



สมบัติทางกายภาพ กำลังอัด และโครงสร้างระดับจุลภาคของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นผสมเถ้าไม้ไผ่

สุชาติ จันทร์มณี^{1*} อามิเต็ง ฮาวา² ชาตรี หอมเขียว^{1,3} และ นันทชัย ชูศิลป์⁴

¹ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

² หน่วยวิจัยโครงสร้างพื้นฐานและนวัตกรรมวัสดุ, สาขาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

³ หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการแปรรูปวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

⁴ สาขาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: suchart.c@rmutsv.ac.th

วันที่รับบทความ: 27 มิถุนายน 2566; วันที่ทบทวนบทความ: 15 ธันวาคม 2566; วันที่ตอบรับบทความ: 26 มกราคม 2567

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 22 เมษายน 2567

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และโครงสร้างระดับจุลภาคของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ใช้เถ้าไม้ไผ่แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ทำการทดสอบขนาดมิติรูปร่าง ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และโครงสร้างระดับจุลภาค ประกอบด้วยภาพถ่ายกำลังขยายสูงโดยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การวิเคราะห์ธาตุด้วยสเปกโทรเมตรีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน และสารประกอบโดยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ นอกจากนั้น ยังมีการทดสอบเปรียบเทียบคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ใช้วิธีการบ่มน้ำและบ่มอากาศ จากผลการทดสอบ พบว่าการทดสอบขนาดมิติรูปร่างเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C936/C936M ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นอยู่ในช่วง 2,111-2,209 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อมีปริมาณเถ้าไม้ไผ่เพิ่มขึ้น การผสมเถ้าไม้ไผ่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ทำให้ค่ากำลังอัดได้ดีที่สุดเมื่อบ่มน้ำที่อายุ 60 วัน และโครงสร้างระดับจุลภาคพบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและแอกทริงไคต์ ดังนั้น เถ้าไม้ไผ่สามารถนำแทนที่ซีเมนต์ผสมสำหรับงานเฉพาะบางชนิดได้

คำสำคัญ: คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น; เถ้าไม้ไผ่; การดูดซึมน้ำ; โครงสร้างระดับจุลภาค

Physical Properties, Compressive Strength and Microstructure of Interlocking Concrete Paving Block Containing Bamboo Ash

Suchart Chantaramanee^{1*}, Abideng Hawa², Chatree Homkhiew^{1,3} and Nuntachai Chusilp⁴

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Srivijaya

² Infrastructure and Materials Innovation Research Unit, Department of Civil Engineering,
Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

³ Materials Processing Technology Research Unit, Rajamangala University of Technology Srivijaya

⁴ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

* Corresponding Author, E-mail: suchart.c@rmutsv.ac.th

Received: 27 June 2023; Revised: 15 December 2023; Accepted: 26 January 2024

Online Published: 22 April 2024

Abstract: This research focused on studying the physical properties, mechanical properties, and microstructure of concrete interlocking blocks that use bamboo ash as a partial replacement of cement. In the 10, 20, and 30 percentages by weight of cement, dimensions of shape, density, water absorption, and microstructure were tested. High-magnification imaged by scanning electron microscope technique elemental analysis with energy-dispersed X-ray spectrometry and compounds by X-ray diffraction analysis technique. In addition to that, there was a comparative test of concrete blocks interlocking paving using water curing and air curing methods. According to the test results, the dimensional dimension test was following ASTM C936/C936M standards, the density of concrete interlocking blocks for paving is in the range of 2,111-2,209 kilograms per cubic meter. Water absorption tended to increase significantly with an increase in bamboo ash content. Mixing 10% bamboo ash by weight provided the best compressive strength, curing water at 60 days of age, and the microstructure found calcium silicate hydrate and ettringite. Therefore, bamboo ash can replace cement mixtures for some specific applications.

Keywords: Interlocking concrete paving block; Bamboo ash; Water absorption; Microstructure



1. บทนำ

ไม้ไผ่เป็นพืชที่มีอยู่ทั่วไปในประเทศไทยและไม้ไผ่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะด้านผลิตภัณฑ์หัตถกรรม เช่น กระดัง กระเช้าผลไม้ ตะกร้า จายตลาต ชะลอม ตะกร้าใส่ขยะ กระเป๋าถือ-สตรี หมวก และยังมีนิยมนำมาใช้ทำแคร์ โຕ้ะ เก้าอี้ เป็นต้น ซึ่งในกระบวนการผลิตเหล่านี้ส่งผลให้เกิดเศษเหลือทิ้งจากไม้ไผ่เป็นจำนวนมากและถูกกำจัดด้วยวิธีการเผาทำลายส่งผลให้มีเถ้าไม้ไผ่เกิดขึ้นจำนวนหนึ่งภายหลังกระบวนการเผา ในขณะเดียวกันปัจจุบันวัสดุก่อสร้างที่เป็นปูนซีเมนต์จำนวนมากถูกผสมด้วยวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น เช่น การนำ เถ้าลอยผสมเข้ากับปูนซีเมนต์ทำให้สมบัติดีขึ้น [1-3] สามารถนำมาใช้ในการก่อสร้างงานประเภทโครงสร้างได้เป็นอย่างดี นอกจากเถ้าลอยแล้วยังมีการศึกษาวัสดุเหลือทิ้งอื่น ๆ เช่น เถ้าปาล์มน้ำมัน [4, 5] ที่มีศักยภาพในการผสมกับปูนซีเมนต์มาประยุกต์ใช้กับงานโครงสร้างคอนกรีต แต่อย่างไรก็ตาม วัสดุผสมคอนกรีตบางชนิดไม่ได้มีความจำเป็นที่จะต้องมีการอัดที่สูงเหมือนกับคอนกรีตโครงสร้าง เช่น คอนกรีต-บล็อกหรืออิฐบล็อก คอนกรีตบล็อกปูพื้น คอนกรีต-พูน คอนกรีตมวลเบา เป็นต้น วัสดุเหล่านี้สามารถผสมด้วยเถ้าชนิดต่าง ๆ ได้ไม่ว่าจะเป็นเถ้าขานอ้อย เถ้าแกลบ เถ้าไม้ยางพารา กากกาแฟ เป็นต้น Hansudewechakul *et. al.* [6] ได้ศึกษาสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าขานอ้อย พบว่าการผสมเถ้าขานอ้อยจะส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกลดลงเล็กน้อยเมื่อการผสมไม่เกินร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อมีการผสมมากกว่าร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก กำลังอัดลดลงอย่างชัดเจนในทุกอายุบ่มสำหรับการดูดซึมน้ำ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าขาน

อ้อยการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามลำดับ Klathae *et. al.* [7] มีการศึกษาการใช้เถ้าไม้ยางพาราเพื่อผลิตอิฐ-บล็อกประสานปูพื้นโดยการผสมเถ้าไม้ยางพาราแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ค่ากำลังอัดที่ได้มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าไม้-ยางพาราในทุกอายุบ่ม 7-28 วัน แต่ยังมีค่ากำลังอัดที่ผ่านเกณฑ์ [8, 9] โดยศึกษาการใช้เถ้าขานแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นใช้กากเถ้าชาผสมร้อยละ 10-60 โดยน้ำหนัก จากการทดสอบพบว่า กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีกำลังอัดลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณกากเถ้าชาเช่นเดียวกันกับกำลังอัดขณะเดียวกันการดูดซึมน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มของกากเถ้าชา

