่อายุ 7, 28, 60 และ 90 วัน การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมวลเบา ที่อายุ 28 วัน เพื่อเป็นการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาแกนกัญชงซึ่งมีน้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำ มีคุณสมบัติเป็นฉนวนคลายความร้อนได้เร็ว รวมทั้งยังเป็นการนำแกนกัญชงมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างจริงจัง ส่งผลกระทบต่อชุมชน ธุรกิจกัญชง รองรับการพัฒนาของภาคเกษตรกรรมที่ส่งเสริมการปลูกกัญชงอย่างแพร่หลายในอนาคต และเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้ทรัพยากรที่มีอย่างคุ้มค่าเหมาะสม ต่อไป

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษากำลั้งอัด ร้อยละการดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมแกนกัญชง ที่ใช้ปูนปลาสเตอร์ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสาน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland cement, OPC) ตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM C150 [12] แสดงใน Figure 1



Figure 1 Ordinary Portland cement [13]

3.1.2 ปูนปลาสเตอร์ (Gypsum plaster, P) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนปลาสเตอร์สำหรับทำแบบในอุตสาหกรรมเซรามิก (มอก. 2488-2553) [14] แสดงใน Figure 2

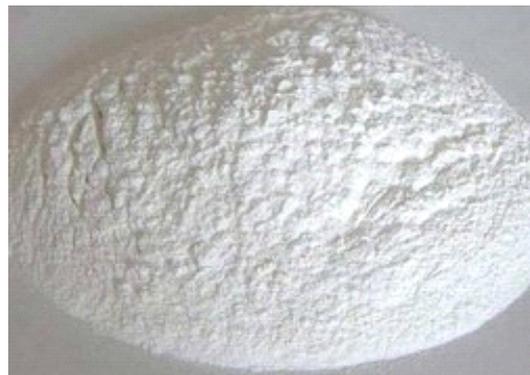


Figure 2 Gypsum plaster [13]

3.1.3 แกนกัญชง (Hemp Shiv, HS) จากวิสาหกิจชุมชนแปรรูปพืชเกษตรพบพระ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก (Figure 3)

นำมาตากแดด 1-3 วัน เพื่อให้เหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกินร้อยละ 5 นำมาทำการบดย่อยด้วยเครื่องบดลดขนาด (Figure 4) ให้ผ่านตะแกรงขนาด 6, 10 และ 25 มม. (Figure 5) จากนั้นนำแกนกัญชงที่บดย่อยแล้วไปชั่งน้ำหนักใส่ในถุงแยกเป็นแต่ละขนาดตามอัตราส่วนที่กำหนด และใส่ถังพลาสติกเพื่อไม่ให้สัมผัสกับความชื้นภายนอก



Figure 3 Hemp Shiv



Figure 4 Hemp Shiv ground machine



Figure 5 Ground Hemp Shiv size 6, 10 and 25 mm.

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากำลังอัด ร้อยละ การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยของ คอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมแกนกัญชง ที่ใช้ ปูนปลาสเตอร์ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุ ประสาน

โดยกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ : ปูนปลาสเตอร์: น้ำ เท่ากับ 1 : 1 : 1 โดยน้ำหนัก ผสม แกนกัญชงที่บดย่อยผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 6, 10 และ 25 มม. ในสัดส่วนร้อยละ 3, 4 และ 5 โดยน้ำหนัก ของส่วนผสมทั้งหมด ทำการขึ้นรูปเป็นคอนกรีตบล็อก มวลเบาขนาด 10 x 20 x 60 ซม. ตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 เรื่องคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟอง อากาศ [15] จำนวน 10 อัตราส่วนผสม (Table 1) ทำการ ทดสอบความต้านทานแรงอัดที่อายุ 7, 28, 60 และ 90 วัน การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อก มวลเบา ที่อายุ 28 วัน

3.2.2 เตรียมส่วนผสมตามอัตราส่วนที่กำหนด นำส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ

ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนปลาสเตอร์ แกนกัญชงที่บด ย่อยผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 6, 10 และ 25 มม. ใน สัดส่วนร้อยละ 3, 4 และ 5 โดยน้ำหนักของส่วนผสม ทั้งหมด เนื่องจากเป็นสัดส่วนที่เคยได้มีการทดลองผสม แล้วพบว่าเข้ากันได้ดี เนื่องจากหากเกินกว่านี้ปริมาณ แกนกัญชงจะมากเกินไปที่วัสดุประสานจะเคลือบให้ยึด เกาะกันได้และผิวหน้าของผลิตภัณฑ์จะไม่เรียบสวยงาม จากนั้นทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 [15] ประกอบด้วย (1) การตรวจพินิจ ลักษณะทั่วไป ความหนาแน่นเชิงปริมาตร และอัตราการ ดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน จำนวนสูตรละ 5 ก้อน (หมายเหตุ: สามารถใช้ก้อนตัวอย่างทดสอบร่วมกันได้) และ (2) ทดสอบความต้านทานแรงอัดที่อายุการบ่ม 7, 28, 60 และ 90 วัน ตามลำดับ จำนวนสูตรละ 5 ก้อน ต่อการ ทดสอบแต่ละวันของอายุการบ่ม (หมายเหตุ: ในขั้นตอน

Table 1 Mix proportion of lightweight concrete blocks (by weight)

Lightweight concrete blocks symbols	Size of HS (mm.)	OPC	Gypsum plaster	HS (%)	Water	Number of blocks
CT		1	1	-	1	25
6HS3	6	1	1	3	1	25
6HS4	6	1	1	4	1	25
6HS5	6	1	1	5	1	25
10HS3	10	1	1	3	1	25
10HS4	10	1	1	4	1	25
10HS5	10	1	1	5	1	25
25HS3	25	1	1	3	1	25
25HS4	25	1	1	4	1	25
25HS5	25	1	1	5	1	25

Remark: OPC: Ordinary Portland Cement Type I, HS: Hemp Shiv

นี้ทำการทดสอบความต้านทานแรงอัดเพิ่มที่อายุ 60 และ 90 วัน เพื่อพิจารณาผลของความแข็งแรงในระยะยาวโดยมีขั้นตอนการผสม ดังแสดงใน Figure 6-7

3.2.3 ข้อกำหนดรายการทดสอบและการคำนวณตามมาตรฐาน โดยสมบัติของคอนกรีตบล็อกมวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 [15] แสดงดัง Table 2 ประกอบด้วย

3.2.3.1 ลักษณะทั่วไป ทำการทดสอบโดยการตรวจพินิจ ประกอบด้วย ก้อนตัวอย่างต้องไม่แตก ไม่ร้าว ไม่บิดเบี้ยว ไม่แอ่นตัว และไม่มีตำหนิ ที่เป็นผลเสียต่อการใช้งาน และทำการวัดขนาด ความกว้าง x ความยาว x ความหนา (สูง)

3.2.3.2 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร ทำการหล่อขึ้นตัวอย่างทดสอบ วัดขนาด และชั่งน้ำหนัก หลังจากอบที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการคำนวณความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งของขึ้นตัวอย่างเฉลี่ย

3.2.3.3 ความต้านทานแรงอัด คือ ความสามารถของวัสดุ หรือโครงสร้างที่ต้านทานแรงที่กระทำในทิศทางอัดตัวของวัสดุนั้น เมื่อแรงที่กระทำมีค่าเท่ากับกำลังต้านทานแรงอัดของวัสดุ วัสดุนั้นจะแตกหัก ความต้านแรงอัดจะอยู่ในหน่วย เมกะปาสคาล (MPa) หรือ กก./ตร.ซม. (ksc) ทำการหล่อขึ้นตัวอย่างทดสอบ วัดขนาด นำขึ้นตัวอย่างเข้าเครื่องกดทดสอบที่อ่านได้



