



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การศึกษาการใช้เถ้าเตาเผาขยะชุมชนเป็นวัตถุดิบเพิ่มเติมในการผลิตบล็อกประสาน

A study on the utilization of municipal solid waste incineration ash as an additional raw material in interlocking blocks

พงศกร พิมพะนิตย์¹ สำเร็จ สารมาคม² จีรพรรณ ดลรัักษ์^{2*}

¹ สาขาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำและนวัตกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

² สาขาวิศวกรรมบริหารงานก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

Pongsakon Pimpanit¹ Samrej Saramakhom² Jeerapan Donrak^{2*}

¹ Program of Information Innovation and Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, Rajabhat Maha Sarakham University Maha Sarakham 44000

² Program of Construction Management Engineering, Faculty of Engineering, Rajabhat Maha Sarakham University Maha Sarakham 44000

* Corresponding author.

E-mail: don_jeerapan@yahoo.com; Telephone: 0 89709 9492

วันที่รับบทความ 18 มีนาคม 2569; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 8 พฤษภาคม 2569; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 21 มิถุนายน 2569

วันที่ตอบรับบทความ 30 กรกฎาคม 2569

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการใช้วัสดุเถ้าจากเตาเผาขยะชุมชนซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณขยะที่เผาจนมีปัญหาในการกักเก็บ มาเป็นวัตถุดิบเพิ่มเติมบางส่วนของมวลรวมในการผลิตบล็อกประสาน โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ได้แก่ กำลังอัด หน่วยน้ำหนัก และการดูดซึมน้ำ การเตรียมตัวอย่างโดยปรับสัดส่วนวัสดุในอัตราส่วนผสมด้วยน้ำหนัก ระหว่าง ปูนซีเมนต์ ต่อดินลูกรังที่ใช้เท่ากับ 1:6, 1:7 และ 1:8 หลังจากนั้นเติมเถ้าจากเตาเผาขยะในอัตราร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ และ ทำการการบ่มที่ 7, 14 และ 28 วัน และทำการทดสอบตามมาตรฐาน ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าในส่วนผสม ส่งผลให้หน่วยน้ำหนักของบล็อกลดลง ขณะเดียวกันค่าการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากโครงสร้างที่มีช่องว่างภายในมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ในอัตราส่วน ซีเมนต์ 1 ส่วน ต่อ ดินลูกรัง 6 ส่วน ผสมเถ้าจากเตาเผาขยะชุมชนเข้าไปร้อยละ 10 และมีอายุการบ่มที่ 28 วัน มีค่ากำลังอัด 70.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และค่าการดูดซึมน้ำ 104 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จึงสามารถผ่านเกณฑ์บล็อกประสานชนิดรับน้ำหนักตามมาตรฐาน มพข. 602/2547 ดังนั้นการใช้เถ้าเตาเผาขยะชุมชน มาเป็นวัสดุผสมในบล็อกประสานสามารถใช้ได้โดยควรควบคุมปริมาณการใช้ให้เหมาะสม การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นแนวทางที่สามารถใช้ในการลดการใช้วัสดุผสม ลดต้นทุน และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้ง และยังเป็นทางเลือกในการกักมลพิษจากเถ้าขยะชุมชนให้เกิดผลกระทบต่อชุมชนลดลงอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ

เถ้าเตาเผาขยะชุมชน บล็อกประสาน กำลังอัด การดูดซึมน้ำ

Abstract

This study aims to explore the utilization of municipal solid waste incineration ash, which has been increasingly generated and poses storage challenges, as a partial replacement for aggregates in the production of interlocking blocks. The research focuses on evaluating the physical and mechanical properties, including compressive strength, unit weight,

and water absorption. Specimens were prepared with cement-to-lateritic soil ratios of 1:6, 1:7, and 1:8, incorporating ash at replacement levels of 10%, 20%, 30%, 40%, and 50% by weight. All samples were cured for 7, 14, and 28 days and tested according to the Thai Community Product Standard (TCPS 602/2547). The results revealed that increasing ash content reduced the unit weight of the blocks due to its lower density, while water absorption tended to increase as a result of higher internal porosity. Notably, at a cement-to-soil ratio of 1:6 with 10% ash and 28-day curing, the compressive strength reached 70.2 kg/cm² and water absorption was 104 kg/m³, meeting the requirements for load-bearing interlocking blocks. These findings indicate that controlled incorporation of incineration ash can produce blocks that comply with national standards while reducing the use of conventional materials. This approach not only lowers production costs and enhances the value of waste materials but also provides a sustainable solution for mitigating environmental impacts associated with ash disposal in communities.

Keywords

municipal solid waste incineration ash; Interlocking blocks; compressive strength; water absorption

1. บทนำ

ปัจจุบันปริมาณขยะมูลฝอยในเขตชุมชนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการขยายตัวของประชากรและการพัฒนาเศรษฐกิจ ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านการจัดการขยะและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หนึ่งในวิธีการกำจัดขยะที่นิยมใช้คือการเผาขยะในเตาเผาขยะชุมชน ซึ่งสามารถลดปริมาณขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามกระบวนการเผายขยะดังกล่าวจะก่อให้เกิดของเสียที่เรียกว่า เถ้าเตาเผาขยะ (Municipal Solid Waste Incineration Ash) ซึ่งแบ่งออกเป็นเถ้าลอย (Fly Ash) และเถ้าก้นเตา (Bottom Ash) โดยวัสดุเหล่านี้ยังคงต้องได้รับการจัดการอย่างเหมาะสมเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [1-2]

จากข้อมูลพบว่าเถ้าจากกระบวนการเผาเมืองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ เช่น ซิลิกา (SiO₂) อะลูมินา (Al₂O₃) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan Material) สามารถทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์และช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกลของวัสดุก่อสร้างได้ [3,4] ดังนั้นจึงมีการนำวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมาใช้ในงานวิศวกรรม เช่น การผลิตคอนกรีต มอร์ตาร์ และวัสดุก่อสร้างอื่น ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง บล็อกประสานหรือคอนกรีตบล็อก เป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้รับความนิยม เนื่องจากสามารถผลิตได้ง่าย มีต้นทุนต่ำ และมีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับงานก่อสร้างทั่วไป งานวิจัยหลายงานได้ศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม เช่น เถ้าลอย เถ้าชีวมวล และเถ้าถ่านหิน มา

ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตบล็อกคอนกรีต เพื่อลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้ง [3,4]

