



บล็อกประสานปูพื้นจากเถ้าขานอ้อยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ใช้ทรายและกากแร่แคลไซด์เป็นมวลรวมละเอียด

Concrete Paving Block Using Bagasse Ash and Calcium Carbide Residue with Sand and Calcite Residue as Fine Aggregate

รัฐพล สมนา¹ ประชุม คำพุ่ม² และเกียรติสุดา สมนา^{1*}

¹สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองนครราชสีมา นครราชสีมา 30000

²ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ที่ 1 ถนนรังสิต - นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง ปทุมธานี 12110

Kiatsuda Somna¹, Prachoom Khamput² and Rattapon Somna^{1*}

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan

744 Suranarai Road, Nai Mueang Subdistrict, Mueang District, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

39 Moo 1, Rangsit - Nakhon Nayok Road, Khlong Hok Subdistrict, Khlong Luang District, Pathum Thani 12110, Thailand

*ผู้รับผิดชอบบทความ: kiatsuda.so@rmu.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 08-6512-6468

Received: 22 May 2024, Revised: 20 September 2024, Accepted: 13 November 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นศึกษาบล็อกประสานปูพื้นจากเถ้าขานอ้อยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ใช้ทรายและกากแร่แคลไซด์เป็นมวลรวมละเอียด เถ้าขานอ้อยเป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าชีวมวล กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นของเสียที่ได้จากโรงงานผลิตก๊าซอะเซทีลีน และกากแร่แคลไซด์ได้จากเหมืองแร่หินปูน บล็อกประสานปูพื้นใช้อัตราส่วนวัสดุประสานต่อมวลรวมเท่ากับ 1:3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานระหว่าง 0.45 – 0.63 โดยน้ำหนัก เถ้าขานอ้อยต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เท่ากับ 90:10 70:30 และ 50:50 โดยน้ำหนัก และใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10, 20 และ 80 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานสำหรับเถ้าขานอ้อยต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อัตราส่วน 70:30 โดยน้ำหนัก จากนั้นศึกษาผลกระทบของการใช้กากแร่แคลไซด์เป็นมวลรวมละเอียดแทนทราย โดยใช้อัตราส่วนเถ้าขานอ้อยต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เท่ากับ 70:30 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนทรายต่อกากแร่แคลไซด์ เท่ากับ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปเป็นบล็อกประสานปูพื้นด้วยมือ ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 3 7 14 และ 28 วัน และทดสอบค่าการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน จากผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนเถ้าขานอ้อยต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เท่ากับ 70:30 โดยน้ำหนัก และใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก ให้ค่ากำลังอัดสูงสุด และมีค่าการดูดน้ำซึมน้ำต่ำที่สุด เมื่อใช้กากแร่แคลไซด์เป็นมวลรวมละเอียด พบว่า อัตราส่วนทรายต่อกากแร่แคลไซด์ เท่ากับ 0:100 โดยน้ำหนัก ให้ค่ากำลังอัดสูงสุด แต่ยังคงมีค่ากำลังอัดที่ต่ำกว่าการใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียด แม้กระนั้นก็ตาม กำลังอัดของบล็อกประสานปูพื้นจากเถ้าขานอ้อยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ยังมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ตาม มอก. 827-2565 แต่ยังสามารถรับกำลังอัดได้มากกว่า 17 เมกะปาสกาล แนะนำให้นำไปใช้สำหรับงานที่ไม่รับกำลังอัดสูง นอกจากนี้ ยังเป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งในภาคอุตสาหกรรม ลดการใช้ปูนซีเมนต์ ลดต้นทุนการผลิต และเป็นแนวทางในการจัดการของเสียในสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง



คำสำคัญ เถ้าขานอ้อย กากแคลเซียมคาร์ไบด์ กากแรกกากแร่แคลไซด์ บล็อกประสานปูน

Abstract

This research focuses on the development of concrete paving blocks using bagasse ash and calcium carbide residue as binders, with sand and calcite residue as fine aggregates. Bagasse ash is a by-product from biomass power plants, calcium carbide residue is a waste material from acetylene gas production, and calcite residue is obtained from limestone mining. The concrete paving blocks were produced using a binder-to-aggregate ratio of 1:3 by weight and a water-to-binder ratio from 0.45 to 0.63. The ratios of bagasse ash to calcium carbide residue used were 90:10, 70:30, and 50:50 by weight. Additionally, ordinary Portland cement was incorporated at 10%, 20%, and 80% by weight of the binder for the 70:30 mixture. The effects of using calcite residue as a fine aggregate replacement for sand were investigated using sand-to-calcite residue ratios of 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, and 0:100 by weight, based on a binder ratio of bagasse ash to calcium carbide residue of 70:30. The concrete paving blocks were hand-formed and tested for compressive strength at the ages of 3, 7, 14, and 28 days, and for water absorption at 28 days. The results indicate that the 70:30 mixture of bagasse ash to calcium carbide residue with 80% cement replacement achieved the highest compressive strength and lowest water absorption. When calcite residue was used as the fine aggregate, the 0:100 sand-to-calcite residue ratio provided the highest compressive strength among the replacement levels, although it remained lower than when using sand alone. Although the compressive strength of these concrete paving blocks did not meet the standard requirements of TIS 827-2565, they still exceeded 17 MPa, making them suitable for non-load-bearing applications. This study demonstrates a practical approach for utilizing industrial byproducts, reducing cement consumption, lowering production costs, and promoting environmental waste management.