Figure 6 Mixed method of lightweight concrete blocks with hemp shiv



Figure 7 Sample of lightweight concrete blocks with hemp shiv

ละเอียด 100 นิวตัน และสามารถควบคุมอัตราเพิ่มแรงกดได้ระหว่าง 0.05 ถึง 0.2 นิวตัน/ตร.มม./วินาที

3.2.3.4 อัตราการดูดซึมน้ำ ทำการหล่อขึ้นตัวอย่างทดสอบ วัดขนาด อบขึ้นทดสอบในตู้อบให้แห้ง จนได้มวลคงที่เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง จากนั้นชั่งมวลแต่ละก้อนเป็นมวลขึ้นทดสอบเมื่อแห้ง จากนั้นนำขึ้นทดสอบไปแช่น้ำสะอาดให้ท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วยกออก ใช้ผ้าชุมน้ำเช็ดที่ผิวที่ละก้อนแล้วชั่งใหม่ให้เสร็จภายในเวลา 3 นาที มวลที่ชั่งได้นี้ถือเป็นมวลขึ้นทดสอบเมื่อเปียก

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบา

Figure 8 แสดงผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่อายุการบ่ม 28 วัน ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาควบคุม (CT) มีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 19.86 และความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย 1,250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่คอนกรีตบล็อกมวล

เบา 6HS3, 6HS4 และ 6HS5 มีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 20.25, 21.33 และ 22.31 หรือเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 102, 107 และ 112 ของคอนกรีตบล็อกมวลเบา CT ตามลำดับ ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกมวลเบา 6HS3, 6HS4 และ 6HS5 มีค่าเท่ากับ 962, 922, และ 912 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 77, 74 และ 73 ของคอนกรีตบล็อกมวลเบา CT ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาคอนกรีตบล็อกมวลเบา 10HS3, 10HS4 และ 10HS5 พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 21.54, 22.35 และ 22.97 หรือเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 108, 113 และ 116 ของคอนกรีตบล็อกมวลเบา CT ตามลำดับ ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่มีค่าเท่ากับ 879, 875, และ 884 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 70, 70 และ 71 ของคอนกรีตบล็อกมวลเบา CT ในขณะที่เมื่อพิจารณาคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่ผสมแกนกัญชงที่บดย่อยผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 25 มม. ในสัดส่วนร้อยละ 3, 4 และ 5 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมดหรือคอนกรีตบล็อกมวลเบา 25HS3, 25HS4 และ 25HS5 พบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ

Table 2 Properties of lightweight concrete blocks according TISI 2601-2556 [15]

Types	Dry density (kg/m ³)	Compressive strength > MPa (kg/cm ²)	Water absorption < (%) (fraction by mass)
C6	501-600		
C7	601-700	2.0 (20.4)	25
C8	701-800		
C9	801-900		
C10	901-1,000	2.5 (25.5)	23
C12	1,001-1,200		
C14	1,201-1,400		
C16	1,401-1,600	5.0 (51.0)	20