จิรศักดิ์ และคณะ[3] ได้ศึกษาการใช้เถ้าลอยปริมาณสูงในการผลิตบล็อกคอนกรีตประสาน พบว่าสามารถให้กำลังอัดที่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และช่วยลดปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผลิตได้ นอกจากนี้ยังมีการวิจัยที่ศึกษาการนำเถ้าชีวมวลหรือเถ้าถ่านหินมาใช้ในอิฐประสาน ซึ่งพบว่าสามารถลดน้ำหนักของบล็อกและยังคงให้กำลังอัดที่เหมาะสมต่อการใช้งาน [5]

1.1 เถ้าจากกระบวนการเผา

เถ้าจากกระบวนการเผาเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหรือของเสีย เช่น ถ่านหิน ชีวมวล และขยะชุมชน โดยทั่วไปอุณหภูมิเผายขยะหรือเชื้อเพลิงในประเทศไทยมีความหลากหลาย ตั้งแต่ระดับ 400–600 องศาเซลเซียส ในโรงไฟฟ้าชีวมวล ไปจนถึงมากกว่า 1,200 องศาเซลเซียส ในโรงไฟฟ้าถ่านหิน[5,6] ซึ่งเถ้าที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทหลัก ได้แก่ เถ้าลอยและเถ้าก้นเตา โดยเถ้าทั้งสองชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีที่สามารถทำปฏิกิริยากับซีเมนต์และช่วยเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุซีเมนต์ได้ [1] Tang et al. [7] ได้ศึกษาคุณสมบัติของเถ้าก้นเตาจากเตาเผาขยะและพบว่าสามารถนำมาใช้แทนที่มวลรวมบางส่วนในคอนกรีตได้โดยยังคงให้กำลังอัดที่เหมาะสมต่อการใช้งาน นอกจากนี้ Lam et al. [8] พบว่าการใช้เถ้าก้นเตาแทนทรายในคอนกรีต สามารถให้กำลังอัดที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ส่วน Aubert et al. [9] และ Lynn et al. [10] พบว่าเถ้าจากเตาเผาขยะมีศักยภาพ

ในการนำมาใช้เป็นวัสดุผสมในวัสดุก่อสร้าง เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีที่สามารถทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าลักษณะทางกายภาพและขนาดของเถ้ามีความแตกต่างกันตามตำแหน่งที่เก็บ โดยเถ้าหนัก (Bottom Ash) มีลักษณะขรุขระ มีรูพรุน และรูปทรงไม่แน่นอน[2,10] มีขนาดอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.1 ถึง 10 มิลลิเมตร และบางส่วนอาจใหญ่ถึง 30 มิลลิเมตรซึ่งมีความใกล้เคียงกับมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ [11-12] ส่วนเถ้าลอย (Fly Ash) ของการเผาขยะจากชุมชนเป็นอนุภาคละเอียดมีขนาดส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 1 ถึง 300 ไมโครเมตร[13]

1.2 การใช้เถ้าในวัสดุก่อสร้าง

งานวิจัยจำนวนมากสนใจที่จะศึกษาการใช้เถ้าจากกระบวนการเผาเป็นวัสดุทดแทนในคอนกรีตและมอร์ตาร์ เนื่องจากสามารถช่วยลดการใช้ปูนซีเมนต์และลดต้นทุนในการผลิตวัสดุก่อสร้างได้ [14-15] Siddique[2] ได้ศึกษาข้อมูลการใช้เถ้าจากเตาเผาขยะในวัสดุก่อสร้าง พบว่าสามารถนำมาใช้แทนที่มวลรวมบางส่วนในคอนกรีตได้บางส่วน นอกจากนี้ยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการกำจัดของเสีย

1.3 การใช้เถ้าในการผลิตบล็อกประสาน

มีงานวิจัยหลายงานที่ศึกษาการนำเถ้ามาใช้เป็นส่วนผสมในบล็อกคอนกรีต เช่น งานวิจัยของ จีรศักดิ์ และคณะ[3] ที่ศึกษาบล็อกประสานจากเถ้าลอย และงานวิจัยของ วิจิตร และคณะ[5] ที่ศึกษาการใช้เถ้าถ่านหินและเถ้าชีวมวล ซึ่งมีบทบาทเป็นวัสดุปอซโซลาน(Pozzolanic Material) ในอิฐบล็อกประสานดินซีเมนต์ ผลการศึกษาพบว่าวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการเผาสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในบล็อกคอนกรีตได้ โดยยังคงให้ค่ากำลังอัดที่เหมาะสมต่อการใช้งาน และช่วยลดปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผลิตในปริมาณที่เหมาะสม[5,7]

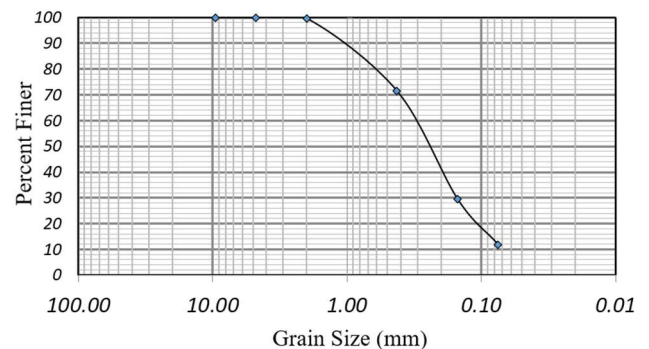
อนุสรณ์ และกริสน์[16] ได้ทำการศึกษากำลังอัดของอิฐบล็อกประสานเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนซีเมนต์ต่อลูกรังเท่ากับ 1:7 ที่อายุ 14 28 และ 90 วัน ผลการศึกษาพบว่าค่ากำลังอัดและการดูดซึมน้ำเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับอิฐบล็อกประสาน และยังพบว่าค่ากำลังอัดมีการเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าการศึกษาการนำเถ้าจากเตาเผาขยะชุมชนมาใช้ในการผลิตบล็อกประสานจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถช่วยลดปริมาณของเสียเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้ง และพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาคุณสมบัติของบล็อกประสานที่ผสมเถ้าจากเตาเผาขยะชุมชน เพื่อประเมินความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างต่อไป

2. วิธีการทดสอบ

2.1 วัสดุดิบ

1) ดินลูกรังที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีค่า LL, PL, PI เท่ากับ 48.1, 13.9 และ 34.2 ตามลำดับ จากการจำแนกดินโดยวิธี USCS พบว่าดินที่ใช้ในงานวิจัยอยู่ในกลุ่ม ดินทรายปนดินเหนียว (SC) และยังพบว่าดินมีค่า ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.76 และจากการแยกองค์ประกอบธาตุพบว่าปริมาณธาตุแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 1 ขนาดละเอียดของดินลูกรังที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบธาตุของดินลูกรังและเถ้าเตาเผาขยะ