Keywords: Bagasse ash, calcium carbide residue, calcite residue, concrete paving blocks

1. บทนำ

กากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตก๊าซอะเซทีลีน เป็นก๊าซที่ใช้ในอุตสาหกรรมงานเชื่อมและงานตัดโลหะ โดยกระบวนการผลิตก๊าซอะเซทีลีนทำได้โดยการนำหินปูน (CaCO_3) เข้าเตาหลอม และจากกระบวนการนี้จะได้ผลผลิตคือ ปูนขาว (CaO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หลังจากนั้น เติมน้ำในถังเพื่อทำปฏิกิริยากับปูนขาวที่อยู่ในเตาหลอม จะได้แคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) เมื่อนำแคลเซียมคาร์ไบด์ไปทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้ผลผลิตเป็นก๊าซอะเซทีลีน (C_2H_2) ส่วนที่เหลือคือกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) มีลักษณะเป็นโคลนสีเทาอมขาว เมื่อปล่อยให้ตกตะกอนจะจับตัวเป็นก้อน กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีคุณสมบัติความแข็งแรงสูงและมีความ

ต้องการนำไปใช้ประโยชน์เนื่องจากเหลือทิ้งกองเป็นจำนวนมาก ด้วยองค์ประกอบทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นหลัก สามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานกับวัสดุปอซโซลาน เช่น เถ้าถ่านหิน เถ้ากลบ เถ้าขานอ้อยได้ [1] ในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาวัสดุประสานจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร่วมกับเถ้าขานอ้อย ซึ่งเถ้าขานอ้อยเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล หลังจากการหีบอ้อยเพื่อนำไปผลิตเป็นน้ำตาล มีการใช้ขานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในโรงงานและขาย หลังจากการเผาขานอ้อยทำให้มีเถ้าขานอ้อยเหลือทิ้งเป็นปริมาณมากและต้องนำไปกำจัด หากกำจัดไม่ถูกวิธีทำให้เกิดเป็นมลพิษทางสิ่งแวดล้อมได้ จากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าขานอ้อย พบว่า มีซิลิกา (SiO_2) ในปริมาณสูงมีคุณสมบัติในความเป็นวัสดุปอซโซลาน สามารถนำมาใช้ใน



งานคอนกรีตและงานวัสดุประสานได้ปฏิกิริยาปอซโซลาน เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์และซิลิกาหรืออลูมินาจากวัสดุปอซโซลาน ได้สารเชื่อมประสานคือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ที่มีคุณสมบัติในการรับกำลังอัดได้ วัสดุปอซโซลานที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุประสานร่วมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ได้แก่ แก้วถ่านหินที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพ และแก้วถ่านหินบดละเอียด ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 284 และ 335 กก./ตร.ซม. ที่อายุ 28 และ 90 วัน ตามลำดับ [2] นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นสารเร่งกำลังอัดเพื่อใช้เป็นคอนกรีตกำลังสูงได้ [3] และยังมีการใช้ประโยชน์จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับแก้วกันตะเพื่อเป็นวัสดุประสานในการผลิตบล็อกประสานปูพื้น [4] ที่ให้คุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 60-2561 จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุประสานจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และแก้วถ่านหิน พบสารเชื่อมประสานจากปฏิกิริยาปอซโซลาน ได้แก่ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต [5] นอกจากการใช้แก้วถ่านหินแล้ว มีความเป็นไปได้ในการใช้แก้วชีวมวลเป็นวัสดุประสานร่วมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์เพื่อเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งกลุ่มแก้วชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น การใช้แก้วชานอ้อย [6] แก้วกลบ เป็นต้น ในส่วนของ กากแร่ แคลไซต์ คือ แร่คาร์บอเนตที่มีสูตรทางเคมีคือ CaCO_3 ในประเทศไทยมีการขุดกากแร่แคลไซต์ขึ้นมาเพื่อผลิตเป็นผงแคลเซียมคาร์บอเนต โดยผ่านกระบวนการแต่งแร่ ทำให้มีส่วนที่เหลือของกากแร่แคลไซต์ที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กใกล้เคียงกับทราย มีประมาณ 36,000 – 72,000 ตันต่อปี [7] จากรูปร่างลักษณะและคุณสมบัติ งานวิจัยนี้จึงสนใจนำมาใช้เป็นมวลรวมละเอียดแทนที่ทราย

งานวิจัยนี้สนใจศึกษา บล็อกประสานปูพื้นจากแก้วชานอ้อยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ใช้ทรายและกากแร่แคลไซต์เป็นมวลรวมละเอียด โดยใช้อัตราส่วนแก้วชานอ้อย (BA) ต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ (CR) 90:10 70:30 และ 50:50 โดยน้ำหนัก ใช้ปูนซีเมนต์เป็นสารเร่งร้อยละ 10 20 และ 80 โดยน้ำหนัก และศึกษาการใช้กากแร่แคลไซต์มาแทนที่ทราย ซึ่งเป็นมวลรวมจากธรรมชาติ ที่สัดส่วนทรายต่อกากแร่แคลไซต์ เท่ากับ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดเป็นอิฐ

บล็อกประสานปูพื้น ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน และทดสอบค่าการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน จากผลการศึกษาทำให้ได้แนวทางในการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้งทั้งสามชนิดในการประยุกต์ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างและเป็นการจัดการสิ่งแวดล้อมได้อีกแนวทางหนึ่ง

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

แก้วชานอ้อย ได้จากโรงน้ำตาล จังหวัดสุรินทร์ และกากแคลเซียมคาร์ไบด์ (CR) ได้จากบริษัท ไทยอะเซทีลีน จำกัด จังหวัดปทุมธานี ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก มวลรวมละเอียดที่ใช้ได้แก่ แร่กากแร่แคลไซต์ ได้จาก โรงงานสุรินทร์ออมยา เคมิคอล จังหวัดลพบุรี และทรายแม่น้ำ

