

การผลิตคอนกรีตด้วยเถ้าหนักจากไม้ยางพาราแทนที่มวลรวมละเอียด Production of Concrete Using Rubber Wood Bottom Ash as a Replacement for Fine Aggregate

กิตติ์สุธี แดงช่วย ชาคริต หมาดทึง วิชัยรัตน์ แก้วเจือ และ ธนียา เกาศล*

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา

*Corresponding author; E-mail address: thaniya.k@psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้เถ้าหนักจากการเผาไหม้ไม้ยางพารา เพื่อใช้แทนที่มวลรวมละเอียดสำหรับการผลิตคอนกรีต โดยใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมละเอียดร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก กำหนดกำลังอัดของคอนกรีตในการขึ้นรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร และรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 7.5x7.5x28.5 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 240 และ 320 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร จากผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าหนัก คอนกรีตที่กำลังอัดออกแบบ 240 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร โดยใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมละเอียดพบว่า ทุกสูตรของการแทนที่ที่มีค่ากำลังอัดประลัยผ่านตามเกณฑ์ ส่วนคอนกรีตที่กำลังอัดออกแบบ 320 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตรพบว่า คอนกรีตสูตรการใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมละเอียดร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักให้ค่ากำลังอัดประลัยผ่านตามเกณฑ์ออกแบบ ผลการศึกษาความหนาแน่นของคอนกรีตพบว่า คอนกรีตมีความหนาแน่นลดลงเมื่ออัตราการใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมละเอียดเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตพบว่า คอนกรีตที่กำลังอัดออกแบบ 320 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร มีค่าการหดตัวแบบแห้งที่ต่ำกว่าคอนกรีตที่กำลังอัดออกแบบ 240 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เนื่องจากมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ต่ำกว่า มีปริมาณน้ำในเนื้อคอนกรีตต่ำกว่า ส่งผลให้น้ำระเหยออกจากคอนกรีตได้ยากกว่า สำหรับการดูดซึมน้ำของคอนกรีตพบว่า คอนกรีตที่กำลังอัดออกแบบ 240 และ 320 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร มีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำ โดยคอนกรีตที่กำลังอัดออกแบบ 240 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตรมีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่าคอนกรีตที่กำลังอัดออกแบบ 320 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร แต่ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตทั้งสองแบบ ถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และสามารถนำไปใช้งานโครงสร้างได้ ดังนั้นจากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า เถ้าหนักจากการเผาไหม้ไม้ยางพาราสามารถนำมาใช้แทนที่มวลรวมละเอียดเพื่อการผลิตคอนกรีตได้ โดยคอนกรีตที่กำลังอัดออกแบบ 240 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร สามารถใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมละเอียดได้สูงสุดถึงร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ขณะที่คอนกรีตที่กำลังอัดออกแบบ 320 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตรสามารถใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมละเอียดได้สูงสุดร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

คำสำคัญ: เถ้าหนัก, ไม้ยางพารา, คอนกรีต, กำลังอัด, มวลรวมละเอียด

Abstract

This research aims to investigate the optimal ratio for using rubberwood bottom ash as a replacement for fine aggregate in concrete production. The study replaced fine aggregate with

bottom ash at 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50% by weight. The compressive strength was determined for concrete shape into cubes of 15x15x15 cm and prisms of 7.5x7.5x28.5 cm, with design compressive strengths of 240 and 320 kg/cm². The results indicated that the compressive strength of the concrete decreased as the replacement ratio of fine aggregate with bottom ash increased. For the 240 kg/cm² design compressive strength concrete, all replacement ratios met the required compressive strength criteria. However, for the 320 kg/cm² design compressive strength concrete, only the concrete with 0%, 10%, 20%, and 30% replacement ratios met the criteria. The study showed that the density of concrete decreased as the proportion of bottom ash increased. Regarding dry shrinkage, the 320 kg/cm² concrete exhibited lower dry shrinkage compared to the 240 kg/cm² concrete due to its lower water-to-binder ratio, which reduced the amount of water in the mix and hindered evaporation. The water absorption results indicated that both the 240 kg/cm² and 320 kg/cm² concrete had low absorption rates, with the 240 kg/cm² concrete showing slightly higher absorption than the 320 kg/cm² concrete. However, the water absorption values for both types were within acceptable standards, making them suitable for structural applications. In conclusion, the results indicate that rubberwood bottom ash can be used as a substitute for fine aggregate in concrete production. Concrete with a design compressive strength of 240 kg/cm² can accommodate up to 50% replacement by weight, while concrete with a design compressive strength of 320 kg/cm² can accommodate up to 30% replacement by weight.