ปัจจุบันที่ผ่านมามีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้เถ้าไปไม้ไผ่ในการผสมคอนกรีตอยู่บ้าง ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่า การผสมเถ้าไปไม้ไผ่ในอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดที่ดีขึ้น Odeyemi *et. al.* [10] ได้มีการผสมเถ้าไปไม้ไผ่เข้าไปแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนัก ทำการทดสอบกำลังคอนกรีตผสมเถ้าไปไม้ไผ่ พบว่า การใช้เถ้าไปไม้ไผ่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก สามารถให้กำลังอัดที่ดีที่สุด โดยเฉพาะเมื่อบ่มน้ำที่อายุเป็นเวลานานถึง 56 วัน กำลังอัดมีความโดดเด่นอย่างชัดเจน ซึ่งก่อนหน้านี้ Umoh และ Odesola [11] ทำการศึกษาเถ้าไปไม้ไผ่ผสมเข้ากับปูนซีเมนต์ในการทดสอบกำลังของมอร์ตาร์ พบว่า การแทนที่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก สามารถให้กำลังอัดได้สูงสุดตั้งแต่บ่มน้ำที่อายุ 7 วัน ถึง 90 วัน แต่จากการศึกษาของ Silva *et. al.* [12] พบว่า การผสมเถ้าไปไม้ไผ่สามารถผสมได้มากถึงร้อยละ 30 ของการแทนที่ปูนซีเมนต์โดย-น้ำหนัก ซึ่งเป็นที่น่าสังเกต



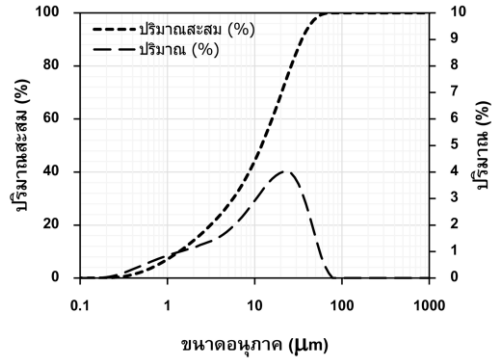
องค์ประกอบทางเคมีมี SiO₂ สูงถึงร้อยละ 83.56 ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี และจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ (XRD) ได้พบกับความเป็นอสัณฐาน (Amorphous) อย่างเด่นชัด [13] แสดงให้เห็นว่าการทดสอบการยุบตัวของคอนกรีตลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าไม้ไผ่ ในขณะที่การแทนที่เถ้าไม้ไผ่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีผลให้คอนกรีตมีกำลังอัดดีที่สุดในและมากกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าไม้ไผ่ อย่างไรก็ตาม การศึกษาวิจัยที่ผ่านมามีส่วนใหญ่มุ่งจะใช้เถ้าไม้ไผ่เผาเป็นเถ้าในการผสมคอนกรีตหรือมอร์ตาร์สำหรับการใช้เถ้าไม้ไผ่เผาให้เป็นเถ้าไม้ไผ่ผสมคอนกรีตยังไม่ได้มีการศึกษามากนัก

ในการวิจัยนี้จึงสนใจการใช้เถ้าไม้ไผ่แทนที่ปูนซีเมนต์ ศึกษาอัตราส่วนผสมของเถ้าไม้ไผ่ในปริมาณต่าง ๆ ต่อคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ศึกษาสมบัติทางกายภาพ กำลังอัด และวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น เพื่อความเป็นไปได้ในการนำเศษเหลือทิ้งในกระบวนการใช้เถ้าไม้ไผ่มาใช้ในงานวัสดุก่อสร้างสำหรับผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

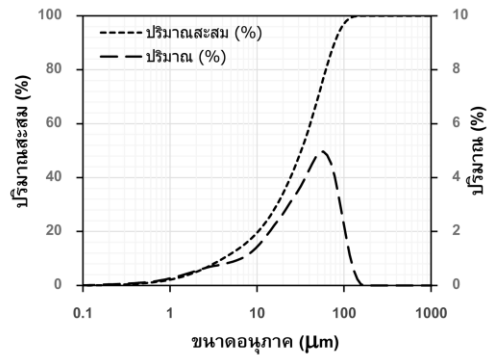
2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 วัสดุ

ในการวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน [14] ได้วิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคด้วยวิธี Laser Particle Size Analyzer (LPSA2), ANALYSETTE 22 Nano Tec, FRITSCH, Germany พบว่า อนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 45 ไมครอน และขนาดของอนุภาคที่ปริมาณสะสม d₁₀ d₅₀ และ d₉₀ มีค่าเท่ากับ 1.4, 12.1 และ 34.3 ไมครอน ตามลำดับ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



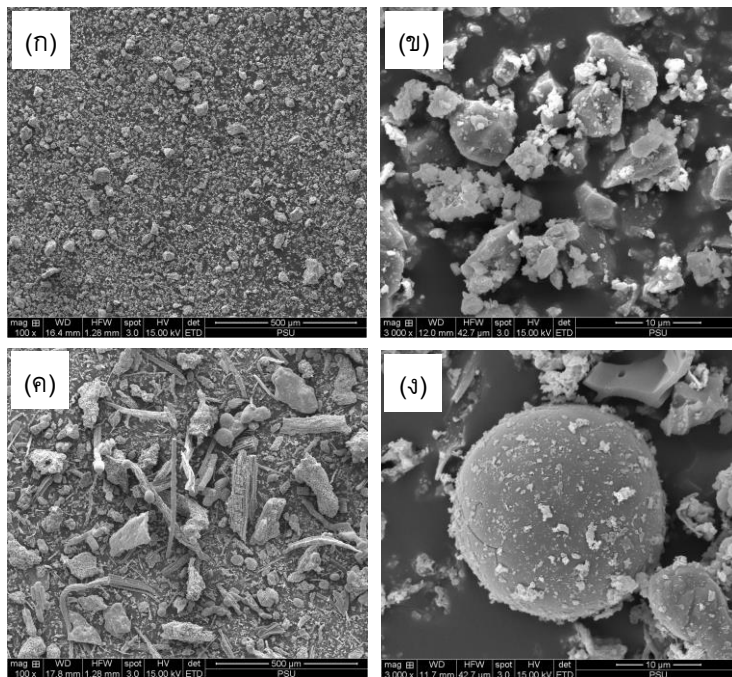
รูปที่ 2 ขนาดอนุภาคของเถ้าไม้ไผ่

สำหรับเถ้าไม้ไผ่ที่ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้จากการนำเถ้าไม้ไผ่ช่างหม่นจากเศษเหลือทิ้งเผาด้วยถังโลหะขนาด 200 ลิตร เป็นระบบเปิดอุณหภูมิขณะเผาสูงกว่า 1,000 องศาเซลเซียส เถ้าที่ได้สีเทาละเอียดขนาดนำผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 200 แล้ววิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยวิธีเดียวกันกับการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคปูนซีเมนต์ พบว่า ขนาดอนุภาคที่ปริมาณสะสม d₁₀ d₅₀ และ d₉₀ มีค่าเท่ากับ 4.0, 31.8 และ 75.3 ไมครอนตามลำดับ ดังรูปที่ 2 ซึ่งโดยภาพรวมเถ้าไม้ไผ่จะมีความต้องการน้ำสูงเป็นปัจจัยการพัฒนากำลังของ