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

กากแคลเซียมคาร์ไบด์ นำมาตากให้แห้งแล้วเก็บบรรจุในถุงเพื่อป้องกันความชื้น แก้วชานอ้อยใช้แบบปรับปรุงคุณภาพด้วยการบด ควบคุมเวลาที่ 15 นาทีและนำมาใช้โดยไม่มีกรร่อนคัดขนาด และหาขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของวัสดุ การบดจะช่วยลดความพรุนและเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของแก้วชานอ้อยในการทำปฏิกิริยา Le et al., 2023 [8] และพบว่า ขนาดที่ละเอียดของแก้วชานอ้อยช่วยในการทำปฏิกิริยาปอซโซลานและเติมเต็มในช่องว่างของเพสต์ทำให้วัสดุมีความแข็งแรงขึ้น

2.3 การผลิตบล็อกปูพื้นจากแก้วชานอ้อยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์

การสังเคราะห์วัสดุประสานบล็อกปูพื้นจากแก้วชานอ้อย (BA) และกากแคลเซียมคาร์ไบด์ (CR) แบ่งเป็น 2 ชุดการศึกษา โดยมีรายละเอียดในแต่ละชุดการทดลองดังนี้

2.3.1 ชุดที่ 1 การผลิตบล็อกประสานปูพื้นจากแก้วชานอ้อยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์

บล็อกประสานปูพื้นใช้อัตราส่วนวัสดุประสานต่อทรายเท่ากับ 1:3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานระหว่าง 0.45 – 0.63 โดยน้ำหนัก สำหรับการปรับสัดส่วนให้สามารถขึ้นรูปเป็นบล็อกประสานปูพื้นได้ ใช้อัตราส่วนแก้วชานอ้อยต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เท่ากับ 90:10 70:30 และ 50:50 โดยน้ำหนัก (ใช้สัญลักษณ์ B90-C10, B70-C30 และ B50-C50 ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังใช้ปูนซีเมนต์ (CM)



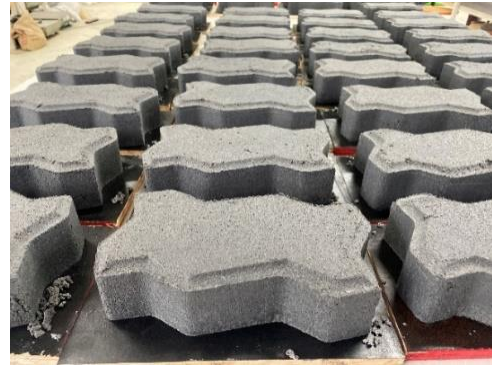
เพื่อเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละ 10, 20 และ 80 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานสำหรับอัตราส่วนเถ้าขานอ้อยต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เท่ากับ 70:30 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดด้วยมือเป็นบล็อกประสานปูพื้น เพื่อทดสอบกำลังอัดที่อายุ 3 7 14 และ 28 วัน และทดสอบค่าการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน โดยรูปที่ 1 แสดงบล็อกประสานปูพื้นจากการทดลองชุดที่ 1



รูปที่ 1 บล็อกประสานปูพื้นจากการทดลองชุดที่ 1

2.3.2 ชุดที่ 2 การผลิตบล็อกประสานปูพื้นจากเถ้าขานอ้อยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์และการใช้กากแร่แคลไซด์เป็นวัสดุมวลรวมแทนทราย

การทดลองนี้ใช้อัตราส่วนวัสดุประสานต่อมวลรวมและ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเช่นเดียวกับการทดลองชุดที่ 1 เลือกอัตราส่วนของเถ้าขานอ้อยต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์เท่ากับ 70:30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน และใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 80 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ให้ค่ากำลังอัดสูงสุด ใช้อัตราส่วนทรายต่อกากแร่แคลไซด์ (SA:CC) เท่ากับ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดด้วยมือเป็นอิฐบล็อกประสานปูพื้น เพื่อทดสอบกำลังอัดที่อายุ 3 7 14 และ 28 วัน และทดสอบค่าการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน และศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุด้วยเทคนิค Optical microscope (OM) โดยรูปที่ 2 แสดงบล็อกประสานปูพื้นจากการทดลองชุดที่ 2



รูปที่ 2 บล็อกประสานปูพื้นจากการทดลองชุดที่ 2

3. ผลการทดลอง

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุตั้งต้น

3.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าขานอ้อย

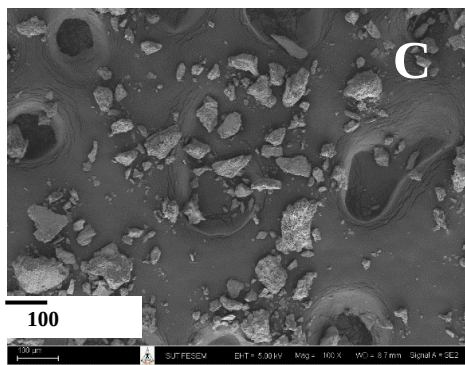
ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ (CR) และเถ้าขานอ้อย (BA) พบว่าเถ้าขานอ้อยมีค่าซิลิกาสูงที่สุดร้อยละ 81.12 จัดเป็นวัสดุปอซโซลาน Class N ตามมาตรฐาน ASTM C618 [9] ในขณะที่ กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ 98.187 และมีค่า LOI ร้อยละ 2.37

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุตั้งต้น

สารประกอบออกไซด์	BA	CR
SiO ₂	81.12	N/A
Al ₂ O ₃	2.20	0.55
Fe ₂ O ₃	2.21	0.86
CaO	5.17	98.18
SO ₃	1.23	0.13
K ₂ O	2.44	N/A
LOI	-	2.37

3.1.2 ลักษณะพื้นผิวของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าขานอ้อย