Keywords: bottom ash, rubberwood, concrete, compressive, strength, fine aggregate

1. คำนำ

ปัจจุบัน ไม้ยางพารา (Rubber wood) เรียกตามภาษาพฤกษศาสตร์ว่า *Hevea Brasiliense* เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย โดยประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกยางพารามากเป็นอันดับสองของโลก คิดเป็นพื้นที่เพาะปลูกไม่น้อยกว่า 22 ล้านไร่ ทั้งนี้ภาคใต้ถือเป็นแหล่งผลิตหลักและมีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดในประเทศ [1] เมื่อไม้ยางพาราหมดอายุการให้ผลผลิตน้อยลง ช่วงอายุ 25-30 ปี เกษตรกรจะทำการโค่นต้นยางพาราเก่า

เพื่อจำหน่ายให้แก่อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง โดยในแต่ละปีมีการโค่นต้นยางพาราประมาณ 400,000 ไร่ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ เช่น อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ กระบวนการผลิตเหล่านี้นำไปผลิตให้เกิดเศษไม้ยางพารา ซึ่งมักถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า กระบวนการดังกล่าวก่อให้เกิดผลพลอยได้ในรูปของเถ้าไม้ยางพารา [2]

เถ้าไม้ยางพารา (Rubber wood ash) เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเผาเศษไม้ยางพาราที่อุณหภูมิประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า ในกระบวนการดังกล่าวพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้จะถูกถ่ายเทไปยังหม้อไอน้ำ (Boiler) เพื่อผลิตไอน้ำสำหรับปั่นกังหัน ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้า ภายหลังการเผาไหม้ จะเกิดเถ้าจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยเถ้าที่มีขนาดใหญ่หรือเถ้าหนัก (Bottom ash) จะตกลงสู่ก้นเตา ในขณะที่เถ้าลอย (Fly ash) ซึ่งมีขนาด 1-200 ไมครอน จะลอยปะปนไปกับอากาศร้อน และถูกดักจับโดยเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator) เพื่อแยกฝุ่นออกจากก๊าซร้อน ก่อนปล่อยอากาศออกทางปล่องควัน ทั้งนี้เถ้าลอยที่เกิดขึ้นร้อยละ 80-95 ของเถ้าทั้งหมด [2-3]

เถ้าจากไม้ยางพาราเริ่มมีการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่หลายอย่าง ได้แก่ การผลิตกระเบื้อง [4] รวมทั้งมีการนำเถ้าจากไม้ยางพารามาผสมกับของเสียอุตสาหกรรมแร่ เช่น ผงหินอ่อน [5] หินฝุ่นแกรนิต [6] เศษเบ้าเซรามิก [7] หินฝุ่นแอนติไซด์ [8] ทางแร่ดินขาว [9-10] เพื่อผลิตอิฐดินเผากระเบื้องเซรามิกมวลเบา และมวลรวมน้ำหนักเบา

ทวิช และคณะ (2563) [11] มีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากเถ้าไม้ยางพาราในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น พบว่า การเพิ่มปริมาณเถ้าไม้ยางพารา ทำให้ค่ากำลังอัดลดลง และมีการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้น โดยใช้เถ้าไม้ยางพาราแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ร้อยละ 10 และ 20 ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 827-2531 และ มอก. 2035-2543 ตามลำดับ นอกจากนี้ อาปีเต็ง และธนพล (2551) [12] ได้ทำการศึกษาสมบัติของคอนกรีตมวลเบาหินปัมผสมเถ้าไม้ยางพาราและเถ้ากลบ ผลการศึกษาพบว่า เถ้าไม้ยางพารามีองค์ประกอบของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 41.19 ซึ่งส่งผลต่อสมบัติด้านกำลังอัด

งานวิจัยของชินวิญญ์ และปารเมศ (2561) [13] มีการพัฒนาคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเถ้าชีวมวลไม้ยางพาราและใยผักตบชวา ผลการศึกษาพบว่า เมื่ออัตราส่วนผสมปริมาณของเถ้าชีวมวลไม้ยางพาราและเส้นใยธรรมชาติเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านแรงอัดคอนกรีตบล็อกลดลงตามสัดส่วนผสม และสามารถนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักให้แข็งแรงได้ โดยการใช้เถ้าชีวมวลไม้ยางพาราและผักตบชวาในอัตราส่วนที่เหมาะสม ยังช่วยสนับสนุนแนวคิดสถาปัตยกรรมสีเขียว และช่วยลดภาระของกากอุตสาหกรรมและผักตบชวาที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

