

การศึกษาสมบัติทางกลและกายภาพของคอนกรีตบล็อกปูพื้นจากเถ้าลอยน้ำกากสา และ เถ้าแกลบทดแทนซีเมนต์

The Mechanical and Physical Properties of Concrete Paving Blocks with Distillery slope from liquor production and Rice Husk Ash as Partial Cement Replacements

ปิยรัตน์ เปาเล้ง^{1*}, อิทธิพล มีผล², ไกรโรจน์ มหรรณพกุล³, ศิริศักดิ์ คงสมศักดิ์สกุล⁴

^{1, 2, 3, 4} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: piyarat.p@jtu.ac.th

บทคัดย่อ

คอนกรีตบล็อกปูพื้นเป็นอีกหนึ่งวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย อาทิ พื้นถนน ทางเท้า ลานจอดรถ รวมไปถึง ท่าเรือ และ พื้นที่บางส่วนของสนามบิน(taxiways) เนื่องจากมีความแข็งแรง ทนทานต่อสภาพอากาศ และติดตั้งง่าย อย่างไรก็ตาม ในการผลิตคอนกรีตบล็อกปูพื้นมีส่วนผสมของซีเมนต์เป็นวัสดุหลัก ซึ่งมีต้นทุนสูงและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงควรหาวัสดุเหลือทิ้งมาทดแทนการใช้ซีเมนต์ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกลและกายภาพของคอนกรีตบล็อกปูพื้นที่ใช้เถ้าลอยน้ำกากสาและเถ้าแกลบทดแทนซีเมนต์ โดยทำการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกปูพื้นที่มีส่วนผสมจากเถ้าแกลบและเถ้ากากสาขนาด 14 ซม. x 24.5 ซม. x 6 ซม. ทดแทนซีเมนต์ในอัตราส่วนประมาณร้อยละ 2 ถึง 20 โดยน้ำหนัก และใช้อัตราส่วนของทรายต่อเถ้ารวมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 2:1 แล้วนำไปอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์คอนกรีตบล็อกปูพื้น อัดด้วยค้อนและแท่งไม้อัดแม่พิมพ์ และ ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด การดูดกลืนน้ำ และความหนาแน่นที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ตามมาตรฐาน มอก. 827-2531 จากผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงตามปริมาณการทดแทนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น โดยการใช้เถ้าลอยน้ำกากสาทดแทนซีเมนต์ที่ร้อยละ 6 และ เถ้าแกลบที่ร้อยละ 2 ให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน เท่ากับ 35.14 และ 38.50 เมกะพาสกาล ตามลำดับ ในขณะที่การดูดกลืนน้ำสูงขึ้นตามปริมาณการทดแทนซีเมนต์ โดยจากผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำพบว่า การทดแทนด้วยเถ้าลอยน้ำกากสาที่ร้อยละ 0-20 และเถ้าแกลบที่ร้อยละ 0-16 มีค่าการดูดกลืนน้ำยังเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน และ ค่าความหนาแน่นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญในทุกอัตราส่วนผสม โดยงานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมและโรงงานอุตสาหกรรมมาพัฒนาเป็นวัสดุทางวิศวกรรมที่มีสมบัติตามมาตรฐาน ช่วยลดการใช้ซีเมนต์ เพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้ง และสามารถนำไปพัฒนาเป็นประโยชน์กับทางวิสาหกิจชุมชนได้ต่อไป

คำสำคัญ: คอนกรีตบล็อกปูพื้น, เถ้าลอยน้ำกากสา, เถ้าแกลบ, วัสดุทดแทนซีเมนต์, สมบัติทางกลและกายภาพ

Abstract

Concrete paving blocks are another widely used material for applications such as local roads, pedestrian, parking lots, as well as ports and taxiways in airports. This is due to their many advantages, including durability, weather resistance, and easy installation. However, the production of concrete paving blocks