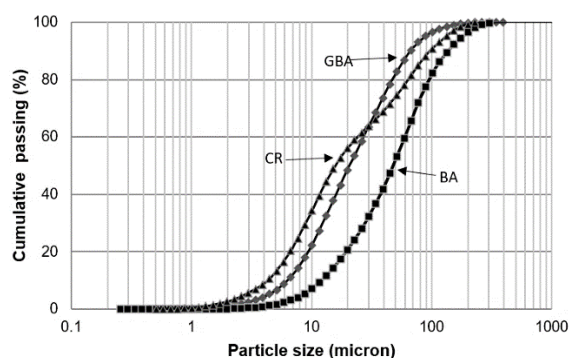
รูปที่ 3 แสดงลักษณะพื้นผิวของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าขานอ้อยหลังการบดที่กำลังขยาย 100X ขนาด 100 ไมครอนพบว่า เถ้าขานอ้อยมีขนาดเล็กรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุมมีรูพรุน ในขณะที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีพื้นผิวที่ขรุขระอนุภาคมีขนาดใหญ่ มีเหลี่ยมมุมเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3 ลักษณะพื้นผิวของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าชานอ้อย

3.1.3 ขนาดอนุภาคของเถ้าชานอ้อยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์

รูปที่ 4 แสดงขนาดอนุภาคของเถ้าชานอ้อย เถ้าชานอ้อยบดและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีค่ากลางอนุภาคเท่ากับ 16.55 ไมครอน มีขนาดเล็กกว่าเถ้าชานอ้อยเมื่อเทียบกับขนาดของเถ้าชานอ้อยที่ยังไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพที่มีขนาด 48.20 ไมครอน เมื่อนำเถ้าชานอ้อยมาปรับปรุงคุณภาพด้วยการบด ควบคุมเวลาที่ 15 นาที พบว่าเถ้าชานอ้อยมีขนาดเล็กลงและมีค่ากลางอนุภาคเท่ากับ 20.05 ไมครอน



รูปที่ 4 ขนาดอนุภาคของเถ้าชานอ้อย เถ้าชานอ้อยบดและกากแคลเซียมคาร์ไบด์

3.1.4 คุณสมบัติของวัสดุประสาน ทรายและกากแร่แคลไซต์

คุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุประสานแสดงดังตารางที่ 2 คุณสมบัติของทรายและกากแร่แคลไซต์ดังตารางที่ 3 พบว่า ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และ เถ้าชานอ้อย มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.03, 2.35 และ 2.31 ตามลำดับ ทรายมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 1.59 ความถ่วงจำเพาะ (SSD) เท่ากับ 2.63 และการดูดซึมน้ำร้อยละ 2.24 กากกากแร่แคลไซต์มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.54 ความถ่วงจำเพาะ (SSD) เท่ากับ 2.72 และการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.42

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุประสาน

คุณสมบัติ	ความถ่วงจำเพาะ
ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก	3.03
กากแคลเซียมคาร์ไบด์	2.35
เถ้าชานอ้อย	2.31

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของทราย

คุณสมบัติ	ทราย	กากแร่กากแร่แคลไซต์
โมดูลัสความละเอียด	1.59	2.45
ความถ่วงจำเพาะ (SSD)	2.63	2.72
ร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	2.24	0.42

3.2 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของบล็อกประสานปูพื้นที่ไม่ส่วนผสมของกากแร่แคลไซต์

3.2.1 ผลของกำลังอัด

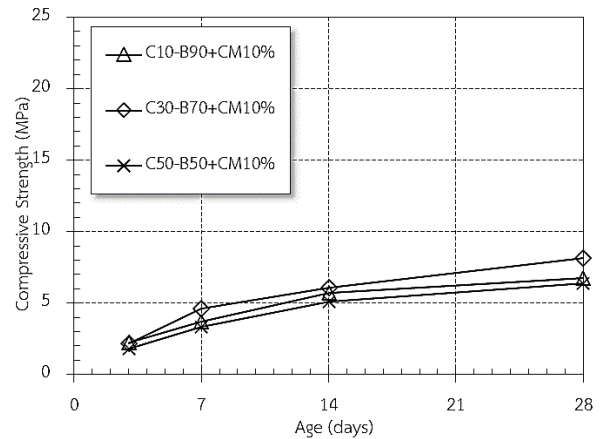
รูปที่ 5 ค่ากำลังอัดของบล็อกประสานปูพื้นที่ไม่ส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าชานอ้อยที่มีปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 พบว่า การใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ทำให้ค่ากำลังอัดของบล็อกประสานปูพื้นมีค่าสูงกว่า 5 เมกะปาสคาล ที่อายุ 28 วัน อัตราส่วนของเถ้าชานอ้อยต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์เท่ากับ 70:30 โดยน้ำหนัก ให้ค่ากำลังอัดสูงสุด แสดงให้เห็นว่า ปฏิกริยาไฮเดรชันจากปูนซีเมนต์ และปฏิกริยาปอซโซลานจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าชานอ้อยในสัดส่วนผสมที่



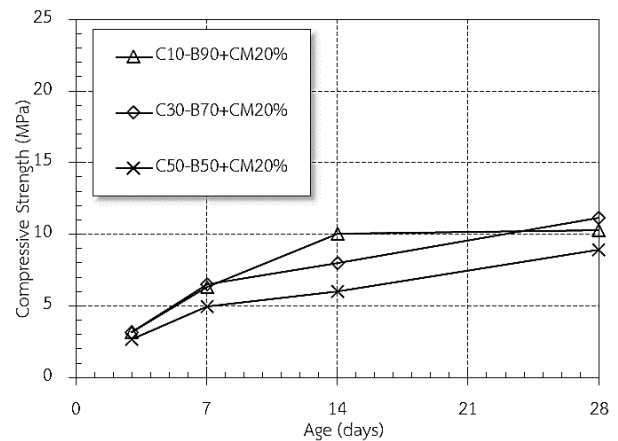
เหมาะสมสามารถพัฒนากำลั้งอัดของบล็อกประสานปูพื้นได้ แต่เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ช้า ส่งผลให้กำลั้งอัดของบล็อกประสานปูพื้นมีค่าไม่สูงนัก เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของปูนซีเมนต์เพื่อเร่งปฏิกิริยาจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 20 ดังรูปที่ 6 พบว่า กำลั้งอัดของบล็อกประสานปูพื้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ส่วนผสมที่มีอัตราส่วนเถ้าขานอ้อยต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์เท่ากับ 70:30 และมีปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 ให้ค่ากำลั้งอัดสูงที่สุด เท่ากับ 11 เมกะปาสคาล ที่อายุ 28 วัน