ทวิชศักดิ์ และคณะ (2565) [14] ทำการศึกษากำลังของคอนกรีตผสมเถ้าไม้ยางพาราสำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างสำเร็จรูป โดยใช้เถ้าลอยไม้ยางพาราแทนที่ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน และใช้เศษพลาสติกย่อยในการแทนที่มวลรวมที่อัตราส่วนร้อยละ 25 โดยปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมด อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5 เติมน้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำอย่างมาก เพื่อควบคุมค่ายุบตัวและความสามารถเทได้ของคอนกรีต ผลการศึกษาพบว่า กำลังต้านทานแรงอัด แรงดัด และแรงดึง ที่อายุบ่ม 28 วัน ของคอนกรีตมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณของเถ้าลอยจากไม้ยางพาราในส่วนผสมคอนกรีต คอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยจากไม้ยางพาราร้อยละ 20 ผ่าน

เกณฑ์ของ มยพ.1101-64 ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นคนกริตสำหรับชิ้นส่วนสำเร็จรูปได้

จรรยพร และคณะ (2566) [15] ทำการพัฒนาคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเถ้าโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยนำมาทดแทนสัดส่วนปูนซีเมนต์และทดแทนสัดส่วนทราย ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้เถ้าชีวมวลแทนที่ทรายคือ ร้อยละ 40 มีกำลังรับแรงอัด 2.61 เมกะปาสกาล โดยคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ผลิตได้มีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง เป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาเพิ่มมูลค่า และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วยการลดปูนซีเมนต์และทราย

ถาวร และคณะ (2565) [16] ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์เถ้าหนักจากอุตสาหกรรมไม้อัดเป็นมวลรวมในคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการแทนที่หินปูนด้วยเถ้าหนักจากไม้ยางพารามีผลต่อค่ากำลังอัดเฉลี่ย ความหนาแน่น และการดูดกลืนน้ำ เมื่ออัตราส่วนเถ้าหนักไม้ยางพาราเพิ่มขึ้นทำให้กำลังอัดและความหนาแน่นลดลง แต่การดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้น อัตราส่วนผสมที่ผ่านมาตรฐาน มอก.58-2560 และเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ สำหรับคอนกรีตบล็อกกลวงในงานผนังไม่รับน้ำหนักคือ ส่วนผสมปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกต่อมวลรวมที่ 1:6 โดยทำการแทนที่เถ้าหนักไม้ยางพาราร้อยละ 50 และ W/C เท่ากับ 0.7

ปัจจุบันพบว่าปริมาณเถ้าหนักไม้ยางพารามีปริมาณมากในอุตสาหกรรม และยังมีการศึกษาถึงความสามารถใช้เถ้าไม้ยางพาราแทนที่บางส่วนในส่วนผสมของคอนกรีตซึ่งยังไม่มากนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำเถ้าหนักไม้ยางพารากลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ด้วยการแทนที่มวลรวมละเอียดในการผลิตคอนกรีต เนื่องจากมวลรวมเป็นวัสดุที่ใช้ในการผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำ คอนกรีตจะมีมวลรวมเป็นองค์ประกอบร้อยละ 70-80 ของคอนกรีต ทำให้มวลรวมส่งผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ดังนั้นการนำเถ้าหนักไม้ยางพารามาใช้ผลิตคอนกรีต ส่งผลให้เกิดการกำจัดเถ้าหนักไม้ยางพาราอย่างมีประสิทธิภาพ ลดต้นทุนการกำจัดกากอุตสาหกรรม และมีผลประโยชน์ต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อมด้วย รวมทั้งเป็นการสร้างงานวิจัยเพื่อพัฒนาเชิงพื้นที่และก่อให้เกิดคุณค่าทางเศรษฐกิจต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เถ้าหนักจากการเผาไหม้ไม้ยางพารา (รูปที่ 1) มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด ดำเนินการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C33 [17] ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ตาม ASTM C188 [18] โมดูลัสความละเอียด (Fineness modulus) ตาม ASTM C136-06 [19] และความหนาแน่นอัดแน่น ตาม ASTM C29 [20]



รูปที่ 1 เล้าหนักจากไม้ยางพารา

2.2 การขึ้นรูปคอนกรีต

การขึ้นรูปคอนกรีตด้วยเล้าหนักจากไม้ยางพาราแทนที่มวลรวมละเอียด โดยการกำหนดค่ากำลังอัดที่ต้องการที่ 240 ksc และ 320 ksc ทำการแทนที่ทรายด้วยเล้าหนักจากไม้ยางพารา ที่ร้อยละการแทนที่มวลรวมละเอียดคือ ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยขึ้นรูปแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร และแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 7.5x7.5x28.5 เซนติเมตร ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ชิ้น

2.3 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต

การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเล้าหนักแทนที่มวลรวมละเอียด ได้แก่ ทดสอบค่าความหนาแน่นของคอนกรีต ตาม ASTM C642 [21] ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีต ตาม ASTM C642 [21] ค่ากำลังอัดของคอนกรีต ตาม ASTM C403 [22] และการหัดตัวแบบแห้ง ตาม ASTM C157 [23]