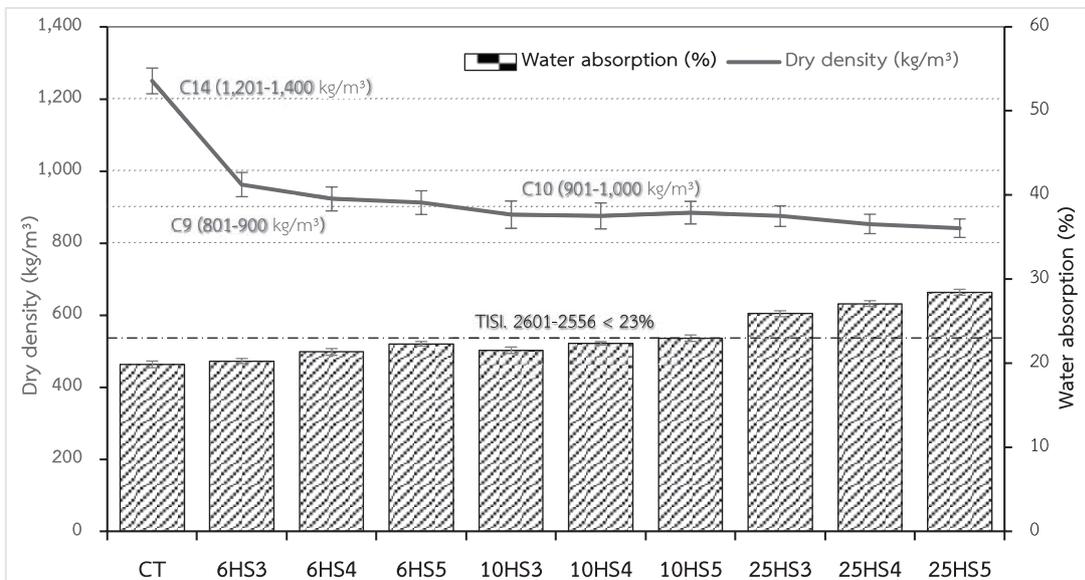


Figure 8 Relationship between dry density and water absorption of lightweight concrete blocks at 28 days

25.88, 27.09 และ 28.43 หรือเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 130, 136 และ 143 ของคอนกรีตบล็อกมวลเบา CT ตามลำดับ ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกมวลเบามีค่าเท่ากับ 876, 853, และ 841 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 70, 68 และ 67 ของคอนกรีตบล็อกมวลเบา CT

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การผสมแกนกัญชงในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้มีแนวโน้มการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณแกนกัญชงที่มากขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากกัญชงเป็นพืช ลำต้นของแกนกัญชงจึงมีลักษณะที่อกลมกลวงและน้ำหนักเบา เมื่อนำไปผสมในคอนกรีตบล็อกมวลเบาจึงทำให้มีการดูดซึมน้ำมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่ใช้วัสดุชีวมวลเป็นส่วนผสมในคอนกรีต [2-6] ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่ลดลง เนื่องจากแกนกัญชงมีความหนาแน่นต่ำกว่าวัสดุปูนซีเมนต์และปูนปลาสเตอร์ เมื่อผสมจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จึงทำให้คอนกรีตบล็อกมวลเบามีความหนาแน่นลดลงตามไปด้วย [2-4, 6-9] เมื่อพิจารณาผลของขนาดแกนกัญชงบดย่อยผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 6, 10 และ 25 มม. พบว่าแกนกัญชงที่มี

ขนาดใหญ่ก็ทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมวลเบาลดลง เนื่องจากการผสมแกนกัญชงขนาดใหญ่จะมีการเรียงตัวของแกนกัญชงไม่สม่ำเสมอ เกิดการขัดกันระหว่างแกนกัญชงในทิศทางอิสระ จึงทำให้เกิดช่องว่างในคอนกรีตบล็อกมวลเบามากกว่าการใช้แกนกัญชงขนาดเล็กที่มีการเรียงตัวได้ดีกว่า ส่งผลให้ช่องว่างภายในลดลง [3-6, 13]

4.2 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบา

Table 3 แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบา ที่อายุการบ่ม 7, 28, 60 และ 90 วัน ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบา CT มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 57.52, 85.06, 97.28 และ 105.25 ksc ตามลำดับ ในขณะที่คอนกรีตบล็อกมวลเบา 6HS3, 6HS4, 6HS5, 10HS3, 10HS4, 10HS5, 25HS3, 25HS4 และ 25HS5 มีค่ากำลังอัดอยู่ระหว่าง 15.32-21.56 ksc หรือคิดเป็นร้อยละ 27-37 คอนกรีตบล็อกมวลเบา CT ที่อายุการบ่ม 7 วัน ตามลำดับ เมื่อพิจารณากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบา 6HS3, 6HS4, 6HS5, 10HS3,