คอนกรีต เนื่องจาก W/C กำลังอัดจะต่ำลงสอดคล้องกับ ผลการวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของปูนซีเมนต์ และเถ้าไม้ไผ่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราดชนิด Scanning Electron Microscope (SEM2) Thermo FISHER SCIENTIFIC QUANTA 400 ที่กำลังขยาย 100x และ 3,000x ดังรูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงลักษณะทางกายภาพของวัสดุทั้งสอง พบว่า การกระจายขนาดของอนุภาคปูนซีเมนต์มีความ สม่ำเสมอ (รูปที่ 3(ก)) เมื่อพิจารณารายละเอียดถึง ลักษณะรูปทรง พบว่า ปูนซีเมนต์มีลักษณะทรงเหลี่ยม

สี่เหลี่ยมรูปที่ 3 (ข) ในส่วนของเถ้าไม้ไผ่ พบว่า ขนาด อนุภาคมีขนาดที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังรูปที่ 3(ค) ซึ่งเกิดจากการที่เถ้าไม้ไผ่ไม่ได้ผ่านการบดละเอียดทำ ให้ลักษณะทางกายภาพมีทั้งที่รูปทรงยาวมีรูปร่างที่ ไม่แน่นอนและเมื่อกำลังขยาย 3,000x สามารถตรวจพบ อนุภาคทรงกลมเป็นบางส่วน ซึ่งเป็นอนุภาคของซิลิกา ร้อยละ 34.45 เป็นไปตามผลการวิเคราะห์องค์ประกอบ ทางเคมีด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ X-ray Fluorescence (XRF) Model : Zetium, PANalytical, Netherlands ดังตารางที่ 1



รูปที่ 3 ลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคจาก SEM QUANTA 400 ปูนซีเมนต์ กำลังขยาย (ก) 100x (ข) 3,000x เถ้าไม้ไผ่ กำลังขยาย (ค) 100x และ (ง) 3,000x



ในตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ พบว่า ปูนซีเมนต์มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบหลักมากถึงร้อยละ 60.25 แคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบทางเคมีที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ในส่วนของเถ้าไม้ไฟมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) และโปแตสเซียมออกไซด์ (K₂O) เป็นองค์ประกอบหลักมีมากถึงร้อยละ 34.45 และร้อยละ 20.76 ตามลำดับ และมีแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 8.10 ดังนั้น องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าไม้ไฟที่ผลรวมของ SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ มีปริมาณเท่ากับร้อยละ 35.85 ซึ่งใกล้เคียงสารปอซโซลานของ Class N ตามมาตรฐาน ASTM C618 [15]

2.2 อัตราส่วนผสมและการเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นตามอัตราส่วน ดังตารางที่ 2 ทั้งหมด 4 อัตราส่วนผสม

โดยมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณเถ้าไม้ไฟเข้าไปแทนที่บางส่วนในปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ที่ร้อยละ 0, 10, 20, และ 30 โดยน้ำหนักโดยได้ใช้อัตราส่วนผสมของวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์+เถ้าไม้ไฟ) : ทราายแม่น้ำผ่านตะแกรง 12 เมส : หินฝุ่นผ่านตะแกรง 3/8 นิ้ว (1 : 3 : 5) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) เท่ากับ 1.0 เริ่มจากการผสมวัสดุประสานกับทราายแม่น้ำให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมคอนกรีต ทำการเติมน้ำในอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้ และเติมหินฝุ่นเข้าในขั้นตอนสุดท้ายผสมกระทั่งวัสดุทั้งหมดรวมเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงนำไปเทลงในแบบหล่อคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นขนาด 10 x 20 x 6 เซนติเมตร จำนวน 5 ตัวอย่างต่ออัตราส่วนผสม เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถอดแบบหล่อนำไปบ่มน้ำที่อายุ 7, 14, 28 และ 60 วัน และบ่มอากาศที่อายุ 28 วัน ก่อนทดสอบสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และเถ้าไม้ไฟ (XRF)

ออกไซด์ (ร้อยละ)	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	SO ₃	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	TiO ₂
ปูนซีเมนต์	60.25	8.54	2.36	1.88	0.74	1.54	2.19	0.04	0.02	0.03	0.16
เถ้าไม้ไฟ	8.10	34.45	0.78	0.62	20.76	6.68	5.36	0.23	6.91	0.80	0.05

ตารางที่ 2 อัตราส่วนคอนกรีตบล็อกปูพื้นต่อวัสดุประสาน 8 กิโลกรัม

สัญลักษณ์	น้ำหนัก (กิโลกรัม)					
	วัสดุประสาน (B)		ทราาย	หิน	น้ำ (w)	น้ำ/วัสดุประสาน (W/B)
	ปูนซีเมนต์ (C)	เถ้าไม้ไฟ				
CT	8.0	0.0	24.0	40.0	8.0	1.0
BA10	7.2	0.8	24.0	40.0	8.0	1.0
BA20	6.4	1.6	24.0	40.0	8.0	1.0
BA30	5.6	2.4	24.0	40.0	8.0	1.0



2.3 การทดสอบ

2.3.1 สมบัติทางกายภาพ

การตรวจสอบมิติรูปร่าง การดูดซึมน้ำ ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C936/C936M [16] โดยใช้ก้อนตัวอย่างบ่มน้ำที่อายุ 7, 14, 28 และ 60 วัน และบ่มอากาศที่อายุ 28 วัน สำหรับการวิเคราะห์ความหนาแน่นจริงด้วยเครื่องมือทดสอบ True Density Analyzer, AccuPyc II 1340, Micromeritics, U.S.A. ณ อุณหภูมิห้อง 25 ± 2 องศาเซลเซียส พบว่าปูนซีเมนต์เท่ากับ 2.7932 ± 0.0075 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเถ้าไม้ไฟเท่ากับ 2.2852 ± 0.0033 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

2.3.2 กำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดใช้ตามมาตรฐาน [16] ทดสอบก้อนตัวอย่างบ่มน้ำที่อายุ 7, 14, 28 และ 60 วัน และบ่มอากาศที่อายุ 28 วันเช่นเดียวกับการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