รูปที่ 2 คอนกรีตผสมเล้าหนักจากไม้ยางพาราแทนที่มวลรวมละเอียด

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เล้าหนักจากการเผาไหม้ยางพารา มวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียด ซึ่งทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 1 ผลการทดสอบพบว่า ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมคอนกรีตในงานวิจัยเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้ทั่วไปไม่ต้องการคุณภาพพิเศษ พบว่า มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.06

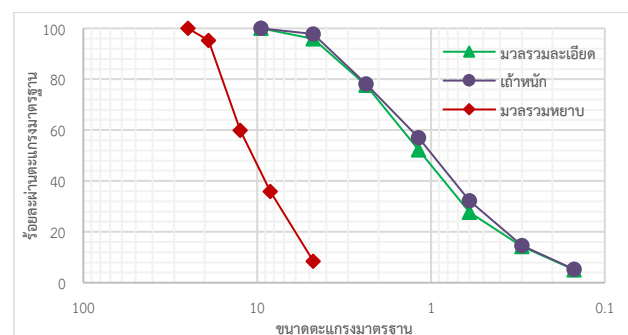
วัสดุมวลรวมหยาบเป็นวัสดุมวลรวมที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 mm ขึ้นไป หรือที่ไม่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ได้แก่ หินหรือ

กรวด พบว่า มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.86 โมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 6.60 และความหนาแน่นอัดแน่นเท่ากับ 1,560 kg/m³ ส่วนวัสดุมวลรวมละเอียดเป็นวัสดุมวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 mm หรือเป็นเม็ดที่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ทั้งนี้ต้องมีขนาดเล็กกว่า 0.07 mm พบว่า มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.65 โมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 3.27 และความหนาแน่นอัดแน่นเท่ากับ 1,716 kg/m³ และเล้าหนักจากการเผาไหม้ยางพารา พบว่า มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.36 โมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 3.15 และความหนาแน่นอัดแน่นเท่ากับ 1,110 kg/m³

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีต [11]

คุณสมบัติ	ปูนซีเมนต์	มวลรวมหยาบ	มวลรวมละเอียด	เล้าหนักไม้ยางพารา
ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	3.06	2.86	2.65	2.36
โมดูลัสความละเอียด (Fineness modulus)	-	6.60	3.27	3.15
ความหนาแน่นอัดแน่น (Unit weight) (kg/m ³)	-	1,560	1,716	1,110

ผลการศึกษาคะลของมวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด และเล้าหนักจากไม้ยางพารา (รูปที่ 3) พบว่า การกระจายตัวของมวลรวมหยาบจะมีขนาดใหญ่ที่สุด โดยมวลรวมหยาบมีร้อยละของน้ำหนักที่ผ่านตะแกรงเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของ ASTM มวลรวมละเอียดมีขนาดใหญ่ที่สุดอยู่ที่ตะแกรงเบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 และ 100 ตามลำดับ ซึ่งร้อยละของมวลรวมละเอียดที่ผ่านตะแกรงเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM ส่วนเล้าหนักจากไม้ยางพารามีขนาดใหญ่ที่สุดอยู่ที่ตะแกรงเบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 และ 100 ตามลำดับ เล้าหนักจากไม้ยางพารามีร้อยละน้ำหนัที่ผ่านตะแกรงเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM ยกเว้นตะแกรงเบอร์ 8 น้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานฯ เมื่อเปรียบเทียบผลของขนาดคละระหว่างมวลรวมละเอียดกับเล้าหนักจากไม้ยางพารา พบว่า เล้าหนักจากไม้ยางพารามีขนาดคละที่ใกล้เคียงกับมวลรวมละเอียด ส่งผลให้สามารถนำเล้าหนักจากไม้ยางพารามาใช้แทนที่มวลรวมละเอียดในการผลิตคอนกรีตได้



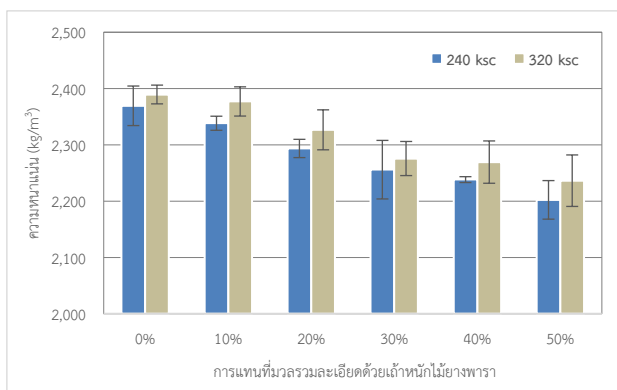
รูปที่ 3 ขนาดคละของมวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด และเล้าหนักจากไม้ยางพารา