บล็อกประสานปูพื้นมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น 2 ประเภทได้แก่ ปฏิกิริยาไฮเดรชันจากปูนซีเมนต์และปฏิกิริยาปอซโซลาน ซึ่งเกิดจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และจากผลผลิตของปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ทำปฏิกิริยากับซิลิกาจากเถ้าขานอ้อยทำให้เกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่มีคุณสมบัติที่สามารถรับกำลั้งอัดได้ ผลการทดลองสอดคล้องกับข้อมูลของ R., Lima et. Al. (2020) [10] ที่มีการใช้ปูนขาวร่วมกับเถ้าขานอ้อย ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) ที่สามารถรับกำลั้งได้

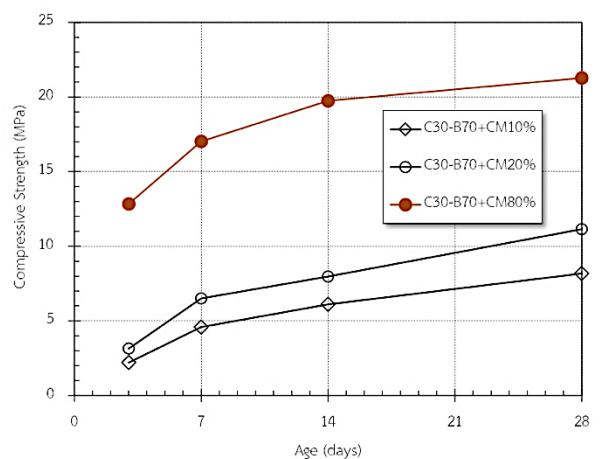
จากผลการศึกษาอัตราส่วนของเถ้าขานอ้อยต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ พบว่า ที่อัตราส่วน 70:30 มีแนวโน้มพัฒนากำลั้งอัดได้ดี เกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าขานอ้อย [11] จากผลการทดลองมีการพัฒนากำลั้งอัดที่ไม่สูงนัก ในงานวิจัยนี้จึงเร่งการเกิดปฏิกิริยาด้วยการใช้ปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสมโดยศึกษาปริมาณปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 20 และ 80 โดยน้ำหนัก แสดงดังรูปที่ 7 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นกำลั้งอัดของบล็อกประสานปูพื้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นโดยการเพิ่มปูนซีเมนต์ถึงร้อยละ 80 ได้ค่ากำลั้งอัด 21 เมกะปาสคาล ที่อายุ 28 วัน ดังนั้น การเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์จึงสามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาของวัสดุประสานเพื่อให้บล็อกประสานปูพื้นมีกำลั้งอัดเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 5 ค่ากำลั้งอัดของบล็อกประสานปูพื้นจากการแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าขานอ้อยที่มีปูนซีเมนต์ร้อยละ 10



รูปที่ 6 ค่ากำลั้งอัดของบล็อกประสานปูพื้นจากการกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าขานอ้อยที่มีปูนซีเมนต์ร้อยละ 20

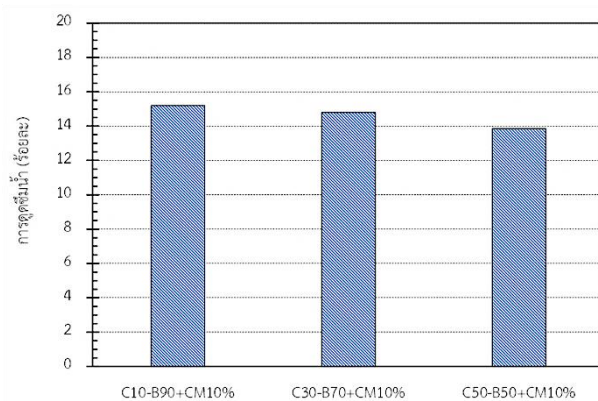


รูปที่ 7 ค่ากำลั้งอัดของบล็อกประสานปูพื้นจากการกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าขานอ้อยที่มีปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 20 และ 80

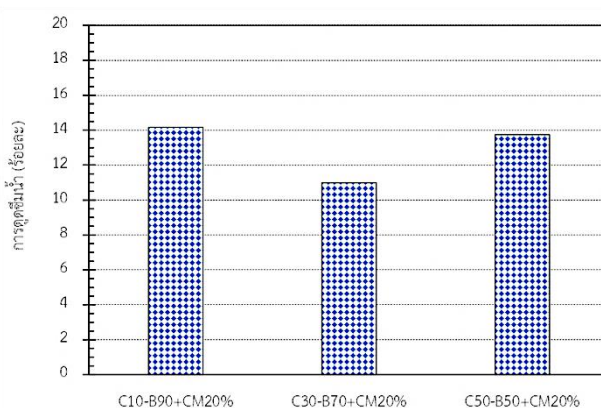


3.2.2 ค่าการดูดซึมน้ำ

รูปที่ 8 และ 9 แสดงผลของการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานปูพื้นที่มีการใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ พบว่า การใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 มีค่าการดูดซึมน้ำที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่น้อยทำให้ไม่มีอิทธิพลในการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานปูพื้น ในขณะที่การใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 และการใช้เถ้าขานอ้อยต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อัตราส่วน 70:30 โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มมีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่าส่วนผสมอื่นๆ เนื่องจากให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่า ตัวอย่างมีความแน่นมากกว่า การดูดซึมน้ำจึงมีค่าลดลง