primarily uses cement as the main material, which has a high cost and environmental impact. This research aims to compare the mechanical and physical properties of concrete paving blocks using fly ash from distillery slop and rice husk ash as cement replacements. Hence, this study aims to produce concrete paving blocks by using a sample size of 14x24.5x6 cm³, incorporating rice husk ash and distillery slop to replace cement in proportions ranging from 2% to 20% by weight. The sand to ash and Portland cement ratio was 2:1. The mechanical and physical properties were evaluated with the product TIS 827-2531, which included compressive strength and moisture content. Based on the result obtained, the compressive strength decreased as the cement replacement ratio increased. Using 6% distillery slop and 2% rice husk ash as cement replacements 28-day compressive strengths of 35.14 and 38.50 MPa, respectively, meeting the standard requirements. Water absorption increased with higher cement replacement ratios, with 0-20% distillery slop and 0-16% rice husk ash replacements meeting the standard criteria. Density variations were insignificant across all mix ratios. This research provides a pathway for utilizing agricultural and industrial waste materials to develop engineering materials and reduce cement usage.

Keywords: Concrete paving blocks, Distillery slop fly ash, Rice husk ash, Cement replacement materials, Mechanical and physical properties

1. บทนำ (Introduction)

คอนกรีตบล็อกปูพื้นหรือบล็อกปูผิวทาง (Concrete Paving Block : CPB) เป็นหนึ่งในวัสดุทางวิศวกรรมหรือวัสดุที่มีการใช้ในงานก่อสร้างตั้งแต่ช่วงกลางศตวรรษที่ 19 ในประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยเริ่มจากเป็นทางเลือกของวัสดุทดแทนอิฐที่ขาดแคลน จากนั้นได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านสมบัติทางกายภาพ(physical properties) ทางกล(mechanical properties) และความทนทาน (durability) และ ปัจจุบันได้มีการวิจัยการใช้ของเสียจากอุตสาหกรรม ของเสียจากภาคการเกษตร และ เศษขยะเหลือทิ้งที่มีเป็นจำนวนมากเป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกปูพื้นเพื่อปรับปรุงสมบัติในด้านต่าง ๆ มากขึ้น [1] เนื่องจากการคาดการณ์ว่า

ปริมาณของเสียจะเพิ่มขึ้นถึง 27 พันล้านตันในปี 2050 [2] จึงมีความจำเป็นเร่งด่วนในการหาวิธีจัดการ กำจัด หรือนำกลับมาใช้ใหม่อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการป้องกันการหาวิธีดำเนินการลดการปล่อยสารต่างๆที่เป็นอันตราย เช่น ซิลิกาจากองค์ประกอบของการเผาของเสียจากภาคการเกษตร เป็นต้น

ในปัจจุบันคอนกรีตบล็อกปูพื้นได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายด้วยสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ เช่น ความสะดวกในการติดตั้ง ความคงทน ความแข็งแรง ราคาไม่สูง และ ความทนทานต่อสภาพภูมิอากาศ [3] ด้วยสมบัติดังกล่าว จึงมีการนำไปประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างหลากหลายประเภท เช่น ทางเดินเท้า ถนน พื้นที่อุตสาหกรรม ท่าเรือ และบริเวณบางส่วนของสนามบิน (taxiways) [4] โดยกระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกปูพื้นแบ่งออกเป็นสองรูปแบบ ได้แก่ วิธีการผสมแบบแห้ง (dry-mix method) และวิธีการผสมแบบเปียก (wet-mix method) วิธีการผสมแบบแห้งใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำมาก ทำให้ค่าการยุบตัวเป็นศูนย์ (Zero Slump) และใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกกำลังสูง (high hydraulic pressure) ในการขึ้นรูป ส่วนวิธีการผสมแบบเปียกใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมกับการยุบตัว (Slump) ที่ออกแบบไว้ และใช้เครื่องเขย่าหรือสั่นเพื่อให้ส่วนผสมเข้าสู่แม่พิมพ์ [5] จุดเด่นที่สำคัญของคอนกรีตบล็อกปูพื้น คือ ความสามารถในการบำรุงรักษาและซ่อมแซมเฉพาะจุด โดยสามารถเปลี่ยนหรือซ่อมแซมบล็อกที่เสียหายได้โดยง่าย โดยไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างชั้นพื้นดินใต้พื้นทาง นอกจากนี้ ยังมีสมบัติในการระบายน้ำที่ดี ทนทานต่อสภาพอากาศที่หลากหลาย สามารถทนไฟได้สูง ระบายความร้อนได้ดี และมีค่าการยึดหดตัวที่เกิดจากความชื้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำ [6, 7]