3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเล้าหนักไม้ยางพาราแทนที่มวลรวมละเอียด

คอนกรีตผสมเล้าหนักไม้ยางพาราแทนที่มวลรวมละเอียด ที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ที่ขึ้นรูปแล้วนำมาบ่มที่ระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน แล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตดังนี้

3.2.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตผสมเถ้าหนักไม้ ยางพาราแทนที่มวลรวมละเอียด

ผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตผสมเถ้าหนักจากไม้ยางพาราแทนที่มวลรวมละเอียด ที่มีการกำหนดค่ากำลังอัดออกแบบที่ 240 และ 320 ksc และทำการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าหนักจากไม้ยางพารา ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ทำการบ่มที่ระยะเวลา 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่า ความหนาแน่นของคอนกรีตผสมเถ้าหนักจากไม้ยางพาราเมื่ออายุบ่ม 28 วัน มีค่าอยู่ในช่วง $2,202 \pm 34$ - $2,369 \pm 35$ kg/m³ และ $2,236 \pm 46$ - $2,389 \pm 17$ kg/m³ สำหรับคอนกรีตค่ากำลังอัดออกแบบที่ 240 และ 320 ksc ตามลำดับ โดยคอนกรีตค่ากำลังอัดออกแบบที่ 320 ksc ให้ค่าความหนาแน่นสูงกว่าคอนกรีตค่ากำลังอัดออกแบบที่ 240 ksc และความหนาแน่นของคอนกรีตผสมเถ้าหนักจากไม้ยางพารามีแนวโน้มลดลงตามร้อยละการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าหนักจากไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้น ทั้งคอนกรีตค่ากำลังอัดออกแบบที่ 240 และ 320 ksc มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของถาวร และคณะ [16]



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของคอนกรีตกับร้อยละการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าหนักจากไม้ยางพารา

3.2.2 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตผสมเถ้าหนักไม้ ยางพาราแทนที่มวลรวมละเอียด

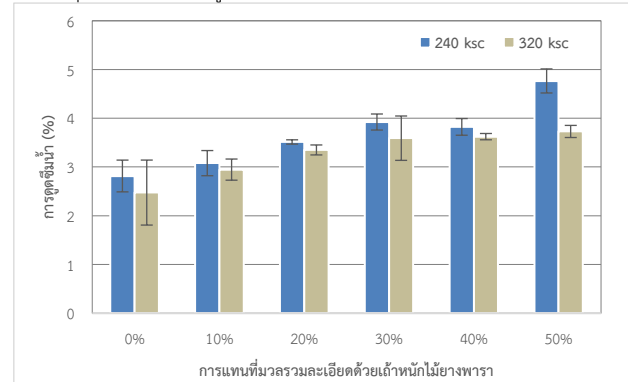
ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตผสมเถ้าหนักจากไม้ยางพารา ที่มีการกำหนดค่ากำลังอัดออกแบบที่ 240 และ 320 ksc และทำการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ทำการบ่มที่ระยะเวลา 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตอยู่ในช่วงร้อยละ 2.82 ± 0.33 - 4.77 ± 0.25 และร้อยละ 2.48 ± 0.67 - 3.73 ± 0.12 สำหรับคอนกรีตค่ากำลังอัดออกแบบที่ 240 และ 320 ksc ตามลำดับ การดูดซึมน้ำของคอนกรีตค่ากำลังอัดออกแบบ 240 ksc มีอัตราการดูดซึมน้ำสูงกว่าคอนกรีตค่ากำลังอัดออกแบบ 320 ksc ทำให้คอนกรีตที่ค่ากำลังอัดออกแบบ 320 ksc มีการเชื่อมประสานภายในมากกว่า ส่งผลให้มีการดูดซึมน้ำที่น้อยกว่าเนื่องจากมีขนาดโพรงที่เล็กกว่า

โดยค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณร้อยละการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าหนักจากไม้ยางพารา ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของทวิช และคณะ [11] และถาวร และคณะ [16]

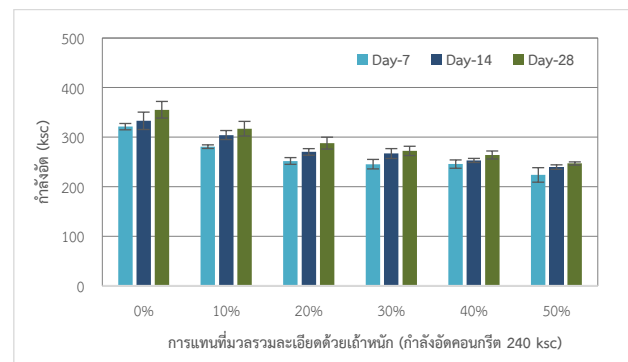
3.2.3 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมเถ้าหนักไม้ ยางพาราแทนที่มวลรวมละเอียด