Table 3 Compressive strength of lightweight concrete blocks

Samples	Compressive Strength (ksc) (Normalized compressive strength) (%)			
	7 days	28 days	60 days	90 days
CT	57.52±0.40 (100)	85.06±0.41 (100)	97.28±0.42 (100)	105.25±0.31 (100)
6HS3	18.22±0.30 (32)	32.43±0.45 (38)	33.56±0.46 (34)	33.63±0.44 (32)
6HS4	17.43±0.40 (30)	31.10±0.40 (35)	32.11±0.27 (33)	33.21±0.20 (31)
6HS5	16.89±0.27 (29)	29.41±0.30 (35)	32.05±0.14 (33)	32.89±0.33 (31)
10HS3	21.56±0.38 (37)	35.82±0.23 (42)	37.45±0.44 (38)	37.88±0.17 (36)
10HS4	20.68±0.20 (36)	32.19±0.20 (38)	35.55±0.30 (37)	35.98±0.15 (34)
10HS5	19.70±0.38 (34)	29.8±0.22 (35)	29.97±0.43 (31)	31.33±0.38 (30)
25HS3	19.66±0.35 (34)	26.92±0.49 (32)	28.22±0.29 (29)	28.49±0.46 (27)
25HS4	18.14±0.34 (32)	25.12±0.28 (30)	26.76±0.24 (28)	26.92±0.12 (26)
25HS5	15.32±0.35 (27)	22.59±0.36 (27)	25.55±0.38 (26)	25.65±0.30 (24)

10HS4, 10HS5, 25HS3, 25HS4 และ 25HS5 สามารถพัฒนากำลังอัดอยู่ระหว่าง 22.59-35.82 ksc หรือคิดเป็นร้อยละ 27-42 คอนกรีตบล็อกมวลเบา CT ตามลำดับ ในขณะที่อายุการบ่ม 60 วัน คอนกรีตบล็อกมวลเบาที่ผสมแกนกัญชงที่บดย่อยผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 6, 10 และ 25 มม. ในสัดส่วนร้อยละ 3, 4 และ 5 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด มีค่ากำลังอัดอยู่ระหว่าง 25.55-37.45 ksc หรือคิดเป็นร้อยละ 26-38 คอนกรีตบล็อกมวลเบา CT ตามลำดับ ต่อมาที่อายุ 90 วัน คอนกรีตบล็อกมวลเบา 6HS3, 6HS4, 6HS5, 10HS3, 10HS4, 10HS5, 25HS3, 25HS4 และ 25HS5 มีค่ากำลังอัดอยู่ระหว่าง 25.65-37.88 ksc หรือคิดเป็นร้อยละ 24-36 คอนกรีตบล็อกมวลเบา CT ตามลำดับ

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่มีค่ากำลังอัดลดลง เมื่อทำการเพิ่มการแทนที่แกนกัญชงที่บดย่อย ในสัดส่วนร้อยละ 3, 4 และ 5 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด เนื่องจากแกนกัญชงมีช่อง

ว่างในแกนลำต้นมาก จึงมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ และปูนปลาสเตอร์ เมื่อนำไปแทนที่ในปริมาณที่มากขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะทำปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลง [2-3] เนื่องจากซีเมนต์เพสต์จะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานแกนกัญชงให้เข้ากัน อีกทั้งปริมาณของซีเมนต์เพสต์ที่เพียงพอจะไปทำหน้าที่เคลือบผิวแกนกัญชงได้อย่างทั่วถึง ทำให้เกิดการยึดติดกันได้ดี ส่งผลให้ช่องว่างภายในคอนกรีตบล็อกมวลเบาลดลงทำให้ความหนาแน่นมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของคอนกรีตบล็อกมวลเบาดีขึ้น [16] นอกจากนี้เมื่อพิจารณาขนาดของแกนกัญชงที่บดย่อยผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 6, 10 และ 25 มม. พบว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบา ที่ใช้ขนาดแกนกัญชง 10 มม. เป็นส่วนผสม มีค่าความต้านทานแรงอัดมากที่สุด อาจเป็นเพราะขนาด 10 มม. เป็นขนาดที่พอเหมาะจึงมีการผสมเข้ากับส่วนผสมได้ดีกว่าขนาด 6 และ 25 มม. นอกจากนี้ขนาดของแกนกัญชงที่ใหญ่เกินไปส่งผลให้เกิด