รูปที่ 1 ตัวอย่างการใช้งานคอนกรีตบล็อกปูพื้น (Concrete Paving block : CPB) [8]

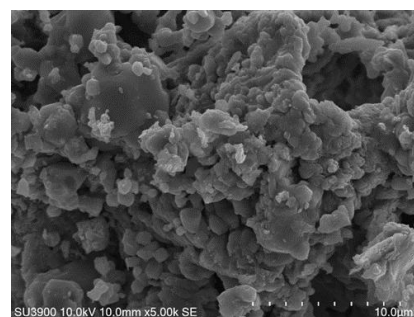
ก) การใช้คอนกรีตบล็อกปูพื้นในงานถนนและทางเดินเท้า

ข) การใช้คอนกรีตบล็อกปูพื้นในงานพื้นที่บางส่วนในสนามบิน (taxiways)

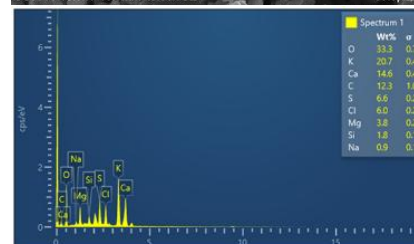
ในประเทศไทย มีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) สำหรับคอนกรีตบล็อกปูพื้น ได้แก่ มอก. 827-2531 สำหรับคอนกรีตบล็อกปูพื้นทั่วไป [9] และ มอก. 2035-2543 สำหรับคอนกรีตบล็อกปูพื้นสำหรับงานหนัก[10] โดยมาตรฐานจะมีข้อกำหนดในด้านขนาด เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน และวิธีการทดสอบคอนกรีตบล็อกปูพื้นเป็นต้น โดยทั้ง 2 มาตรฐานนี้จะแตกต่างกันที่รายละเอียดในส่วนของการกำหนดด้านการใช้งาน อย่างไรก็ตาม

ก็สำหรับงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบทั้งมาตรฐานในระดับประเทศและมาตรฐานสากลเพื่อประเมินสมบัติสำหรับการใช้งานได้อย่างหลากหลายต่อไป

“น้ำกากส่า” เป็นของเสียประเภทหนึ่งจากการกลั่นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ของโรงงานสุรา โดยในน้ำกากส่า (Vinnasse) ประกอบด้วยธาตุอาหารซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์น้ำกากส่าในรูปแบบต่างๆ จะต้องขึ้นอยู่กับพื้นที่ตั้งของโรงงานสุรา เช่นถ้าโรงงานสุราตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีการเกษตรกรรมการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าเพื่อการเกษตร เช่น การใช้เป็นปุ๋ยโดยตรงจึงเหมาะสมกับการจัดการน้ำกากส่าของโรงงานสุรา แต่อาจต้องระวังปัญหาจากกลิ่นที่มีความฉุนรุนแรงและความเป็นกรด-ด่างของน้ำกากส่าที่หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งจะเกิดผลเสียต่อระบบนิเวศธรรมชาติ ส่วนโรงงานสุราที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ชุมชนไม่มีการทำการเกษตร การกำจัดโดยวิธีการระเหยและเผาจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด [11, 12] แก่ล่อยจากระบบเตาเผา น้ำกากส่าหรือเถ้ากากส่า เป็นของเสียที่ได้จากการรวมวิธีการระเหยเมื่อน้ำกากส่าออกจากโรงกลั่นแล้วจะถูกทำให้เข้มข้นโดยส่งไปยังสถานที่จัดเตรียมการระเหยน้ำกากส่า (Slop Evaporation Plant) เพื่อดำเนินการระเหยน้ำออกและจึงส่งเข้าเตาเผาเพื่อผลิตไอน้ำเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป และนอกจากนี้ น้ำที่ระเหยได้จาก slop evaporation plant สามารถนำกลับไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย เมื่อน้ำเสียถูกป้อนเข้าสู่เตาเผาแล้วสิ่งที่ได้หลังจากการเผาคือ แก่ล่อยและเถ้าหนักที่ก้นเตาเผา หรือเถ้าล่อยจากเตาเผาน้ำกากส่า หรือเถ้ากากส่า ซึ่งสามารถนำเถ้าทั้งสองประเภทไปขายได้เพื่อนำไปทำเป็นปุ๋ยในภาคการเกษตรเป็นหลัก โดยสมบัติเถ้าล่อยจากน้ำกากส่ามีความถ่วงจำเพาะของเถ้าล่อยเท่ากับ 2.3 และ การทดสอบด้วยเครื่องทดสอบบดลองจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีกำลังขยาย 6 -1,000,000 เท่า ทำให้สามารถศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับนาโนเมตรถึงไมโครเมตรสามารถเห็นอนุภาคของเถ้าล่อยน้ำกากส่ารวมถึงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าล่อยน้ำกากส่า ดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ซึ่งจากรูปจะพบว่าเถ้าล่อยมีความพรุนค่อนข้างสูง น้ำหนักเบาและน่าจะเหมาะสมกับซีเมนต์ได้ดี ในขณะที่ยังคงประกอบทางเคมี มีองค์ประกอบของออกซิเจน โพแทสเซียมและแคลเซียม ในอัตราร้อยละ 33.3 20.7 และ 14.6 ตามลำดับ