ลำดับ	รายการทดสอบ (%)	ผลการทดสอบ		วิธีการ/เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ
		ดินลูกรัง	เถ้าเตาเผาขยะ	
1	Al ₂ O ₃	9.209	N.D.	Standardless
2	SiO ₂	62.283	6.809	Method /
3	SO ₃	N.D.	0.587	X-ray
4	Cl	N.D.	3.349	Fluorescence
5	K ₂ O	0.748	2.512	Energy
6	CaO	0.914	65.260	Dispersive
7	TiO ₂	3.548	12.734	Spectrometer
8	Cr ₂ O ₃	N.D.	0.288	Model XGT-5200



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 (ก)ดินลูกรังร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และ (ข)ถังเตาเผาขยะชุมชนร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4

2) ถังเตาเผาขยะที่เป็นถังเตาเผาจากเตาเผาขยะชุมชน รุ่น ACI-50 Series 1 ของตำบลท่าสองคอน อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคามซึ่งถังจากการเผาที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นจนก่อให้เกิดปัญหาที่กักเก็บและบางส่วนเกิดการชะล้างลงสู่ลำคลองในฤดูฝน โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาอยู่ที่ 500-900 องศาเซลเซียส ซึ่งถังจากการเผาที่มีลักษณะเป็นสีเทาและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ก่อนนำไปใช้ในการทดสอบ โดยมีผลทดสอบ XRD ดังรูปที่ 4



(ก)

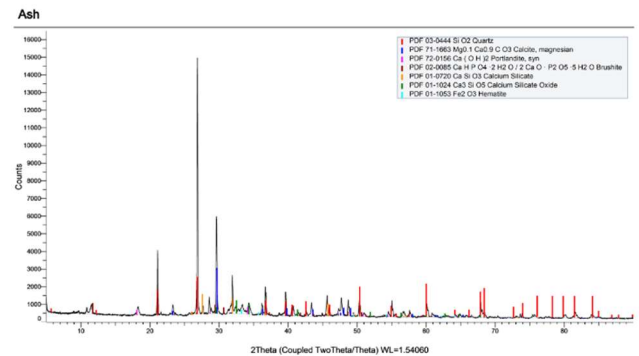


(ข)

รูปที่ 3 (ก) ลักษณะถังจากเตาเผาขยะ และ (ข) การเผาขยะชุมชนของ ตำบลท่าสองคอน จังหวัดมหาสารคาม

การทดสอบด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) ของตัวอย่างถังจากเตาเผาขยะ ตำบลท่าสองคอน จังหวัดมหาสารคาม พบว่ามีพีคหลายตำแหน่งในช่วงมุม 2θ ประมาณ 10° – 80° ซึ่งแสดงถึงการมีอยู่ของแร่หลายชนิดในโครงสร้างของซีเมนต์ โดยพีคที่มีความเข้มสูงบ่งบอกถึงเฟสหลักที่มีปริมาณมากในตัวอย่าง พบว่าองค์ประกอบหลักของซีเมนต์ประกอบด้วยแร่สำคัญ ได้แก่ 1) Quartz (SiO_2) พบพีคชัดเจน

บริเวณประมาณ $2\theta \approx 26^\circ$ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของควอตซ์ แสดงให้เห็นว่าซีเมนต์มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก 2) Calcite (CaCO_3) พบพีคในช่วงประมาณ $2\theta \approx 29^\circ$ ซึ่งบ่งบอกถึงการมีอยู่ของแคลไซต์



รูปที่ 4 ผลการทดสอบ XRD ของถังเตาเผาขยะ

การมีอยู่ของ Quartz (SiO_2) ในปริมาณมากสามารถอธิบายถึงผลของการผสมถังจากเตาเผาขยะได้ว่า เนื่องจากควอตซ์เป็นแร่ที่มีความเสถียรสูงและไม่เกิดปฏิกิริยาได้ง่ายในระบบซีเมนต์ จึงมักทำหน้าที่เป็น วัสดุเติม (Filler Material) มากกว่าวัสดุประสาน ส่งผลให้เมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสมปริมาณซีเมนต์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสานลดลง ซึ่งอาจทำให้โครงสร้างของบล็อกประสานมีความแข็งแรงลดลงและส่งผลให้ค่ากำลังอัดของบล็อกลดลง[2,8]

3) งานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement - ประเภท 1) ในการทดลอง

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

1) เตรียมวัตถุดิบโดยการบดร่อนดินแดง ให้ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ให้ได้ปริมาณเพียงพอที่จะทำการทดลองได้ และหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรัง

(2) หาปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content ; OMC) โดยการทำการ Compaction Test ของแต่ละอัตราส่วนผสม แล้วนำค่า OMC ที่ได้มากำหนดเป็นปริมาณน้ำที่ต้องใช้เป็นส่วนผสมในการทำบล็อกประสานของแต่ละอัตราส่วนและนำเสนอค่าแนะนำเสนอค่าหน่วยน้ำหนักแห้ง

(3) นำวัตถุดิบที่จะใช้ได้แก่ปูนซีเมนต์ ถังจากเตาเผาขยะ ดินลูกรัง และน้ำ มาชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่กำหนด ดังนี้ อัตราส่วนผสม ระหว่าง ปูนซีเมนต์ ต่อดินลูกรัง ที่ใช้เท่ากับ

1:6 , 1:7 และ 1:8 หลังจากนั้นเติมเถ้าจากเตาเผาขยะในอัตราร้อยละ 10 ,20, 30, 40 และ 50ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของวัสดุในการทดสอบ

สูตร	อัตราส่วนผสม			Compaction Test	
	ซีเมนต์ (kg)	ลูกรัง (kg)	เถ้า (kg)	OMC (%)	MDD (kg/m ³)
1	1	6	0	8.9	2,000
	1	7	0	8.7	2,050
	1	8	0	8.4	1,990
2 (10%)	1	6	0.7	8.7	1,990
	1	7	0.8	10.5	1,970
	1	8	0.9	11.0	1,980
3 (20%)	1	6	1.4	10.0	1,935
	1	7	1.6	10.0	1,930
	1	8	1.8	10.3	1,935
4 (30%)	1	6	2.1	12.5	1,855
	1	7	2.4	9.5	1,925
	1	8	2.7	12.5	1,840
5 (40%)	1	6	2.8	11.3	1,820
	1	7	3.2	12.8	1,800
	1	8	3.6	11.9	1,850
6 (50%)	1	6	3.5	12.3	1,760
	1	7	4.0	11.0	1,790
	1	8	4.5	12.0	1,795