ผลการทดสอบหาค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมเถ้าหนักจากไม้ยางพารา ที่มีการกำหนดค่ากำลังอัดออกแบบที่ 240 และ 320 ksc และทำ

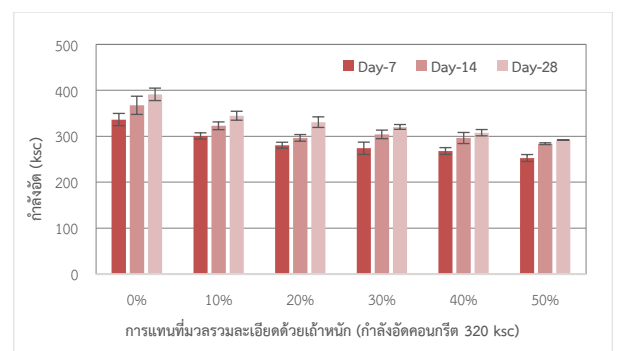
การแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ทำการบ่มที่ระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 6-8 พบว่า กำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมเถ้าหนักจากไม้ยางพาราแทนที่มวลรวมละเอียดที่ค่ากำลังอัดออกแบบ 240 และ 320 ksc มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ ค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น (รูปที่ 6-7)



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำของคอนกรีตกับร้อยละการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าหนักจากไม้ยางพารา



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตกับร้อยละการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าหนักจากไม้ยางพารา (กำลังอัดออกแบบคอนกรีต 240 ksc)

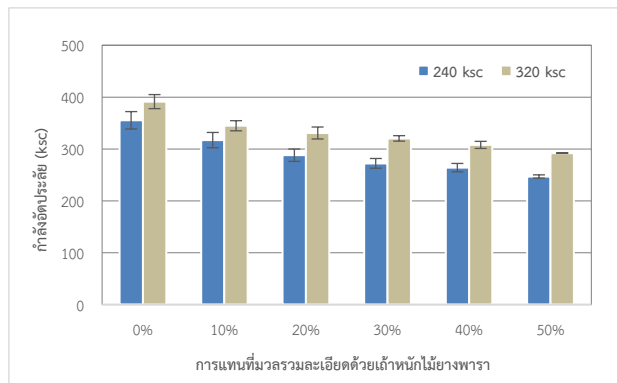


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำของคอนกรีตกับร้อยละการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าหนักจากไม้ยางพารา (กำลังอัดออกแบบคอนกรีต 320 ksc)

สำหรับค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมเถ้าหนักจากไม้ยางพาราเมื่ออายุบ่ม 28 วัน ของคอนกรีตผสมเถ้าหนักจากไม้ยางพาราที่มีค่ากำลังอัดออกแบบที่ 240 ksc มีค่าเท่ากับ 355 ± 16.8 , 317 ± 14.8 , 288 ± 12 , 272 ± 9.4 , 264 ± 8.1 และ 247 ± 3.2 ksc ที่ร้อยละการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าหนักจากไม้ยางพารา เท่ากับร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ สำหรับค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตผสมเถ้าหนัก

จากไม้ยางพาราเมื่ออายุบ่ม 28 วัน ของคอนกรีตผสมเถ้าหนักจากไม้ยางพาราที่มีค่ากำลังอัดออกแบบที่ 320 ksc มีค่าเท่ากับ 391 ± 13.6 , 345 ± 9.7 , 331 ± 11.6 , 320 ± 5.2 , 308 ± 6.9 และ 292 ± 0.5 ksc ที่ร้อยละของการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าหนักจากไม้ยางพารา เท่ากับ ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ

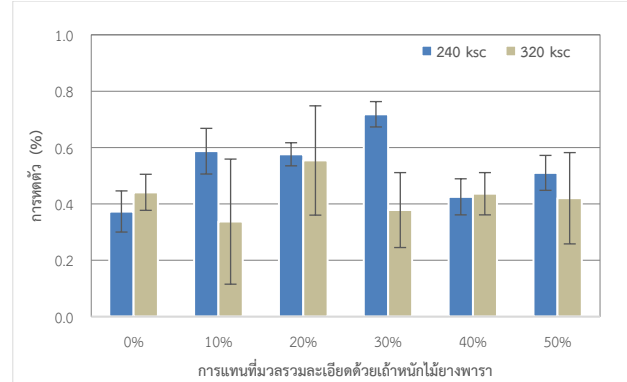
จากผลการทดลองพบว่า ค่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าหนักจากไม้ยางพาราทั้งสองค่ากำลังอัดออกแบบพบว่ามีความโน้มถ่วงลง เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณร้อยละการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าหนักจากไม้ยางพารา (รูปที่ 8) ซึ่งผลการศึกษาชี้ให้เห็นแนวโน้มสอดคล้องกับงานวิจัยของทวิช และคณะ [11] และงานวิจัยของถาวร และคณะ [16] ด้วย