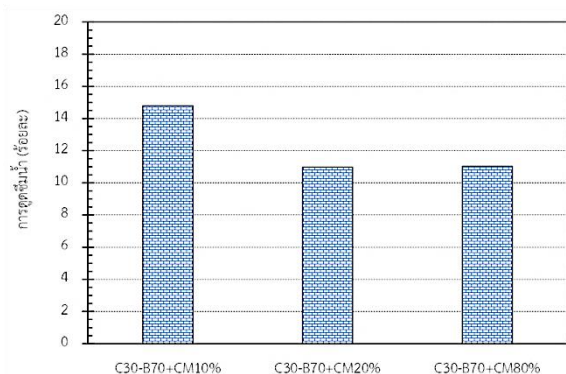
รูปที่ 8 ผลของการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานปูพื้นที่มีการใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10



รูปที่ 9 ผลของการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานปูพื้นที่มีการใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20

รูปที่ 10 แสดงผลของการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานปูพื้นที่ใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 20 และ 80 โดยน้ำหนัก แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นค่าร้อยละ

การดูดซึมน้ำของบล็อกประสานปูพื้นมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลของกำลังอัดของบล็อกประสานปูพื้นเมื่อใช้อัตราส่วนเถ้าขานอ้อยต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์เท่ากับ 70:30 โดยน้ำหนัก และใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 80 ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด แสดงดังรูปที่ 7 และมีค่าอัตราการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด เท่ากับร้อยละ 11 ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจาก เมื่อส่วนผสมมีค่ากำลังอัดที่สูงขึ้นเนื้อของบล็อกประสานปูพื้นมีความแน่นมากขึ้น ส่งผลให้การแทรกซึมของน้ำลดลงทำให้มีค่าอัตราการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด [12] นอกจากนี้ ค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่าง C30-B70+CM20% มีค่าใกล้เคียงกับ C30-B70+CM80% อาจเนื่องมาจากผลของปฏิกิริยาไฮเดรชันจากปูนซีเมนต์ และปฏิกิริยาปอซโซลานจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าขานอ้อย ทำให้บล็อกประสานปูพื้นมีความแน่นขึ้นแต่ไม่ใช่เป็นสารประกอบที่ช่วยในการรับกำลังอัด ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำ



รูปที่ 10 ผลของการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานปูพื้นที่มีการใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 20 และ 80

จากการศึกษาทดลองชุดที่ 1 การใช้เถ้าขานอ้อยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อัตราส่วน 30:70 โดยน้ำหนัก และใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 80 ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุดและค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด พบว่า การใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 80 ให้ค่ากำลังอัดสูงขึ้นร้อยละ 61.9 และ 47.2 จากเดิมที่ใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลจากการใช้ปูนซีเมนต์ที่สูงทำให้ได้สารเชื่อมประสาน ได้แก่ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่ช่วยในด้านการรับกำลังอัดและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่สามารถทำปฏิกิริยากับซิลิกาจากเถ้าขานอ้อยได้สารเชื่อมประสานเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่ช่วยรับกำลังอัดได้นำส่วนผสมนี้ไปศึกษาในการทดลองชุดที่ 2

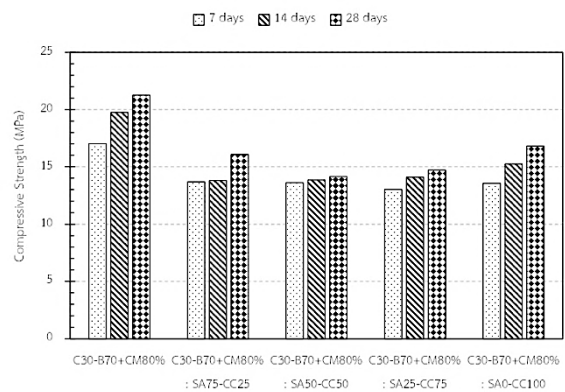


3.3 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของบล็อกประสานปูพื้นที่มีส่วนผสมของกากแร่แคลไซต์

3.3.1 ผลของกำลังอัด

รูปที่ 11 แสดงผลกำลังอัดของบล็อกประสานปูพื้นจากเถ้าขานอ้อยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อัตราส่วน 70:30 โดยน้ำหนัก และใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 80 ที่ใช้อัตราส่วนทรายต่อกากแร่แคลไซต์ (SA:CC) เท่ากับ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 โดยน้ำหนัก จากผลการศึกษา พบว่า บล็อกประสานปูพื้นที่ใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียดให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด ในขณะที่การใช้กากแร่แคลไซต์ซึ่งมีองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนตอาจมีบางส่วนของแคลเซียมที่ถูกสารละลายต่างชะออกมาได้แต่การเกิดสารเชื่อมประสานไม่สมบูรณ์ อาจอยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) หรือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ทำให้เมื่อมีการแทนที่กากแร่แคลไซต์บางส่วนกำลังอัดของบล็อกประสานมีค่าลดลง แต่เมื่อใช้กากแร่แคลไซต์เพิ่มขึ้น แคลเซียมที่ถูกชะละลายออกมาในรูปแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ทำให้ความเป็นต่างในระบบเพิ่มขึ้น ช่วยเสริมกำลังอัดของบล็อกประสานปูพื้นได้ [13] การใช้อัตราส่วนทรายต่อกากแร่แคลไซต์ (SA:CC) เท่ากับ 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 โดยน้ำหนัก ให้ค่ากำลังอัดเท่ากับ 16, 14, 15 และ 17 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ที่อายุ 28 วัน ซึ่งร้อยละการแทนที่กากแร่แคลไซต์ด้วยทรายในทุกอัตราส่วนให้ค่ากำลังอัดที่ใกล้เคียงกัน