การดูดซึมน้ำมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลต่อปริมาณน้ำที่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของคอนกรีตบล็อกมวลเบา [5-6, 8-11, 13]

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัด การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยของคอนกรีตมวลเบา

Figure 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัด การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยของคอนกรีตมวลเบา ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่าบล็อกมวลเบา CT มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 85.06 ksc ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 19.86 และความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 1,250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อพิจารณาคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ (มอก. 2601-2556) พบว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบา CT จัดอยู่ในประเภท C14 ซึ่งกำหนดความต้านทานแรงอัดไม่น้อยกว่า 25.5 ksc การดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 20 และความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1,201-1,400 กก./ลบ.ม. ในขณะที่คอนกรีตบล็อกมวล

เบา 6HS3, 6HS4 และ 6HS5 มีค่ากำลังอัดอยู่ระหว่าง 29.41-32.43 ksc ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 20.25-22.31 และความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 912-962 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อพิจารณาตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 พบว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบา 6HS3, 6HS4 และ 6HS5 จัดอยู่ในประเภท C10 ซึ่งกำหนดความต้านทานแรงอัดไม่น้อยกว่า 25.5 ksc การดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 23 และความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 901-1,000 กก./ลบ.ม. นอกจากนี้เมื่อพิจารณาตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 ชนิด C9 พบว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบา 10HS3, 10HS4 และ 10HS5 มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด ซึ่งมีความต้านทานแรงอัดไม่น้อยกว่า 25.5 ksc ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 23 และมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 801-900 กก./ลบ.ม. ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อพิจารณาคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่ผสมแกนกัญชงที่บดย่อยผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 25 มม. ในสัดส่วนร้อยละ 3, 4 และ 5 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด

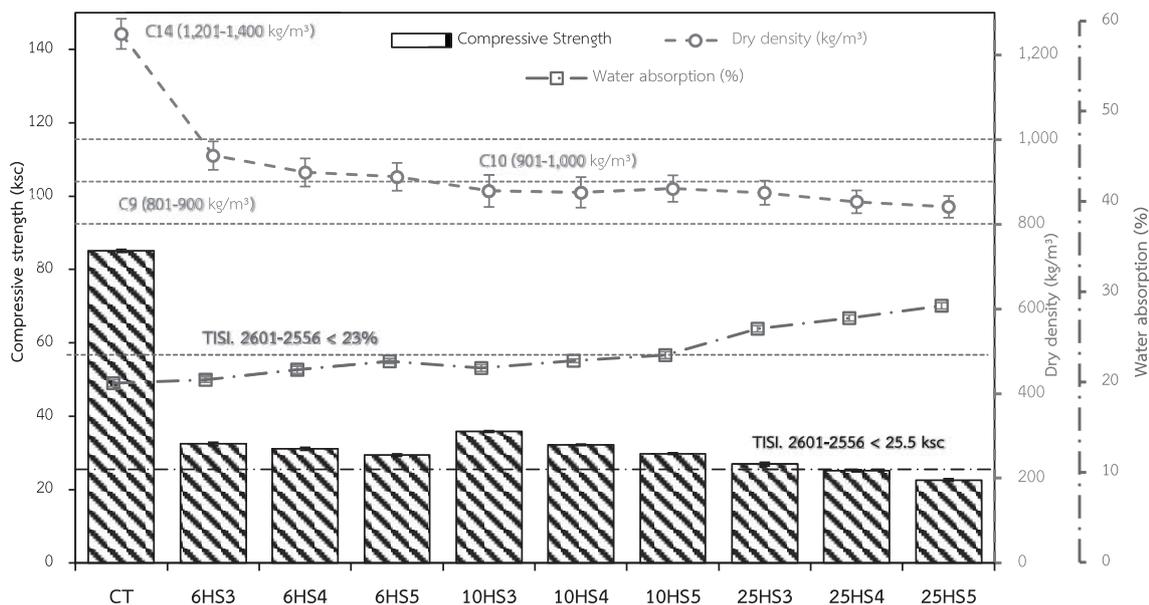


Figure 9 Relationship between compressive strength, water absorption and dry density of lightweight concrete blocks.