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของคอนกรีตกับร้อยละการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าหนักจากไม้ยางพารา

3.2.4 ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตผสมเถ้าหนักไม้ยางพาราแทนที่มวลรวมละเอียด

ผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคอนกรีต เนื่องจากการสูญเสียน้ำระเหยออกสู่สิ่งแวดล้อม หรือเกิดจากปฏิกิริยาเคมี ได้แก่ การสูญเสียน้ำจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน เป็นต้น พบว่า ค่าการหดตัวของคอนกรีตผสมเถ้าหนักจากไม้ยางพารา ที่มีการกำหนดค่ากำลังอัดออกแบบที่ 240 และ 320 ksc และทำการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าหนัก ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ทำการบ่มที่ระยะเวลา 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 9 ส่งผลให้การหดตัวของคอนกรีตผสมเถ้าหนักจากไม้ยางพาราแทนที่มวลรวมละเอียดที่กำลังอัดออกแบบ 240 และ 320 ksc มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.373 ± 0.073 ถึง 0.718 ± 0.045 และร้อยละ 0.337 ± 0.222 ถึง 0.554 ± 0.194 ตามลำดับ พบว่าโดยส่วนใหญ่การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตที่กำลังอัดออกแบบ 240 ksc มีค่าร้อยละของการหดตัวสูงกว่าที่กำลังอัดออกแบบ 320 ksc เนื่องจากมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่สูงกว่า ทำให้น้ำในคอนกรีตสามารถระเหยออกได้ง่ายกว่า และคอนกรีตผสมเถ้าหนักจากไม้ยางพาราแทนที่มวลรวมละเอียดมีการหดตัวที่มากกว่าคอนกรีตแบบไม่ผสมเถ้าหนักจากไม้ยางพารา อีกด้วย เนื่องจากเถ้าหนักจากไม้ยางพาราที่แทนที่มวลรวมละเอียดนั้นมีการดูดซึมน้ำที่สูงกว่ามวลรวมละเอียด



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวของคอนกรีตกับร้อยละการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเถ้าหนักจากไม้ยางพารา

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการผลิตคอนกรีตด้วยเถ้าหนักจากไม้ยางพาราแทนที่มวลรวมละเอียด โดยการนำเถ้าหนักที่เกิดจากการเผาไหม้ไม้ยางพารามาแทนที่มวลรวมละเอียดที่อัตราส่วน ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก เพื่อผสมขึ้นรูปคอนกรีต โดยกำหนดกำลังอัดออกแบบของคอนกรีตผสมเถ้าหนักเท่ากับ 240 และ 320 ksc สามารถสรุปได้ว่า กำลังอัดของคอนกรีต ความหนาแน่นของคอนกรีตผสมเถ้าหนักไม้ยางพาราแทนที่มวลรวมละเอียดมีความโน้มถ่วงลง เมื่ออัตราส่วนของการแทนที่ของเถ้าหนักไม้ยางพาราเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตผสมเถ้าหนักไม้ยางพาราแทนที่มวลรวมละเอียดมีความโน้มถ่วงเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนของการแทนที่ของเถ้าหนักไม้ยางพาราเพิ่มขึ้น จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าสามารถนำเถ้าหนักจากไม้ยางพารามาทดแทนมวลรวมละเอียดได้ โดยสามารถแทนที่ได้ถึงร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก สำหรับคอนกรีตที่กำลังอัดออกแบบ 240 ksc และร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก สำหรับคอนกรีตที่กำลังอัดออกแบบ 320 ksc ถือว่าเป็นการนำเถ้าหนักไม้ยางพารากลับมาใช้ประโยชน์ได้ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดเถ้าหนักได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] คณะกรรมการพัฒนาคุณภาพด้านการเกษตร (2564). ยางพารา 2564. สืบค้น <http://www.oae.go.th>.
- [2] อาปิติน ดะแซสาเมาะ, จินดา มะมิง, โนรีสะ ราแดง และ ยาเซ็ง อาแว (2554). สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของอิฐที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพารา, วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา, 25-35.
- [3] ปริญญ์ จินดาประเสริฐ (2547). เถ้าลอยในงานคอนกรีต. สมาคมคอนกรีตไทย, กรุงเทพฯ, 110 หน้า.
- [4] จิตติรัตน์ นิลวิจิตร, ชูไวยะห์ มะหมิน และ อาแอเสาะ ยูโซ๊ะ (2558). การผลิตกระเบื้องจากซีเมนต์เถ้าไม้ยางพารา. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา, 80 หน้า.
- [5] ดนุพล ตันนโยภาส และ ภาณุมาศ ณ พัทลุง (2540). อิฐผงหินอ่อนและซีเมนต์เถ้าไม้ยางพารา. การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2540 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพฯ, หน้า 322-329.