2.3.3 โครงสร้างระดับจุลภาค

การวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของเนื้อคอนกรีตบล็อกโดยใช้ส่วนที่แตกหักภายหลังจากการทดสอบกำลังอัด นำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิชชัน Scanning Electron Microscope (FESEM), Model : Apreo, Brand FEI, NETHERLANDS วิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานรังสีเอ็กซ์ Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) และวิเคราะห์สารประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ X-ray Diffractometer PANALYTICAL, EMPYREAN, NETHERLANDS

3. ผลและการอภิปรายผล

3.1 ผลการวัดขนาดมิติรูปร่าง

ผลการทดสอบ มิติรูปร่างของก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น พบว่า ขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาเท่ากับ 99.79 ± 0.29 199.38 ± 0.33 และ 60.33 ± 0.56 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐาน [16] ดังนั้น การผสมเถ้าไม้ไฟแทนที่ปูนซีเมนต์ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านขนาดมิติรูปร่างอย่างมีนัยสำคัญ

3.2 ผลความหนาแน่น

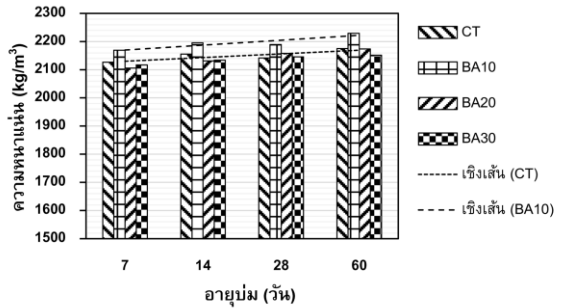
รูปที่ 4 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นผสมเถ้าไม้ไฟร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก พบว่า การใช้เถ้าไม้ไฟในอัตราส่วนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีความหนาแน่นสูงสุดอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมอื่น ๆ เนื่องจากคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีความหนาแน่นสูงสัมพันธ์ค่ากำลังอัดที่สูงเช่นเดียวกันดังรูปที่ 9 ที่บ่มน้ำทุกส่วนผสมสามารถอธิบายได้ว่า คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่มีกำลังอัดสูงแสดงถึงเกิดการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ดีนั้น จะส่งผลต่อความหนาแน่นไปด้วย กล่าวคือ เมื่อเกิดปฏิกิริยาได้ดีแสดงว่าเนื้อคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจะมีช่องว่างลดลงจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาจะเข้าไปอุดในช่องว่างมากขึ้นส่งผลให้คอนกรีตเนื้อแน่นมีความเป็นเนื้อเดียวกัน และสามารถยืนยันได้จากผลการวิเคราะห์การดูดซึมน้ำ ดังรูปที่ 6 ในขณะที่การแทนที่เถ้าไม้ไฟร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ความหนาแน่นน้อยกว่าอย่างชัดเจน แต่มีค่าใกล้เคียงตัวอย่างที่ไม่ผสมเถ้าไม้ไฟ และเมื่อพิจารณาจากเนื้อคอนกรีตจะเป็นเนื้อเดียวกัน เกิดรูพรองหลายตำแหน่งมีผลทำให้น้ำหนัก



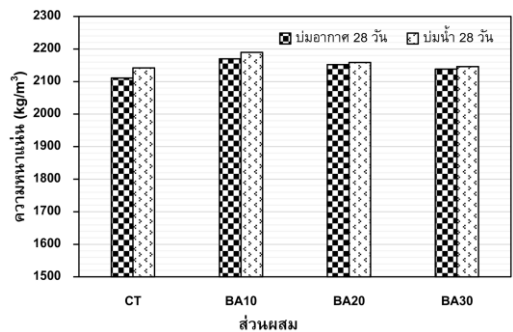
น้อยกว่าตัวอย่างที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน และเป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่ออายุบ่มเพิ่มขึ้นความหนาแน่นจะมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาที่ดีขึ้นเมื่ออายุบ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของลักษณะการบ่มทั้งการบ่มน้ำและบ่มอากาศต่อผลความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่อายุ 28 วัน ดังรูปที่ 5 พบว่า การบ่มน้ำความหนาแน่นคอนกรีตบล็อกมีค่ามากกว่าในทุกอัตราส่วนผสม เนื่องจากการบ่มน้ำคอนกรีตสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีกว่าการบ่มอากาศส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์เข้าไปอุดช่องว่างได้มากกว่าทำให้ได้น้ำหนักมาก อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาความหนาแน่นจากปริมาณแถ้าไม้ไผ่ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปริมาณมากขึ้น พบว่า ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นลดลง เนื่องจากแถ้าไม้ไผ่มีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) เท่ากับ 2.3 และปูนซีเมนต์ 2.8 มีผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง

3.3 ผลการดูดซึมน้ำ

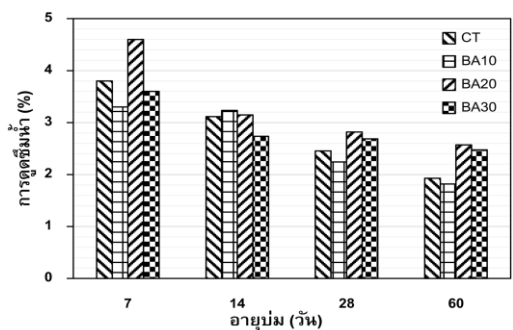
ผลการดูดซึมน้ำได้ทำการทดสอบในทุกอายุบ่มที่ 7, 14, 28 และ 60 วัน การดูดซึมน้ำนี้ทดสอบกับก้อนตัวอย่างขนาดอิฐบล็อกประสานปูพื้น 10 x 20 x 6 เซนติเมตร ดังรูปที่ 6 อายุบ่มที่มากขึ้นมีผลทำให้ค่าการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลงเกิดการทำปฏิกิริยานานขึ้นมีผลทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มากขึ้นมีผลต่อการปิดช่องว่างรูพรองจากผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น และเป็นที่น่าสังเกตเป็นอย่างยิ่งว่าตัวอย่าง CT และ BA10 มีค่าการดูดซึมน้ำน้อยกว่าตัวอย่าง BA20 และ BA30 จะมีความสัมพันธ์กับกำลังอัด ตัวอย่างที่การดูดซึมน้ำน้อยกำลังอัดสูง ในขณะที่ตัวอย่างที่การดูดซึมน้ำมากำลังอัดลดลง ปริมาณแถ้าไม้ไผ่ที่มากขึ้นมีแนวโน้มให้



รูปที่ 4 ความหนาแน่นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น



รูปที่ 5 ความหนาแน่นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นตามวิธีการบ่ม



รูปที่ 6 การดูดซึมน้ำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

เกิดการดูดซึมน้ำมากขึ้น ซึ่งในการวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงเนื้อของอิฐบล็อกประสานปูพื้นที่เกิดโพรงขึ้นมีความแตกต่างอย่างชัดเจน [17] อธิบายว่าการลดปริมาณรูพรอง