หรือคอนกรีตบล็อกมวลเบา 25HS3, 25HS4 และ 25HS5 พบว่าไม่สามารถจัดอยู่ในชนิดตามมาตรฐานได้ เนื่องจากมีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าร้อยละ 25 แม้ว่าบล็อกมวลเบา 25HS3 จะมีความต้านทานแรงอัด และความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมวลเบาอยู่ในชนิด C9 ก็ตาม

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่มีค่ากำลังอัดลดลง เมื่อมีการแทนที่ด้วยแกนกัญชงในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยลดลง [7-10] เนื่องจากคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่ผสมแกนกัญชงในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้ความสามารถในการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของปูนซีเมนต์ลดลง เมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนผสมของแกนกัญชง ทำให้ลักษณะการก่อตัวของคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่มีลักษณะเป็นโพรง และเกิดช่องว่างภายในทำให้ไม่สามารถรับกำลังความต้านทานแรงอัดได้ [13, 16] นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลด้านขนาดของแกนต้นกัญชงพบว่า แกนต้นกัญชงขนาด 10 มม. มีขนาดลักษณะที่เหมาะสมมีความสามารถในการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของปูนซีเมนต์ได้ดี และมีค่าความต้านทานแรงอัดที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยแกนต้นกัญชงขนาด 6 มม. จะมีลักษณะเล็กมาก มีลักษณะเนื้อร่วน เกาะตัวกันแบบหลวม ๆ เนื่องจากการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์พลาสติกในปริมาณที่มาก ทำให้ค่าความต้านทานแรงอัดต่ำลง ในขณะที่แกนต้นกัญชงขนาด 25 มม. จะมีลักษณะที่ใหญ่และยาวจึงทำให้ในการผสมแกนต้นกัญชงในปริมาณที่มากจะทำให้เกิดช่องว่างมากจะมีอากาศเข้าไปแทนที่รูกลวงตรงกลางภายในของแกนต้นกัญชง ความแข็งแรงจึงลดลง ส่งผลทำให้ค่าความต้านทานแรงอัดจะต่ำลงเช่นกัน [2-6, 13]

5. สรุปผล

1. คอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมแกนกัญชงในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้มีแนวโน้มการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น

ขนาดของแกนกัญชงที่ผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิดขนาด 25 มม. ในสัดส่วนร้อยละ 3, 4 และ 5 มีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าเกณฑ์ตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 กำหนด

2. ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมแกนกัญชงมีค่าลดลง เมื่อมีการแทนที่แกนกัญชงในปริมาณที่มากขึ้น ขนาดแกนกัญชงผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิดขนาด 6 และ 10 มม. ในสัดส่วนร้อยละ 3, 4 และ 5 มีความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย ที่อายุ 28 วัน เป็นไปตามเกณฑ์ตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 กำหนด จัดเป็นคอนกรีตบล็อกมวลเบาประเภท C10 และ C9 ตามลำดับ

3. คอนกรีตบล็อกมวลเบาที่มีค่ากำลังอัดลดลง เมื่อมีการแทนที่ด้วยแกนกัญชงในปริมาณที่มากขึ้น ขนาดแกนกัญชงผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิดขนาด 6 และ 10 มม. ในสัดส่วนร้อยละ 3, 4 และ 5 มีค่าความต้านทานแรงอัด ร้อยละการดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย ที่อายุ 28 วัน ผ่านตามเกณฑ์ตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 จัดเป็นคอนกรีตบล็อกมวลเบาประเภท C10 และ C9 ตามลำดับ