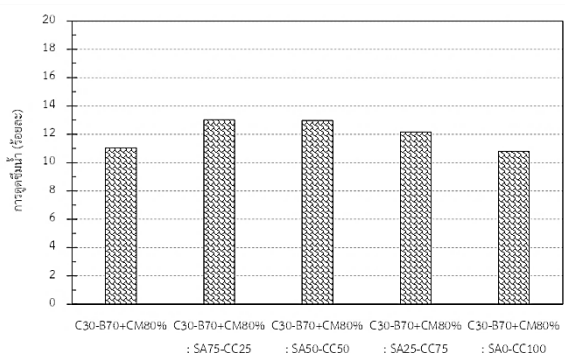
จากผลการศึกษา พบว่า กากแร่แคลไซต์เป็นวัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานถลุงแร่ องค์ประกอบทางเคมีคล้ายกับหินปูน แต่มีขนาดเล็กกว่า และคล้ายกับทรายประกอบด้วยสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ซึ่งบางส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้เล็กน้อยจึงทำให้อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังอัดของบล็อกประสานปูพื้นได้ เนื่องจากในส่วนผสมของบล็อกประสานปูพื้นมีการใช้น้ำเป็นส่วนผสม ในขณะที่ทรายมีสารซิลิกา (SiO_2) เป็นหลัก มีคุณสมบัติเป็นสารเฉื่อยที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมใดๆ รวมถึงทำปฏิกิริยากับน้ำ หากต้องการให้เกิดปฏิกิริยาจะต้องใช้การเร่งปฏิกิริยาด้วยการใช้อุณหภูมิสูงมากกว่า 1000 องศาเซลเซียส



รูปที่ 11 ผลกำลังอัดของบล็อกประสานปูพื้นจากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าขานอ้อยที่อัตราส่วน 30:70 และใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 80 ที่มีการใช้กากแร่แคลไซต์แทนทราย

3.3.2 ค่าการดูดซึมน้ำ

รูปที่ 12 แสดงผลของค่าการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานปูพื้นที่ใช้กากแร่แคลไซต์แทนทรายเป็นมวลรวมละเอียด พบว่า การใช้กากแร่แคลไซต์แทนทรายให้ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่สูงขึ้นกว่าการใช้ทราย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกากแร่แคลไซต์ ร้อยละการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานปูพื้นมีค่าลดลง ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานปูพื้นที่มีการใช้อัตราส่วนทรายต่อกากแร่แคลไซต์ (SA:CC) เท่ากับ 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 โดยน้ำหนัก มีค่าเท่ากับร้อยละ 13, 13, 12 และ 11 ตามลำดับ

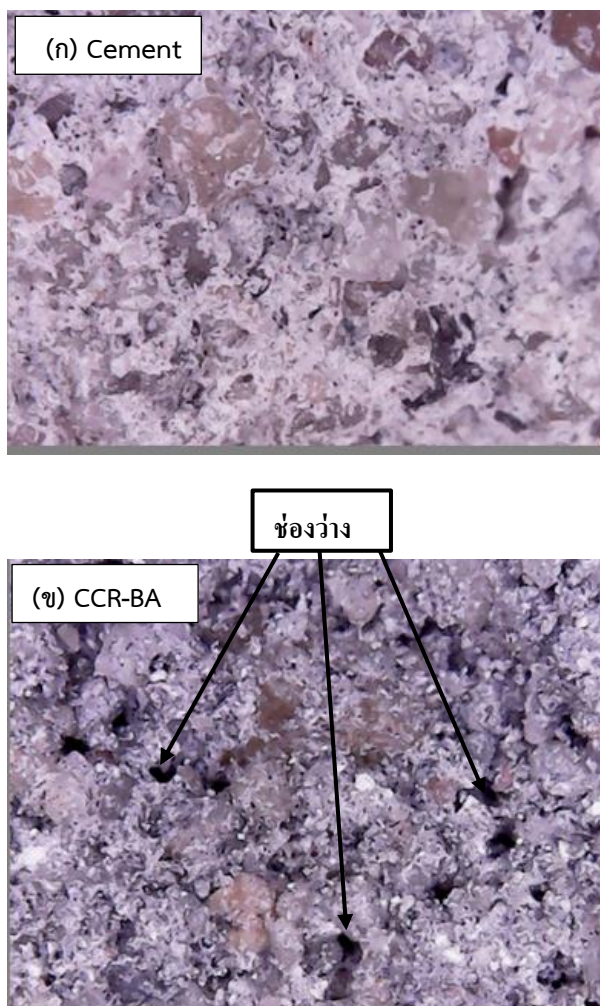


รูปที่ 12 ผลของค่าการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานปูพื้นที่ใช้กากแร่กากแร่แคลไซต์แทนทรายเป็นมวลรวมละเอียด

3.4 ลักษณะพื้นผิวของบล็อกประสานปูพื้น

รูปที่ 13 แสดงลักษณะพื้นผิวของบล็อกประสานปูพื้นจากการใช้ปูนซีเมนต์ (รูป ก) และการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าขานอ้อย (รูป ข) พบว่า บล็อกประสานปูพื้นจากการใช้ปูนซีเมนต์มีลักษณะพื้นผิวเป็นสีขาวและมีความแน่นของเนื้อ

มากกว่า ในส่วนของการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าขานอ้อยที่พื้นผิวของบล็อกประสานปูพื้นเป็นสีเข้มที่เกิดจากสีของเถ้าขานอ้อยที่มีสีดำ และเห็นช่องว่างที่มีความพรุนมากกว่า แม้กระนั้นก็ตามพื้นผิวของการใช้วัสดุประสานทั้งสองชนิดในการผลิตบล็อกประสานปูพื้นสามารถสังเกตได้ถึง การผสมรวมกันของมวลรวมและวัสดุประสานที่เกิดการยึดติดเป็นโครงข่ายที่ทำให้บล็อกประสานปูพื้นทั้งสองชนิดสามารถรับกำลังอัดได้