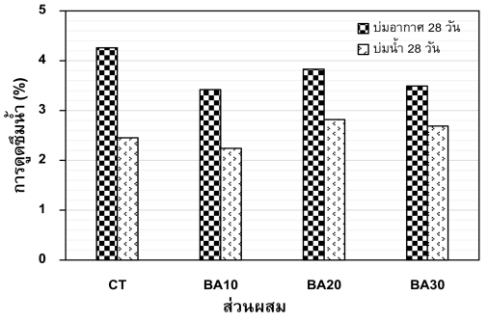


สามารถช่วยลดปริมาณการดูดซึมน้ำได้เป็นอย่างดี เช่นเดียวกับกับการศึกษาของ Wang *et. al.* [18] ปริมาณโพรงมากส่งผลให้มีการดูดซึมน้ำมาก การศึกษาของ Aprianti *et. al.* [19] ที่ใช้แก้วไมไฟต์ผสมคอนกรีตผลการทดสอบการดูดซึมน้ำมีลักษณะสอดคล้องกับการศึกษานี้ โดยปริมาณแก้วไมไฟต์ที่เพิ่มมากขึ้นการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นด้วย และอายุบ่มมากขึ้นการดูดซึมน้ำลดลง

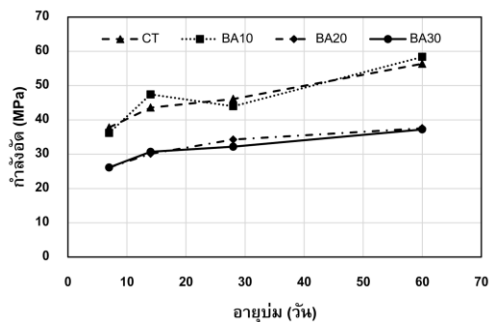
รูปที่ 7 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นปูพื้นที่อายุบ่ม 28 วัน ของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นแบบบ่มน้ำและบ่มอากาศ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการบ่มน้ำมีปริมาณการดูดซึมน้ำได้น้ำน้อยกว่าการบ่มอากาศซึ่งแน่นอนว่าการบ่มน้ำจะมีผลให้น้ำแทรกเข้าไปในเนื้อคอนกรีตเพิ่มขึ้น จากน้ำที่เกิดจากอัตราส่วนผสมของคอนกรีตเบื้องต้นจึงมีความต้องการน้ำของคอนกรีตลดลงเนื่องจากมีปริมาณของน้ำอยู่จำนวนหนึ่งแล้วในเนื้อคอนกรีตและการบ่มน้ำของคอนกรีตเป็นปัจจัยการทำปฏิกิริยาได้ดีกว่าการบ่มอากาศ ปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เนื้อคอนกรีตมีความแน่นและทึบกว่าคอนกรีตที่ทำปฏิกิริยาได้ไม่ดี เมื่อเปรียบเทียบกำลังอัดของการบ่ม 2 ลักษณะ ดังรูปที่ 9 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนระหว่างการบ่มทั้ง 2 แบบ หากพิจารณาผลของการดูดซึมน้ำทั้ง 2 แบบ ดังกล่าวเห็นถึงความแตกต่างอย่างมากถึงความสามารถในการดูดซึมน้ำ

3.4 ผลกำลังอัด

รูปที่ 8 ผลกำลังอัดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทำการทดสอบก่อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกโดยการกดตัวอย่างตามมาตรฐาน [16] ทำให้ค่ากำลังอัดที่ได้มีค่าตามแนวโน้มและทิศทางของค่าการทดสอบมีลักษณะ



รูปที่ 7 การดูดซึมน้ำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นตามวิธีการบ่ม



รูปที่ 8 กำลังอัดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

สอดคล้องผลการทดสอบที่ผ่านมา Aprianti *et. al.* [19] ที่การผสมแก้วไมไฟต์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม (ปูนซีเมนต์อย่างเดียว) การผสมแก้วไมไฟต์ปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ขึ้นไปมีกำลังอัดลดลงร้อยละ 25.69 และ ร้อยละ 33.34 ที่อายุ 28 และ 60 วัน ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม (CT) นั้นแสดงให้เห็นว่าการผสมแก้วไมไฟต์ปริมาณมากไม่ได้ส่งผลดีด้านกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น เมื่อพิจารณาจากองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นผลรวมของสารปอซโซลาน ($SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$) [15] ซึ่งของแก้วไมไฟต์มีปริมาณเท่ากับร้อยละ 35.85 ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ไม่สมบูรณ์



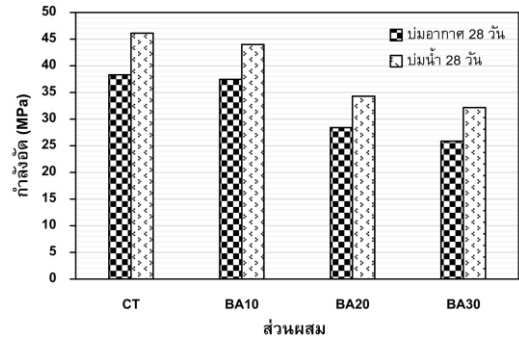
มากนัก อีกประเด็นที่ส่งผลให้กำลังอัดที่ได้มีค่าลดลง เนื่องจากถ้าไม่ใฝ่มีขนาดอนุภาคใหญ่โดยมีขนาดโตกว่า 45 ไมครอน ประมาณร้อยละ 62 ในขณะที่ปูนซีเมนต์อนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 45 ไมครอน ประมาณร้อยละ 96 ซึ่งอนุภาคที่มีความละเอียดมากสามารถทำปฏิกิริยาได้ดี Supit *et al.* [20]

รูปที่ 9 กำลังอัดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นแบบที่บ่มน้ำและบ่มอากาศเป็นการเปรียบเทียบผลกระทบต่อการแช่น้ำกับไม่แช่น้ำ (เก็บที่อุณหภูมิห้อง) จากรูปที่ 9 ค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ผ่านการแช่น้ำมีค่ามากกว่าคอนกรีตที่บ่มอากาศในทุกอัตราส่วนผสม เนื่องจากการบ่มน้ำเป็นการช่วยยับยั้งการระเหยของน้ำในแต่ละอัตราส่วนผสมทำให้มีน้ำสำหรับการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน ในการบ่มก่อนตัวอย่างในอากาศโดยไม่มีการห่อหุ้มเพื่อเก็บน้ำในเนื้อคอนกรีตทำให้มีน้ำในเนื้อคอนกรีตสามารถระเหยออกได้บางส่วน จึงไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน

3.5 ผลโครงสร้างระดับจุลภาค

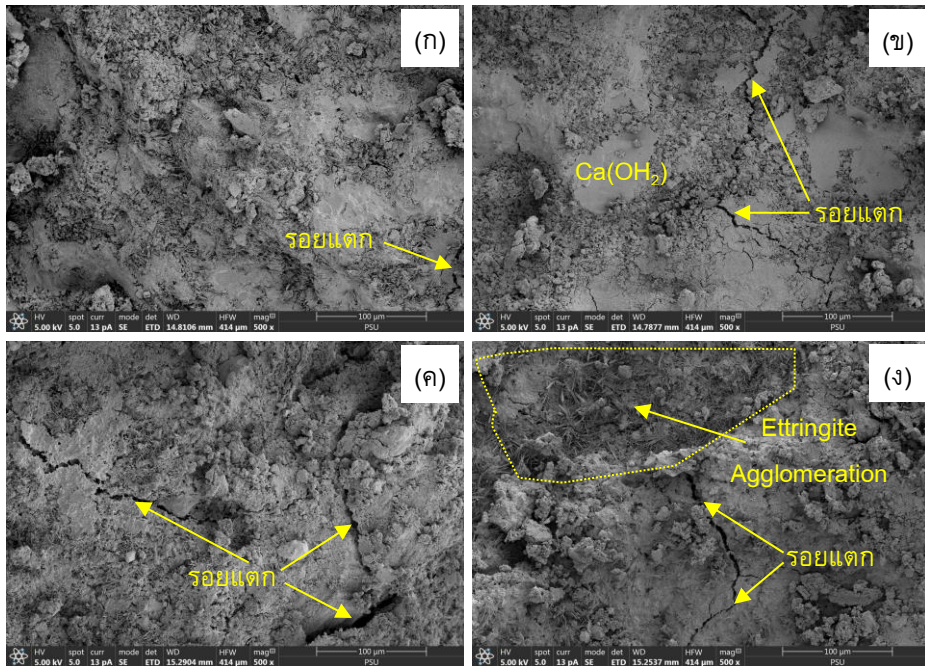
3.5.1 ภาพถ่ายโครงสร้างระดับจุลภาค

รูปที่ 10 ผลโครงสร้างระดับจุลภาคของเนื้อคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยนำส่วนที่แตกหักภายหลังจากการทดสอบกำลังอัด ดังรูปที่ 9 ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิชชัน ที่กำลังขยาย 500x (ก) CT (ข) BA10 (ค) BA20 และ BA30 บ่มน้ำที่อายุ 28 วัน พบว่า เนื้อคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ผสมเถ้าไม้ไผ่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (BA10) มีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenous) และความแน่น (Dense Compact) มีเศษเนื้อคอนกรีตประปรายและพบเนื้อมีลักษณะแผ่นเป็นส่วนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $Ca(OH)_2$



รูปที่ 9 กำลังอัดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นต่างวิธีการบ่ม

และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate C-S-H) ทำหน้าที่เป็นตัวประสานซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญของปฏิกิริยาไฮเดรชัน ความเป็นเนื้อเดียวกันและแน่นส่งผลโดยตรงต่อกำลังอัด และพบว่าที่อัตราส่วนผสมเถ้าไม้ไผ่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก สามารถให้กำลังอัดได้ดีสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์จากภาพถ่ายโครงสร้างระดับจุลภาค ในขณะที่ตัวอย่างใช้เถ้าไม้ไผ่ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก (BA30) ภาพถ่ายโครงสร้างระดับจุลภาคแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงเนื้อคอนกรีตที่มีโพรงอากาศอยู่จำนวนมาก ซึ่งมีผลให้คอนกรีตน้ำหนักเบาและมีผลให้คอนกรีตมีค่ากำลังอัดน้อยซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบความหนาแน่นและกำลังอัด ดังรูปที่ 4 และ 8 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถพบผลิตภัณฑ์คล้ายกับเข็มอยู่จำนวนมากซึ่งเป็นส่วนของเอททริงไทต์ (Etringite) ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีผลเสียต่อกำลังอัดของคอนกรีต เนื่องจากแท่งเข็มยาวจะไปแทงให้เนื้อคอนกรีตแตกออกจากกัน เกิดเป็นรอยแตกร้าวทำให้คอนกรีตรับแรงได้น้อย Lubej *et al.* [21] กล่าวถึงผลึกเอททริงไทต์สามารถทำให้เกิดรอยร้าวและการขยายตัวได้ ซึ่งเป็นสาเหตุที่จะทำให้เกิดความเสียหายขณะรับแรงได้



รูปที่ 10 ภาพโครงสร้างระดับจุลภาคคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจาก FESEM ที่กำลังขยาย 500x
(ก) CT (ข) BA10 (ค) BA20 และ BA30 บ่มน้ำที่อายุ 28 วัน

3.5.2 การวิเคราะห์ธาตุ

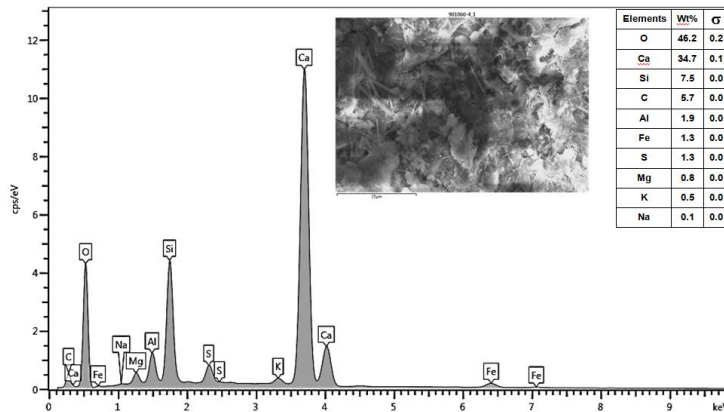
การวิเคราะห์ธาตุโดยเลือกตัวอย่างทดสอบจากผลกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นของ BA10 พบว่า ที่มีค่ากำลังอัดสูงที่สุดของตัวอย่างทั้งหมด คือ ตัวอย่างรหัส 901060-4 และ BA20 พบว่า ที่มีค่ากำลังอัดน้อยที่สุดของตัวอย่างทั้งหมด คือ ตัวอย่างรหัส 80207-5 จึงนำมาวิเคราะห์ธาตุด้วยสเปกโทรเมตรีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (EDS) แบบ Mapping Analysis ของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ดังรูปที่ 11 และ 12 เมื่อพิจารณารูปที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์แบบ Mapping Analysis ของตัวอย่างผสมเถ้าไม้ไฟร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (BA10) จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็น

เห็นว่าธาตุแคลเซียม (Ca) แสดงผลอย่างชัดเจนเท่ากับร้อยละ 34.7 โดยน้ำหนัก ซึ่งมาจากปูนซีเมนต์ นอกจากนั้นยังพบซิลิกอน (Si) ในปริมาณร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งมาจากเถ้าไม้ไฟเป็นหลักเนื่องจากในเถ้าไม้ไฟมี SiO_2 เป็นองค์ประกอบทางเคมีหลักและยังพบบางส่วนในปูนซีเมนต์ทำให้ในการวิเคราะห์ธาตุจะพบสองธาตุดังกล่าวเป็นหลัก เมื่อพิจารณาในรูปที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์ของตัวอย่างที่ผสมเถ้าไม้ไฟ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก (BA20) พบแคลเซียมในปริมาณร้อยละ 19.9 โดยน้ำหนัก คล้ายกับตัวอย่าง BA10 แต่มีปริมาณน้อยกว่า เนื่องจากเป็นตัวอย่างที่ลดปริมาณปูนซีเมนต์และเป็นที่น่าสังเกตว่ามีคาร์บอน (C) เท่ากับ