4. คอนกรีตบล็อกมวลเบาที่ผสมแกนกัญชงผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิดขนาด 10 มม. ในสัดส่วนร้อยละ 3 หรือคอนกรีตบล็อกมวลเบา10HS3 มีค่ากำลังอัดสูงสุดในขณะที่มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย ที่อายุ 28 วัน ผ่านตามเกณฑ์ตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 จัดเป็นคอนกรีตบล็อกมวลเบาประเภท C10

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ รวมถึงเอื้อเฟื้อสถานที่และนักศึกษาทุกคนที่มีส่วนร่วมในการทำวิจัยครั้งนี้

7. References

- [1] Krungsri Research. Research Intelligence, Hemp: a new economic crop opportunities and challenges, Available Source: <https://www.krungsri.com/th/research/research-intelligence/hemp-2021>, April 15, 2022. (in Thai)
- [2] Pantawee, S., Sinsiri, T., Somna, R., Akkakraisee, S., Kuppattarat, S., 2017, Basic properties of concrete containing hemp shives as coarse aggregate, 12th Annual Concrete Conference, Phetchaburi, MAT95-MAT101. (in Thai)
- [3] Khamput, P., 2019, Interlocking block products from hemp core, 14th Annual Concrete Conference, Prachuap Khiri Khan, ENV-008. (in Thai)
- [4] Khamput, P., 2019, Hollow non-load-bearing concrete block products from hemp core. Thailand Research Expo: Symposium 2019 Proceedings, Bangkok, 434-45. (in Thai)
- [5] Kroehong, W., Haruehansapong, S., 2020, Mechanical Properties, Thermal Conductivity and Microstructure of Hemp Concretes, KMUTT Res. & Dev. J., 43(1): 91-102. (in Thai)
- [6] Sinsiri, T., Thaiying, K., Prastsoong, P., Tangsathit, S., 2020, Sustainability indicators review of hemp shiv as alternative materials for the construction industry in Thailand, The 25th National Convention on Civil Engineering, Chonburi, MAT26-1-MAT26-8. (in Thai)
- [7] Iucolano, F., Liguori, B., Aprea, P. and Caputo, D., 2018, Thermo-mechanical behaviour of hemp fibers-reinforced gypsum plasters. *Constr. Build. Mater.* 185: 256-263.
- [8] Iucolano, F., Boccarusso, L. and Langella, A., 2019, Hemp as eco-friendly substitute of glass fibres for gypsum reinforcement: Impact and flexural behaviour, *Comp. Part B: Eng.* 175: 107073.
- [9] Boccarusso, L., Mocerino, D., Durante, M., Iucolano, F., Minutolo, F.M.C. and Langella, A., 2021, Recyclability Process of Gypsum Reinforced with Hemp Fabrics: Impact and Flexural Behaviour, ESAFORM 2021. 24th International Conference on Material Forming. Online since 30 March 2021.
- [10] Barbieri, V., Gualtieri, M.L., Manfredini, T. and Siligardi, C., 2021, Lightweight concretes based on wheat husk and hemp hurd as bio-aggregates and modified magnesium oxysulfate binder: Microstructure and technological performances, *Constr. Build. Mater.* 284: 122751.
- [11] Sáez-Pérez, M.P., Brümmer, M. and Duran-Suarez, J.A., 2021, Effect of the state of conservation of the hemp used in geopolymer and hydraulic lime concretes. *Constr. Build. Mater.* 285: 122853.
- [12] ASTM C150, 2018, Standard Specification for 364 Portland Cement, American Society for Testing and Materials.

- [13] Khamput, P., 2022, Hempcrete using Cement and Gypsum Plaster as a Binder. J. of Eng., RMUTT, 20(1): 117-125. (in Thai)
- [14] TISI. 2488-2553, 2010, Standard for gypsum molding plaster for ceramic industry, Thai Industrial Standards Institute, Ministry of industry. (in Thai)
- [15] TISI. 2601-2556, 2013, Standard or cellular lightweight concrete blocks using preformed foam, Thai Industrial Standards Institute, Ministry of industry. (in Thai)
- [16] Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., 2012, Cement Pozzolanic and concrete. 7th edition. Thailand Concrete Association, Bangkok, 381 p. (in Thai)