รูปที่ 13 ลักษณะพื้นผิวของบล็อกประสานปูพื้น

4. สรุปผลการทดลอง

บล็อกประสานปูพื้นจากเถ้าขานอ้อยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่ใช้ทรายและกากแร่แคลไซต์เป็นมวลรวมละเอียด สามารถสรุปผลการศึกษา ได้ดังนี้

1. การใช้ เถ้า ขาน อ้อย ร ่วม กั บ กาก แคลเซียมคาร์ไบด์ทำให้วัสดุแข็งตัวและรับกำลังอัดได้ การใช้อัตราส่วนของ

เถ้าขานอ้อยต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์เท่ากับ 70:30 โดย น้ำหนัก และใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 80 ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด ให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด

2. การใช้อัตราส่วนทรายต่อกากแร่แคลไซต์ 0:100 โดยน้ำหนักเป็นมวลรวมละเอียด ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด แต่ยังมีค่าต่ำกว่าการใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียด และให้ค่าการดูดซึมน้ำที่ใกล้เคียงกับการใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียด

3. เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของบล็อกประสานปูพื้นจากเถ้าขานอ้อยและกากแคลเซียมคาร์ไบด์ พบว่า มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน มอก. 827-2565 [14] (กำลังอัดต้องไม่ต่ำกว่า 40.0 เมกะปาสคาล) ร้อยละ 47.5 แม้กระนั้นก็ตาม บล็อกประสานปูพื้นยังสามารถรับกำลังอัดได้ 21 เมกะปาสคาล เมื่อใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียด และรับกำลังอัดได้ 17 เมกะปาสคาล เมื่อใช้กากแร่แคลไซต์เป็นมวลรวมละเอียด

4. ข้อเสนอแนะในการใช้งาน สามารถนำไปใช้เป็นบล็อกประสานปูพื้นสำหรับงานที่ไม่รับกำลังอัดสูง เช่น พื้นทางเดิน หรือการตกแต่งสนามหญ้า เนื่องจากการนำวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ลดปัญหาการกองเก็บและลดค่าใช้จ่ายในการกำจัด เป็นการจัดการสิ่งแวดล้อมในอีกทางหนึ่งด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ท่านสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ประจำปี 2565 สัญญาเลขที่ FRB650059/NMA/29 ขอขอบคุณบริษัท ไทย อะเซทีลีน จำกัด ที่ให้การสนับสนุนกากแคลเซียมคาร์ไบด์ บริษัท สุรินทร์ออมย่า เคมีคอล ที่ให้การสนับสนุนกากกากแร่แคลไซต์ โรงน้ำตาล สุรินทร์ ที่ให้การสนับสนุนเถ้าขานอ้อย และขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย



เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ให้ความสำคัญและเคร่งครัด
ทดสอบการหาค่ากำลังอัดและการทดสอบการกลของวัสดุ

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] Krammart P, Martputhorn S, Jaturapitakkul C, Ngaopisadarn V. A study of compressive strength of mortar made from calcium carbide residue and fly ash. *Res Dev J.* 1996;7(2):65–75.
- [2] Laosamathikul T. Study on the properties of concrete using calcium carbide residue mixed with fly ash or rice husk-bark ash as a binder [Master's thesis]. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2008.
- [3] Amnatnua K. Study on high-strength concrete using calcium carbide residue and fly ash as binders [Master's thesis]. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2010.
- [4] Triphong K, Chiammeepricha W, Abdulmatin A. Utilization of calcium carbide residue and bottom ash as binders for interlocking paving blocks. *J. Eng Srinakharinwirot Univ.* 2019;15(2):1-11.
- [5] Somna K, Jaturapitakkul C, Kajitvichyanukul P. Microstructure of calcium carbide residue–ground fly ash paste. *J. Mater Civ Eng.* 2011;23(3):298-304.
- [6] Rattanashotinunt C, Thairit P, Tangchirapat W, Jaturapitakkul C. Use of calcium carbide residue and bagasse ash mixtures as a new cementitious material in concrete. *Mater Des.* 2013;46:106-11.
- [7] Supromwan J. Physical properties and sulfate resistance of cement mortar using calcite ore waste as sand replacement [Master's thesis]. Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology; 2014.
- [8] Thang L, Desa S, Khabbaz H. The influence of bagasse fly ash particle size in controlling expansive soils in combination with hydrated lime. *Aust Geomech J.* 2023. doi: 10.56295/agj5812.
- [9] ASTM - American Society for Testing and Materials. Annual book of ASTM standards, C 618–05. 2021.
- [10] Lima RF, Pavia S. A study of the parameters that determine the reactivity of sugarcane bagasse ashes (SCBA) for use as a binder in construction. *SN Appl Sci.* 2020. doi: 10.1007/S42452-020-03224-W.
- [11] Bonilla M, Borrachero MV, Monzó J, Akasaki JL, Ma-Tay D, Payá J. Study of pozzolanic properties of two sugarcane bagasse ash samples from Honduras. *Key Eng Mater.* 2015. doi:10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/KEM.668.357.
- [12] Bayapureddy Y, Muniraj K, Gangireddy MR, Mutukuru R. Sugarcane bagasse ash as supplementary cementitious material in cement composites: strength, durability, and microstructural analysis. *J. Korean Ceram Soc.* 2020. doi: 10.1007/S43207-020-00055-8.
- [13] Zhang X, Liu Z, Lan XX, Li M, Shi J, Zhao X. Molecular insight into the structural and mechanical properties of Ca-based geopolymers. *J. Build Eng.* 2024. doi: 10.1016/j.jobbe.2024.109570.
- [14] Thai Industrial Standards Institute. Industrial Product Standard for Interlocking Concrete Paving Blocks (TIS 827-2022). Bangkok: Ministry of Industry; 2022.