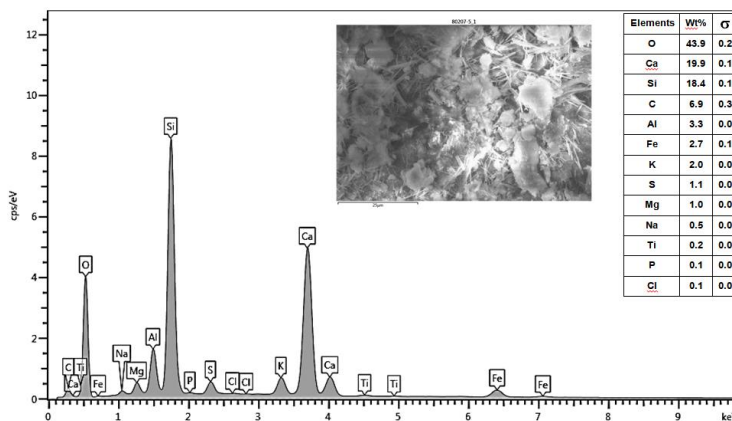


ร้อยละ 6.9 โดยน้ำหนัก เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนั้น ยังตรวจพบธาตุโพแทสเซียม (K) ที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.5 (BA10) เป็น 2.0 (BA20) โดยน้ำหนัก เป็นผลมาจากการที่เผาไหม้ไม่มี K_2O ในปริมาณสูงเมื่อพิจารณาโดยภาพรวม พบว่า การเปลี่ยนแปลงธาตุของตัวอย่างทั้งสองมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อาจจะเป็นเรื่องยากที่จะใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของธาตุที่จะมีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น จึงจำเป็นต้องประเมินจากการวิเคราะห์อื่น ๆ มา

ประกอบการอธิบาย โดยเฉพาะความแน่นเป็นเนื้อเดียวกัน จากการวิเคราะห์เชิงปริมาณของธาตุต่าง ๆ ทั้งสองส่วนผสม พบว่า ออกซิเจน แคลเซียม และซิลิกอน ถูกพบในปริมาณมากเนื่องจากเป็นธาตุที่ปรากฏในวัสดุประสานเป็นหลัก โดยเฉพาะออกซิเจนที่พบในปริมาณมากกว่าธาตุอื่น ๆ นั้น เท่ากับร้อยละ 46.2 (BA10) และ 43.9 (BA20) โดยน้ำหนักเนื่องจากในองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสานมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบทั้งหมด



รูปที่ 11 ปริมาณธาตุแบบ Mapping Analysis อัตราส่วนผสม BA10 ของตัวอย่างรหัส 901060-4



รูปที่ 12 ปริมาณธาตุแบบ Mapping Analysis อัตราส่วนผสม BA20 ที่ตัวอย่างรหัส 80207-5

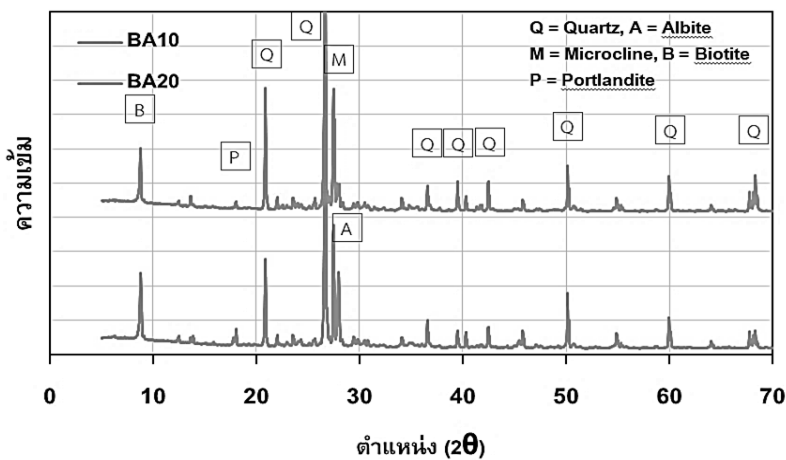


3.5.3 สารประกอบ

รูปที่ 13 ผลการวิเคราะห์สารประกอบของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นผสมเถ้าไม้ไผ่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยการนำตัวอย่างภายหลังการทดสอบกำลังอัดเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ธาตุ พบว่า มีควอตซ์ (Quartz, Silicon Oxide – SiO₂) เป็นสารประกอบที่แสดงพีคอย่างเด่นชัดที่มาจาก SiO₂ ของเถ้าไม้ไผ่ สัมพันธ์กับการวิเคราะห์พฤติกรรมปอซโซลานิกเปรียบเทียบระหว่างเถ้าเปลือกไม้ไผ่กับเถ้าชานอ้อย [22] นอกจากนี้ยังตรวจพบไบโอไทต์ (Biotite, Potassium Iron Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide – KFeMg₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂) ที่ตำแหน่ง 9 (2θ) พบพีคเล็กน้อยของพอร์ตแลนด์ไฮดรอกไซด์ (Portlandite, Calcium Hydroxide – Ca(OH)₂) ที่ ตำแหน่ง 18 (2θ) พอร์ตแลนด์ไฮดรอกไซด์เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์กับน้ำ เมื่อแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) เป็นสารตั้งต้นรวมกับ SiO₂ และ Al₂O₃ ทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกขึ้น

ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้น ลดช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ลงเนื่องจากมีสมบัติเป็นตัวประสานเข้าแทนที่ช่องว่างคอนกรีตทำให้เนื้อคอนกรีตแน่นขึ้นและ พบว่า ตัวอย่าง BA10 ค่ากำลังอัดและความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 9 และ 5 ที่ชัดเจนกว่าตัวอย่าง BA20 สอดคล้องกับงานวิจัย [6, 7, 10]

นอกจากนั้น คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทั้ง 2 ส่วนผสมพบไมโครไคลน์ (Microcline, Potassium Aluminum Silicate – K(AlSi₃O₈)) ที่ตำแหน่ง 27 (2θ) การปรากฏพีคเด่นของไมโครไคลน์ เกิดจากเถ้าไม้ไผ่ที่มีโพแทสเซียมออกไซด์ (K₂O) ปริมาณสูง อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าสารประกอบอัลไบต์ (Albite, Sodium Calcium Aluminum Silicate – (Na_{0.84}Ca_{0.16}) Al_{1.16}Si_{2.84}O₈) จะปรากฏพีคที่เด่นชัดในคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นผสมเถ้าไม้ไผ่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (BA10) และพีคลดลงอย่างชัดเจนในตัวอย่างที่ผสมเถ้าไม้ไผ่ร้อยละ 20 โดย น้ำหนัก (BA20) คือ (Na_{0.75}Ca_{0.25}) Al_{1.26}Si_{2.74}O₈) สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ธาตุสามารถตรวจพบโซเดียม (Na) ดังรูปที่ 11 และ 12



รูปที่ 13 สารองค์ประกอบคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นผสมเถ้าไม้ไผ่