- [6] Tonayopas, D., Kooptarnond, K. and Masae, M. (2009). Effect of firing temperature and para rubber wood ash on the quarry granite waste roofing tiles body. *4th International Conference on Engineering Technology- ICET 2009*, April 28-30, Hotel Park, Novi Sad, Serbia, 257-262.
- [7] ดนุพล ตันนโยภาส, วิลาวรรณ ศิลป์สอน และ สุชาติ จันทรณีย์ (2555). การเตรียมกระเบื้องมวลเบาด้วยเศษเบ้าเซรามิกถุงมือชำรุดผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราและหางแร้ดินขาว. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 17(3), หน้า 250-258.
- [8] เสาวภา ชูศรี, ดนุพล ตันนโยภาส และ สุชาติ จันทรณีย์ (2556). การผลิตกระเบื้องเซรามิกและกระเบื้องมวลเบาจากหินปูนแอนดิสไซด์ผสมเถ้าไม้ยางพารา. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 3(1), หน้า 70-83.
- [9] ดนุพล ตันนโยภาส, กัลยาณี คุปตานนท์, หทัยทิพย์ พันธุ์ธิดา และ สุชาติ จันทรณีย์ (2557). กระเบื้องเซรามิกมวลเบาชนิดใหม่ทำจากหางแร้ดินขาวและเถ้าลอยไม้ยางพารา. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี*, 7(1), หน้า 70-82.
- [10] ดนุพล ตันนโยภาส, กัลยาณี คุปตานนท์ และ ณัฐพงศ์ ย้อยยงทอง (2554). สมบัติของกระเบื้องมวลเบาลงผลิตด้วยผงแก้วใสกับหางแร้ดินขาว. *การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่โลหะการและปิโตรเลียม ครั้งที่ 9*, โรงแรมมณเฑียร ริเวอร์ไซด์, กรุงเทพฯ, หน้า 249-254.
- [11] ทวีช กล้าแท้, นกตล ศรภักดี, ชัยณัฐ บัวทองเกื้อ และ ณุพล ตีดาช (2563). การใช้ประโยชน์จากเถ้าไม้ยางพาราในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, 12(1), 36-48.
- [12] อาบีเต็ง ฮาวา และ ดนุพล ตันนโยภาส (2551). ผลกระทบของเถ้าลอยไม้ยางพาราที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตมวลรวมผสมขี้เถ้า. *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6*, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, หน้า 43-48.
- [13] ชินวิทย์ วัชรอินทร์ และ ปารเมศ กำแหงฤทธิ์รงค์ (2561). การพัฒนาคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเถ้าชีวมวลไม้ยางพาราและใยผักตบชวา. *การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 3*, 18-20 กรกฎาคม 2561, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล, หน้า 1-10.
- [14] ทวีศักดิ์ ทองขวัญ, นันทชัย ชูศิลป์ และ จุฑามาศ ลักษณะกิจ (2565). กำลังของคอนกรีตผสมเถ้าไม้ยางพาราสำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างสำเร็จรูป. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27*, 24-26 สิงหาคม 2565, เชียงราย, หน้า MAT09-1 ถึง MAT09-7.
- [15] จรรย์พร หลู่จิ่ง, ภคมน ปินตานา, นิกราน หอมดวง และ ธเนศ ไชยชนะ (2566). การพัฒนาคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจากเถ้าโรงไฟฟ้าชีวมวล. *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์*, 18(1), 139-155.
- [16] ถาวร เกื้อสกุล, จุฑามาศ ลักษณะกิจ และนันทชัย ชูศิลป์ (2565). การใช้ประโยชน์เถ้าหนักจากอุตสาหกรรมไม้อัดเป็นมวลรวมในคอนกรีตบล็อกกลวงไม่รับน้ำหนัก. *โครงการวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา*.
- [17] ASTM C33 (2023). *Standard specification for concrete aggregates*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [18] ASTM C188 (2017). *Standard test method for density of hydraulic cement*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [19] ASTM C136-06 (2006). *Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [20] ASTM C29-07 (2010). *Standard test method for bulk density (Unit weight) and voids in aggregate*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [21] ASTM C642-06 (2006). *Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [22] ASTM C403/C403M-08 (2017). *Standard test method for time of setting of concrete mixtures by penetration resistance*. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [23] ASTM C157 (2024). *Standard test method for length change of hardened hydraulic-cement mortar and concrete*. ASTM International, West Conshohocken, PA.