จากนั้นนำส่วนผสมดังกล่าวมาคลุกเคล้าให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเติมน้ำตามอัตราส่วนของค่า OMC ที่ทำการทดลองมาก่อนหน้านี้ โดยการพรมน้ำ แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน นำส่วนผสมที่ได้ที่แล้วไปอัดขึ้นรูปในเครื่องอัดบล็อกประสาน (Cinva Ram) แบบมือโยกอัดได้ที่ละ 2 ก้อนตัวอย่าง

หลังจากนั้นใช้แผ่นพลาสติกกันชื้นหุ้มบล็อกประสานที่ขึ้นรูปแล้ว ไปบ่มต่อจนอายุครบ 7, 14 และ 28 วัน ดังแสดงใน รูปที่ 4 หลังจากนั้นนำบล็อกประสานที่บ่มครบระยะเวลาแล้ว ไปกดทดสอบเพื่อหาค่ากำลังอัด (Compressive Strength) ที่ 7, 14 และ 28 วัน นำผลที่ได้มาศึกษาพฤติกรรมที่เกิดขึ้นเพื่อ

วิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการเพิ่มเถ้าจากเตาเผาขยะเข้าไปในส่วนผสม



รูปที่ 5 การผสมวัสดุและการอัดบล็อกประสาน

(4) เลือกอัตราส่วนผสมที่มีความเหมาะสมทำการทดสอบการดูดซึมน้ำตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน วัสดุบล็อกประสาน มผช.602/2547 [17]

2.3 การทดสอบ

2.3.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

ทดสอบกำลังอัดของบล็อกประสานที่มีขนาด 12.5x12.5x10.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีสภาพแห้ง หลังจากได้ค่าแรงอัดประลัยจากการทดสอบแล้วก็คำนวณค่าโดยคิดจากพื้นที่รวม นำค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างทดสอบจำนวน 3 ก้อนไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน มผช. 602/2547 ซึ่งกำหนดว่ากำลังอัดของบล็อกประสานแบบรับน้ำหนักต้องไม่ต่ำกว่า 70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ในขณะที่กำลังอัดของบล็อกประสานต้องไม่ต่ำกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับวัสดุบล็อกประสานชนิดชนิดไม่รับน้ำหนัก[16] โดยขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- (1) วัดมิติซึ่งน้ำหนักของก้อนตัวอย่างก่อนที่จะทำการทดสอบทุกก้อน
- (2) นำก้อนตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบวางประกบด้วยแผ่นยางกระจายน้ำหนักทั้งบนและล่างเพื่อกำลึงอัด จนตัวอย่างประลัย
- (3) บันทึกค่าแรงกดที่จุดประลัยจากเครื่องทดสอบแล้วนำไปคำนวณค่ากำลังอัด



รูปที่ 6 การทดสอบกำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน

2.3.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำหาได้โดยการนำตัวอย่างลงแช่ในภาชนะที่มีน้ำสะอาดทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง เช็ดตัวอย่างให้อยู่ในสภาพอ้อมตัวผิวแห้งแล้วนำมาชั่งเป็นค่าน้ำหนักเปียก จากนั้นนำตัวอย่างเข้าตู้อบปรับอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างมาชั่งได้ค่าน้ำหนักอบแห้งแล้วคำนวณหาปริมาณและอัตราการดูดซึมน้ำ โดยใช้สมการที่ (1)

$$\text{การดูดซึมน้ำ (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100 \quad (1)$$

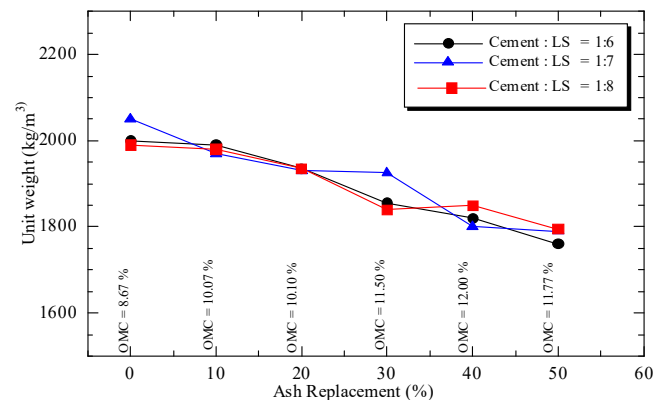


รูปที่ 7 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

3. ผลการทดสอบ

3.1 ผลการทดสอบหน่วยน้ำหนัก

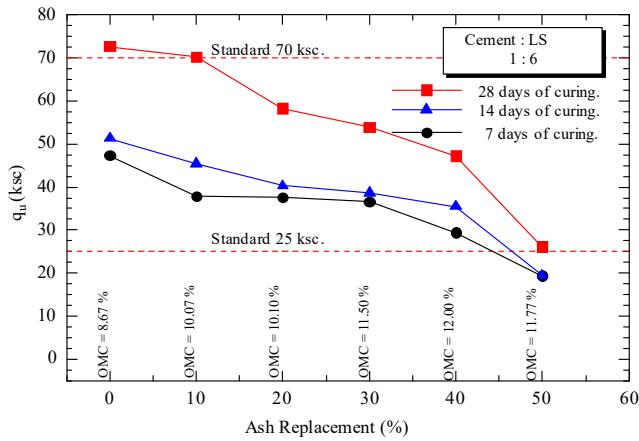
จาก Compaction Test พบว่าเมื่อเติมเถ้าเตาเผาขยะในอัตราส่วนร้อยละ 10-50 พบว่าค่าหน่วยน้ำหนักแห้งมีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยจะเห็นว่าปริมาณเถ้าจากเตาเผาขยะที่เติมเข้าไป ร้อยละ 50 มีค่าหน่วยน้ำหนักแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 1,760 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ตัวอย่างที่ไม่ได้เติมเถ้ามีหน่วยน้ำหนักแห้งมากที่สุดถึง 2,050 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหน่วยน้ำหนักแห้งลดลงถึงร้อยละ 14.15 จากการเติมเถ้าเข้าไปร้อยละ 50



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของปริมาณเถ้าจากเตาเผาขยะที่เพิ่มขึ้นกับค่าเฉลี่ยหน่วยน้ำหนักแห้ง