4. สรุปผล

ถ้าไม่ไฟที่ผ่านการเผาแล้วไม่ไฟเหลือทิ้งจากการผลิตสิ่งของจากไม้ไฟ สามารถนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน เพื่อประยุกต์ใช้กับงานที่ไม่ได้เป็นชิ้นส่วนโครงสร้าง

1. การผสมเก้าไม้ไฟแทนที่ปูนซีเมนต์ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านขนาดมิติรูปร่างของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น
2. การผสมเก้าไม้ไฟมีแนวโน้มทำให้ความหนาแน่นคอนกรีตบล็อกประสานลดลง ยกเว้นตัวอย่างที่แทนที่เก้าไม้ไฟร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ในขณะที่เมื่อใช้เวลานานขึ้นความหนาแน่นคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย
3. การดูดซึมน้ำมีค่าลดลงอย่างชัดเจนเมื่อคอนกรีตมีการบ่มที่เวลานานมากขึ้น เนื่องจากคอนกรีตเกิดปฏิกิริยาได้ติมีช่องว่างน้อยลง และการบ่มอากาศที่อุณหภูมิห้องมีผลต่อการดูดซึมน้ำมากกว่าการบ่มน้ำในทุกอัตราส่วนผสม
4. การแทนที่เก้าไม้ไฟร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และบ่มน้ำเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น
5. โครงสร้างระดับจุลภาคของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ผสมเก้าไม้ไฟร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีความเป็นเนื้อเดียวกันและความแน่นมีส่วนประกอบของแคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตทำหน้าที่เป็นตัวประสานซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญของปฏิกิริยาไฮเดรชันโดยตรงต่อกำลังอัด แต่ยังคงพบผลึกแอททริงไกต์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่จะทำให้เกิดความเสียหายขณะรับแรงด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณชุดโครงการวิจัยเรื่องการพัฒนานวัตกรรมจากไม้ไฟเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ไฟ จังหวัดสตูล จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) รหัสโครงการ 2290700 สัญญาเลขที่FRB650001/0172 ปีงบประมาณ 2565 มทร.ศรีวิชัย โครงการย่อยที่ 4

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Warinlai and P. Krammart, Slump, compressive strength, chloride penetration resistance and carbonation of concrete with partial replacement of cement by fly ash, ground bottom ash, limestone powder, The Journal of KMUTNB, 2021, 31(3), 438-449. (in Thai)
- [2] C.H. Huang, S.K. Lin, C.S. Chang and H.J. Chen, Mix proportions and mechanical properties of concrete containing very high-volume of class F fly ash, Construction and Building Materials, 2013, 46, 71-78.
- [3] M. da S. Magalhães, B.F. Cezar and P.R. Lustosa, Influence of Brazilian fly ash fineness on the cementing efficiency factor, compressive strength and Young's modulus of concrete, Developments in the Built Environment, 2023, 14, 100147.



- [4] W. Chalee, T. Cheewaket and C. Jaturapitakkul, Enhanced durability of concrete with palm oil fuel ash in a marine environment, *Journal of Materials Research and Technology*, 2021, 13, 128-137.
- [5] A.M. Zeyad, M.A.M. Johari, A. Abadel, A. Abutaleb, M.J.A. Mijarsah and A. Almalki, Transport properties of palm oil fuel ash-based high-performance green concrete subjected to steam curing regimes, *Case Studies in Construction Materials*, 2022, 16, e01077.
- [6] C. Hansudewechakul, W. Uttavachon, V. Nuntarplom, A. Noalseesai and M. Srivichai, Mechanical properties study of concrete block containing bagasse ash and corn cob ash, *Wichcha Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University*, 2018, 37(1), 69-80. (in Thai)
- [7] T. Klathae, N. Sompakdee, C. Buathongkhue and N. Deedard, Utilization of parawood ash in concrete paving blocks, *Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal*, 2020, 12(1), 36-48. (in Thai)
- [8] TIS 827-2565, Standard Specification for Interlocking Concrete Paving Blocks, 2022. (in Thai)
- [9] A.R. Djamaluddin, M.A. Caronge, M.W. Tjaronge, A.T. Lando and R. Irmawaty, Evaluation of sustainable concrete paving blocks incorporating processed waste tea, *Case Studies in Construction Materials*, 2020, 12, e00325.
- [10] S.O. Odeyemi, O.D. Atoyebi, O.S. Kegbeyale, M.A. Anifowose, O.T. Odeyemi, A.G. Adeniyi and O.A. Orisadare, Mechanical properties and microstructure of high-performance concrete with bamboo leaf ash as additive, *Cleaner Engineering and Technology*, 2022, 6, 100352.
- [11] A.A. Umoh and I. Odesola, Characteristics of bamboo leaf ash blended cement paste and mortar, *Civil Engineering Dimension*, 2015, 17(1), 22-28.
- [12] L.H.P. Silva, J.R. Tamashiro, F.F.G. de Paiva, L.F. dos Santos, S.R. Teixeira, A. Kinoshita, and P.A. Antunes, Bamboo leaf ash for use as mineral addition with Portland cement, *Journal of Building Materials*, 2021, 42, 102769.
- [13] G. Abebaw, B. Bewket and S. Getahun, Experimental investigation on effect of partial replacement of cement with bamboo leaf ash on concrete property, *Advances in Civil Engineering*, 2021, 6468444.



- [14] ASTM C150-2007, Standard Specification for Portland Cement, 2007.
- [15] ASTM C618-2019, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, 2019.
- [16] ASTM C936/C936M-21, Standard Specification for Solid Concrete Interlocking Paving Units¹, 2021.
- [17] S. Koliass and C. Georgiou, The effect of paste volume and of water content on the strength and water absorption of concrete, *Cement and Concrete Composites*, 2005, 27(2), 211- 216.
- [18] X. Wang, M. Sun and S. Guo, Water absorption characteristics of cement-based materials based on the chemical reaction, *Construction and Building Materials*, 2019, 220, 607-614.
- [19] E. Aprianti, P. Shafiqh, S. Bahri and J.N. Farahani, Supplementary cementitious materials origin from agricultural wastes – A review, *Construction and Building Materials*, 2015, 74, 176-187.
- [20] S.W.M. Supit, F.U.A. Shaikh and P.K. Sarker, Effect of ultrafine fly ash on mechanical properties of high-volume fly ash mortar, *Construction and Building Materials*, 2014, 51, 278-286.
- [21] S. Lubej, I. Anžel, P. Jelušič, L. Kosec and A. Ivanič, The effect of delayed ettringite formation on fine grained aerated concrete mechanical properties, *Science and Engineering of Composite Materials*, 2016, 23(3), 325-334.
- [22] E.D. Perez-Diaz, J.L. Reyes-Araiza, B.M. Millán-Malo, S.M. Londoño-Restrepo and M.E. Rodríguez-García, Evaluation of bamboo cortex ash as supplementary cementitious material: Comparative analysis with sugarcane bagasse ash and natural pozzolan, *Journal of Building Engineering*, 2023, 66, 105846.