3.2 ผลการทดสอบกำลังอัด

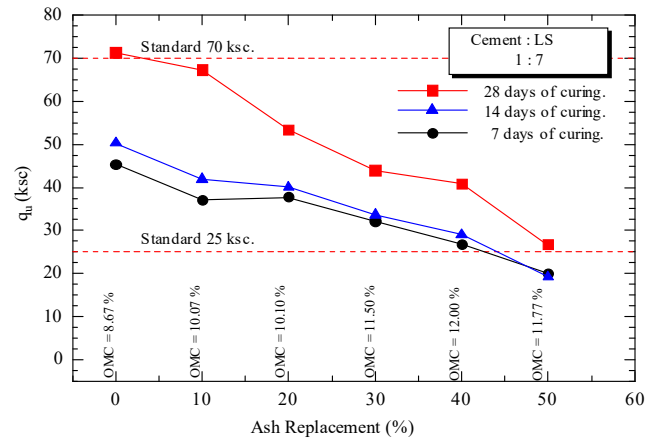
ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของก้อนตัวอย่างจากที่ไม่เติมเถ้า และตัวอย่างที่เติมเถ้าร้อยละ 10-50 แสดงในรูปที่ 9 จะเห็นว่าอัตราส่วน ซีเมนต์ 1 ส่วน ต่อ ลูกรีง 6 ส่วน เติมเถ้าร้อยละ 50 อายุในการบ่ม 7 วัน มีค่ากำลังอัดต่ำที่สุด(19 ksc) ในขณะที่เติมเถ้าร้อยละ 10 มีค่ากำลังอัดสูงสุด(38 ksc) อายุในการบ่ม 14 วัน มีค่ากำลังอัดต่ำที่สุด(19.5 ksc) ในขณะที่ค่ากำลังอัดสูงสุด(45 ksc) และอายุในการบ่ม 28 วัน มีค่ากำลังอัดต่ำที่สุด(26 ksc) ในขณะที่ค่ากำลังอัดสูงสุด(70.2 ksc) ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างที่ไม่เติมเถ้า และอายุในการบ่ม 28 วัน มีกำลังอัดสูงสุด(72.6 ksc)



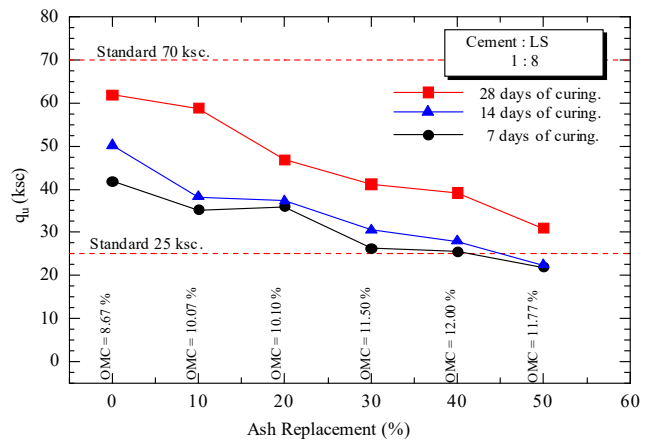
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของปริมาณเถ้าจากเตาเผาขยะกับค่ากำลังอัดที่อัตราส่วน ซีเมนต์ 1 ส่วน ต่อ ลูกรีง 6 ส่วน

ผลการทดสอบกำลังอัดของอัตราส่วน ซีเมนต์ 1 ส่วน ต่อ ลูกรีง 7 ส่วน เติมเถ้าร้อยละ 50 อายุในการบ่ม 7 วัน มีค่ากำลังอัดต่ำที่สุด(20 ksc) ในขณะที่เติมเถ้าร้อยละ 10 มีค่ากำลังอัดสูงสุด(37 ksc) อายุในการบ่ม 14 วัน มีค่ากำลังอัดต่ำที่สุด(19 ksc) ในขณะที่ค่ากำลังอัดสูงสุด(40 ksc) และอายุในการบ่ม 28 วัน มีค่ากำลังอัดต่ำที่สุด(26 ksc) ในขณะที่ค่ากำลังอัดสูงสุด(67 ksc) ในกรณีที่ตัวอย่างที่ไม่เติมเถ้า และอายุในการบ่ม 28 วัน มีกำลังอัดสูงที่สุด(71.3 ksc) ดังแสดงในรูปที่ 10

ผลการทดสอบ กำลังอัดของอัตราส่วน ซีเมนต์ 1 ส่วน ต่อ ลูกรีง 8 ส่วน เติมเถ้าร้อยละ 50 อายุในการบ่ม 7 วัน มีค่ากำลังอัดต่ำที่สุด(21 ksc) ในขณะที่เติมเถ้าร้อยละ 10 มีค่ากำลังอัดสูงสุด(35 ksc) อายุในการบ่ม 14 วัน มีค่ากำลังอัดต่ำที่สุด(22 ksc) ในกรณีที่ค่ากำลังอัดสูงสุด(45 ksc) และอายุในการบ่ม 28 วัน มีค่ากำลังอัดต่ำที่สุด(31 ksc) ในกรณีที่ค่ากำลังอัดสูงสุด(59 ksc) ในกรณีที่ตัวอย่างที่ไม่เติมเถ้า และอายุในการบ่ม 28 วัน มีกำลังอัดสูงที่สุด(61.9 ksc) ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ของปริมาณเถ้าจากเตาเผาขยะกับค่ากำลังอัดที่อัตราส่วน ซีเมนต์ 1 ส่วน ต่อ ลูกรีง 7 ส่วน



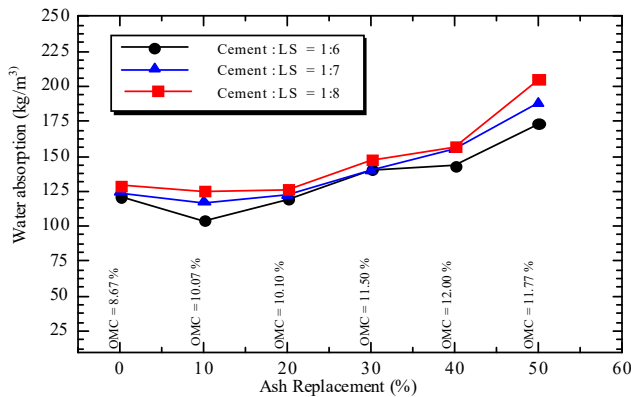
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ของปริมาณเถ้าจากเตาเผาขยะกับค่ากำลังอัดที่อัตราส่วน ซีเมนต์ 1 ส่วน ต่อ ลูกรีง 8 ส่วน

3.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

จาก รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สัดส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าเตาเผาขยะ และ ค่าการดูดซึมน้ำ ของบล็อกประสานในส่วนผสม ซีเมนต์ต่อดินลูกรัง 1:6, 1:7 และ 1:8 เมื่อเพิ่มสัดส่วนเถ้าเตาเผาขยะตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 50 จะเห็นว่าค่าการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับทุกสูตรผสม ผลการทดลองแสดงให้เห็นค่าอัตราส่วนผสม ซีเมนต์ต่อดินลูกรัง 1:6 (ซีเมนต์มากที่สุด) มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุดในทุกช่วงการเติมเถ้าจากเตาเผาขยะ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 104 - 173 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าค่าอัตราส่วนผสม ซีเมนต์ต่อดินลูกรัง 1:7 และ 1:8 (ซีเมนต์น้อยกว่า 1:6) มีค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะเมื่อแทนที่เถ้าเกินร้อยละ

20 และยังพบว่าอัตราส่วนผสม ซีเมนต์ต่อดินลูกรัง 1:8 มีแนวโน้มที่จะมีค่าการดูดซึมน้ำมากที่สุด ทุกช่วงการเติมเถ้าจากเตาเผาขยะ(ร้อยละ0-50) โดยมีค่าสูงสุด 205 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ของปริมาณเถ้ากับการดูดซึมน้ำ

4. อภิปรายผล

4.1 หน่วยน้ำหนัก

จากผลการทดสอบ พบว่าปริมาณเถ้าจากเตาเผาขยะที่เพิ่มเข้าไป ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ ส่งผลให้หน่วยน้ำหนักลดลงตามปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการที่เถ้าก้นเตาที่มีโครงสร้างจุลภาคที่ประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมาก ซึ่งเกิดจากกระบวนการให้ความร้อนและเย็นตัวอย่างรวดเร็วในเตาเผา[10] รูพรุนภายในอนุภาคเถ้านี้ทำให้อนุภาคแต่ละเม็ดมีมวลน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปริมาตร ส่งผลโดยตรงให้หน่วยน้ำหนักแห้งของบล็อกประสานลดลงตามปริมาณการทดแทนเถ้าที่เพิ่มขึ้น[14-15]

ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ จิรศักดิ์ และคณะ ที่ศึกษาคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ใช้เถ้าลอยปริมาณสูง พบว่าการเพิ่มปริมาณเถ้าลอยทำให้ค่าหน่วยน้ำหนักของบล็อกลดลง เนื่องจากเถ้าลอยมีความหนาแน่นต่ำและมีลักษณะอนุภาคที่ทำให้เกิดความพรุนในเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้น [3] นอกจากนี้ ธน และคณะ พบว่าการใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุผสมในคอนกรีตส่งผลให้ความพรุนของวัสดุเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง [20] งานวิจัยของ ฐิติพร และคณะ ยังพบว่าการใช้เถ้าถ่านหินและเถ้าชีวมวลผสมในอิฐ

ประสานดินซีเมนต์สามารถทำให้หน่วยน้ำหนักของวัสดุลดลง เนื่องจากคุณสมบัติของเถ้ามีความหนาแน่นต่ำและมีโครงสร้างที่มีรูพรุน[5] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ที่หน่วยน้ำหนักมากที่สุดคือสูตรที่ไม่ได้ผสมเถ้าจากเตาเผาขยะ และสูตรที่มีหน่วยน้ำหนักน้อยที่สุดคือส่วนผสมที่เติมเถ้าจากเตาเผาขยะเข้าไปร้อยละ 50

4.2 กำลังอัด

ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนที่ผ่านเกณฑ์บล็อกประสานแบบรับน้ำหนัก ตามมาตรฐาน มผช. 602/2547 [17] ซึ่งต้องรับกำลังอัดได้ไม่น้อยกว่า 70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คืออัตราส่วน ซีเมนต์ 1 ส่วน ต่อ ดินลูกรัง 6 ส่วน ผสมเถ้าจากเตาเผาขยะร้อยละ 10 และมีอายุการบ่มที่ 28 วัน เพียงสูตรเดียวซึ่งมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 70.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อพิจารณาผลการศึกษาค่ากำลังอัดพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีบล็อกประสานแบบไม่รับน้ำหนัก ตามมาตรฐาน มผช. 602/2547 [17] ซึ่งกำหนดว่าต้องรับกำลังอัดได้ไม่น้อยกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร พบว่าตัวอย่างที่เพิ่มเถ้าจากขยะชุมชนเข้าไปร้อยละ 50 ไม่ผ่านเกณฑ์เพียงสูตรเดียว ถึงแม้จะใช้เวลาในการบ่มนาน 7, 14, 28 วันก็ตาม

จากผลการทดสอบกำลังอัดของบล็อกประสานที่ผสมเถ้าจากเตาเผาขยะชุมชน ยังพบว่าค่ากำลังอัดของบล็อกมีแนวโน้มลดลงในทุกสัดส่วนเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าในส่วนผสม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ลักษณะทางกายภาพที่เปราะและขรุขระของเถ้าก้นเตาที่มีลักษณะเป็นอนุภาคที่แตกหักง่าย (Brittle nature) และมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน[2] ซึ่งในกรณีที่ใช้แทนมวลรวม (ทราย) หากใช้ในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 30 โดยปริมาตร ความเปราะของตัวอนุภาคเถ้าเองจะทำให้บล็อกประสานไม่สามารถทนทานต่อแรงอัดได้[14] ผลการทดสอบดังกล่าวมีแนวโน้มสอดคล้องกับงานวิจัยหลายฉบับที่รายงานว่า การใช้วัสดุเถ้าเป็นส่วนผสมในวัสดุซีเมนต์จำเป็นต้องควบคุมปริมาณการใช้ให้เหมาะสมเพื่อรักษาคุณสมบัติทางกลของวัสดุ [3,6,14,18,20] ผลการศึกษาของ ฐิติพร และคณะ [5] พบว่าการผสมเถ้าถ่านหินในอิฐประสานสามารถลดน้ำหนักของอิฐได้ แต่หากเพิ่มปริมาณเถ้ามากเกินไปจะทำให้กำลังอัดลดลง ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับผลการทดลองในงานวิจัยนี้

Tang et al. [7] พบว่าการใช้เถ้าก้นเตาในคอนกรีตสามารถใช้แทนมวลรวมได้ในสัดส่วนหนึ่งโดยยังคงให้กำลังอัดที่เหมาะสม ขณะที่ Lam et al. [8] รายงานว่าการใช้เถ้าจากเตาเผาขยะแทนทรายในคอนกรีตสามารถทำได้ในสัดส่วนประมาณ 20–30% โดยไม่ส่งผลกระทบต่อกำลังอัดอย่างมีนัยสำคัญ Forteza et al. [11] ยังพบว่าซีเมนต์จากเตาเผาขยะมีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในวัสดุก่อสร้าง อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีก่อนนำมาใช้งานจริง สอดคล้องกับการศึกษาของ Ramesh et al. [12] ที่มีการรายงานว่าการนำซีเมนต์จากเตาเผาขยะมาใช้ในคอนกรีตสามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและส่งเสริมการใช้วัสดุอย่างยั่งยืน

ดังนั้นจากการเปรียบเทียบผลการทดลองกับงานวิจัยที่ผ่านมา จะเห็นว่าการใช้ซีเมนต์จากเตาเผาขยะชุมชนในการผลิตบล็อกประสานพบว่ามีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัสดุผสมได้ อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องกำหนดสัดส่วนการผสมที่เหมาะสมเนื่องจากการใช้ในปริมาณที่มากเกินไปอาจส่งผลให้ค่ากำลังอัดของบล็อกประสานลดลงจนต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด

4.3 การดูดซึมน้ำ

ผลการทดลองพบว่าปริมาณเถ้าจากเตาเผาขยะที่เพิ่มเข้าไป ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ มีผลให้ค่าการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก โครงสร้างอนุภาคที่มีรูพรุนสูง (Porous Microstructure): เถ้าก้นเตาเผาขยะชุมชนมีลักษณะทางกายภาพที่ประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมาก ซึ่งเกิดจากกระบวนการให้ความร้อนและเย็นตัวอย่างรวดเร็วในระหว่างการเผาไหม้ [10] อนุภาคเหล่านี้มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้สูงกว่ามวลรวมธรรมชาติทั่วไปอย่างมาก [2,12] ความพรุนที่มีอยู่ในเนื้อวัสดุนี้เองที่ทำให้บล็อกประสานมีความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ในตัวได้มากขึ้น [7] การดูดซึมน้ำในระหว่างกระบวนการผสมเป็นอีกหนึ่งเหตุผลเนื่องจากอนุภาคเถ้าก้นเตามีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูง ในระหว่างการผสมมอร์ตาร์ อนุภาคเหล่านี้จะ แ่่งดูดซึมน้ำบางส่วนเข้าไปในรูพรุนของมันเอง [7] นอกจากนี้ การเพิ่มปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสมยังทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารประสานลดลง ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์จาก

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ลดลง ทำให้โครงสร้างของวัสดุมีความหนาแน่นลดลงและเกิดช่องว่างภายในเนื้อวัสดุมากขึ้น

ผลการทดลองดังกล่าวมีแนวโน้มสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งพบว่าการใช้วัสดุประเภทเถ้าเป็นส่วนผสมในวัสดุซีเมนต์มีผลต่อความพรุนและการดูดซึมน้ำของวัสดุ เช่น การศึกษาของ Somna et al. พบว่าการใช้เถ้าลอยในวัสดุซีเมนต์สามารถส่งผลต่อโครงสร้างภายในของวัสดุและทำให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ในปริมาณมาก [19]

ดังนั้น สามารถอธิบายได้ว่าการเพิ่มปริมาณซีเมนต์จากเตาเผาขยะชุมชนในบล็อกประสานส่งผลให้โครงสร้างภายในของวัสดุมีความพรุนเพิ่มขึ้นและความหนาแน่นลดลง จึงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของบล็อกประสานเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาจากค่ากำลังอัดจากการวิจัยครั้งนี้พบว่า อัตราส่วนที่ผ่านเกณฑ์บล็อกประสานแบบรับน้ำหนัก ตามมาตรฐาน มผช. 602/2547 [17] คือ อัตราส่วน ซีเมนต์ 1 ส่วน ต่อ ดินลูกรัง 6 ส่วน เติมเถ้าจากเตาเผาขยะร้อยละ 10 มีผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 104 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนดค่าการดูดซึมน้ำต้องไม่เกิน 208 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยอธิบายได้ว่าอนุภาคของเถ้าที่มีขนาดเล็กและละเอียดจะเข้าไปทำหน้าที่เป็น วัสดุเติมเต็ม (Filler) ในช่องว่างระหว่างมวลรวม (เช่น ดินลูกรังหรือทราย) และซีเมนต์เพสต์ [4,20] การใช้เถ้าในปริมาณที่พอเหมาะ (ร้อยละ 10) ช่วยให้อนุภาคเหล่านี้แทรกตัวเข้าไปอุดโพรงอากาศระดับไมโครได้อย่างทั่วถึงกว่าการใช้ปริมาณเถ้าที่มากกว่านี้ (ร้อยละ 20-50) ส่งผลให้โครงสร้างภายในมีความทึบแน่นสูงกว่า [4,20]

5. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าจากเตาเผาขยะชุมชนมาใช้เป็นวัสดุผสมในการผลิตบล็อกประสาน โดยทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของบล็อกที่ผสมเถ้าในสัดส่วนต่าง ๆ ได้แก่ หน่วยน้ำหนัก กำลังอัด และการดูดซึมน้ำ รวมทั้งศึกษาลักษณะองค์ประกอบของเถ้าด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ XRD

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1) การเพิ่มปริมาณเถ้าในส่วนผสมของบล็อกประสาน ส่งผลให้ หน่วยน้ำหนักของบล็อกลดลง เนื่องจากเถ้ามีค่าความหนาแน่นต่ำและมีลักษณะอนุภาคที่มีความพรุน ทำให้ความหนาแน่นรวมของวัสดุลดลง

2) เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าในส่วนผสม พบว่า ค่ากำลังอัดของบล็อกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเถ้าบางส่วนทำหน้าที่เป็นเพียงวัสดุเติมและทำให้ปริมาณสารประสานลดลง ส่งผลให้โครงสร้างของวัสดุมีความแข็งแรงลดลง

3) ค่าการดูดซึมน้ำของบล็อกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้า เนื่องจากโครงสร้างของวัสดุมีความพรุนเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้มากขึ้น

4) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุของเถ้าจากเตาเผาขยะด้วยเทคนิค XRD พบว่าองค์ประกอบหลักของเถ้าประกอบด้วย Quartz (SiO_2) และสารประกอบของแคลเซียม ซึ่งเป็นสารประกอบที่พบได้ทั่วไปในวัสดุเถ้าจากกระบวนการเผา

5) การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเถ้าจากเตาเผาขยะในอนาคต วัตถุประสงค์จากเตาเผาขยะชุมชน ควรมีการปรับปรุงสภาพเบื้องต้น (Pretreatment) ก่อนนำไปใช้ในการศึกษาเพื่อเปลี่ยนสภาพเถ้าหนักให้กลายเป็นมวลรวมรีไซเคิลที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้งาน

จากผลการทดลองพบว่าสัดส่วนของเถ้าจากเตาเผาขยะที่เหมาะสมสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมในการผลิตบล็อกประสานได้ โดยยังคงคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้ ดังนั้นการนำเถ้าจากเตาเผาขยะชุมชนมาใช้เป็นวัสดุผสมในการผลิตบล็อกประสานจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งและช่วยลดปริมาณของเสียที่ต้องกำจัด อีกทั้งยังสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ทีมงานผู้วิจัยและผู้เขียนขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก “ทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัย” มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม รหัส 256107A1470028

เอกสารอ้างอิง

- [1] Pan JR, Huang C, Kuo JJ, Lin SH. Recycling MSWI bottom and fly ash as raw materials for Portland cement. *Waste Management*. 2008;28(7):1113–1118. doi:10.1016/j.wasman.2007.04.009.
- [2] Siddique R. Use of municipal solid waste ash in concrete. *Resources, Conservation and Recycling*. 2010;55(2):83–91. doi:10.1016/j.resconrec.2010.10.003.
- [3] จิรศักดิ์ สุพรรณวัน, รัฐพล สมณา, ศักดิ์สิทธิ์ พันทวี, เกียรติสุดา สมณา, ประดิพัทธ์ บำรุงศรี, ธนกร พุ่มชุมพล และคณะ. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ใช้เถ้าลอยปริมาณสูง. *วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย*. 2566;11(1):1–6.
- [4] ทวีศักดิ์ ทองขวัญ, จุฑามาศ ลักษณะกิจ, นันทชัย ชูศิลป์, วิศิษฐ์ศักดิ์ ทับยัง, อรุณ ลูกจันทร์, พงศ์ศักดิ์ สุขมณี และคณะ. กำลังของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยไม่ย่างพาราจากอุตสาหกรรม. *วารสารงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์สมัยใหม่และการใช้ประโยชน์นวัตกรรมเทคโนโลยี*. 2567;17(1):1–14.
- [5] จิตติพร พันธุ์ท่าช้าง, วีระชาติ อินตา, ธีรวัฒน์ คำใจ, เสวตสุนทร ชินะกุล. กำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานจากดินลูกรังผสมซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินและเถ้าชีวมวล. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา*. 2563;5(1):15–24.
- [6] กันติยา โสธรชัยวิทย์, วีระชาติ ตั้งจิรภัทร, เทียง ชีวะเกตุ, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. กำลังอัดและความทนทานของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าลอย. *วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย*. 2561;6(2):58–66.
- [7] Tang P, Florea MVA, Spiesz P, Brouwers HJH. Characteristics and application potential of municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ashes from two waste-to-energy plants. *Construction and Building Materials*. 2015;83:77–94. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.02.033.
- [8] Lam CHK, Ip AWM, Barford JP, McKay G. Use of incineration MSW ash: a review. *Sustainability*. 2010;2(7):1943–1968. doi:10.3390/su2071943.
- [9] Aubert JE, Husson B, Vaquier A. Use of municipal solid waste incineration fly ash in concrete. *Cement and Concrete Research*. 2004;34(6):957–963. doi:10.1016/j.cemconres.2003.11.002.

[1] Pan JR, Huang C, Kuo JJ, Lin SH. Recycling MSWI bottom and fly ash as raw materials for Portland

- [10] Lynn CJ, Dhir RK, Ghataora GS. Municipal incinerated bottom ash characteristics and potential for use as aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*. 2016;127:504–517. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.09.132.
- [11] Forteza R, Far M, Seguí C, Cerdá V. Characterization of bottom ash in municipal solid waste incinerators for its use in road base. *Waste Management*. 2004;24(9):899–909. doi:10.1016/j.wasman.2004.07.004.
- [12] Ramesh BM, Vongole RM, Nagraj Y, Naganna SR, Sreedhara BM, Mailar G, et al. Valorization of incinerator bottom ash for the production of resource-efficient eco-friendly concrete: performance and toxicological characterization. *Architecture, Structures and Construction*. 2021;1(1):65–78. doi:10.1007/s44150-021-00006-9.
- [13] Li J. Municipal solid waste incineration ash-incorporated concrete: one step towards environmental justice. *Buildings*. 2021;11(11):495. doi:10.3390/buildings11110495.
- [14] สนธยา ทองอรุณศรี, สรณกร เหมะวิบูลย์, พงษ์ศักดิ์ โชคทวีกาญจน์, สมนึก ตั้งเต็มสิริกุล. ผลกระทบของเถ้าก้นเตาต่อการหดตัวแบบอโตจีนัสของมอร์ต้าที่ใช้วัสดุประสานร่วมสองชนิด. *วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย*. 2558;3(1):1–8.
- [15] Onmak K, Puttala S, Chotetanorm C, Homwuttiwong S. Development of geopolymers mortar made from bagasse ash with waste aluminum. *Creative Science*. 2024;16(2):254773. doi:10.55674/cs.v16i2.254773.
- [16] อนุสรณ์ เดชบุรีรัมย์, กริสน์ ชัยมูล. คุณสมบัติของบล็อกประสานที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าก้นเตา. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*. 2562;14(1):99–105.
- [17] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 602-2547 เรือง อิฐบล็อกประสาน*. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงอุตสาหกรรม; 2547.
- [18] วรวิญญู วงศ์ประชุม, เฉลิมพล ไชยแก้ว. กำลังอัดของคานคอนกรีตผสมเถ้าลอยหลังเพลิงไหม้และเย็นตัวอย่างรวดเร็ว. *วิศวกรรมลาดกระบัง*. 2564;38(4):78–86.
- [19] Somna K, Jaturapitakkul C, Kajitvichyanukul P, Chindaprasirt P. NaOH-activated ground fly ash geopolymer cured at ambient temperature. *Fuel*. 2011;90(6):2118–2124. doi:10.1016/j.fuel.2011.01.018.
- [20] ธน ชำนาญกิจ, สำเริง รักซ้อน, ปริญญา จินดาประเสริฐ. อิทธิพลของเถ้าถ่านหินขนาดเดิมและบดละเอียดต่อการกำลังอัด ความพรุน และการต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีต. *วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*. 2563;16(3):1–15.