รูปที่ 2 แก่ล่อยจากน้ำกากส่า กำลังขยาย 1000 เท่า



รูปที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าล่อยจากน้ำกากส่า

ในขณะที่เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash หรือ RHA) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการเผาแกลบ ซึ่งเป็นเปลือกนอกของเมล็ดข้าวที่ถูกแยกออกในกระบวนการสีข้าว ในประเทศไทยซึ่งเป็นผู้ผลิตข้าวรายใหญ่ของโลก มีปริมาณแกลบเหลือทิ้งจำนวนมากในแต่ละปี ซึ่งส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวลและอุตสาหกรรมต่างๆ แต่ยังคงมีปริมาณมากที่เหลือทิ้ง อย่างไรก็ตามการเผาแกลบที่อุณหภูมิที่เหมาะสมจะได้เถ้าแกลบที่มีสมบัติที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณซิลิกาที่ถึงร้อยละ 85-97 ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าวและกระบวนการเผาที่เหมาะสม[13-15] นอกจากนี้ยังประกอบด้วยแร่ธาตุอื่นๆ เช่น โพแทสเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์ [16, 17] ลักษณะทางกายภาพจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการเผาดังแสดงในรูปที่ 4 โดยเถ้าแกลบที่มีสีเข้มนักจะมีปริมาณซิลิกาสูงและมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาร่วมกับซีเมนต์และน้ำได้ดี [16]



ก) เถ้าแกลบขาว

ข) เถ้าแกลบดำ

รูปที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของเถ้าแกลบที่แตกต่างกันจากปัจจัยการเผา

ด้วยสมบัติทางเคมีและกายภาพที่โดดเด่น เถ้าแกลบจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง โดยเถ้าแกลบถูกจัดเป็นวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan material) ที่มีความสามารถในการทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ ทำให้เกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) [18] ซึ่งเป็นสารประกอบหลักที่ทำให้กำลังแก่คอนกรีต การใช้เถ้าแกลบเป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์จากคอนกรีต เช่น คอนกรีตบล็อกปูพื้น นอกจากจะช่วยลดต้นทุนการผลิตแล้ว ยังส่งผลดีต่อสมบัติของคอนกรีตในหลายด้าน เช่น เพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อน ลดการซึมผ่านของน้ำ และเพิ่มความแข็งแรงในระยะยาว [13, 15] นอกจากนี้ การนำเถ้าแกลบมาใช้ประโยชน์ยังเป็นการช่วยลดปริมาณของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตข้าว ลดการใช้พลังงานและทรัพยากรในการผลิตซีเมนต์ และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตซีเมนต์ ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการพัฒนาคอนกรีตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม การใช้เถ้าแกลบในงานคอนกรีตจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพอย่างเข้มงวด เนื่องจากสมบัติของเถ้าแกลบอาจมีความแปรปรวนขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาและกระบวนการผลิต [17, 19, 20] ซึ่งจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาจะให้ความสำคัญกับการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมและวิธีการผสมที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาการใช้เถ้าแกลบในอุตสาหกรรมก่อสร้างอย่างยั่งยืนต่อไป

ดังนั้น การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการศึกษาสมบัติทางกลและกายภาพของคอนกรีตบล็อกปูพื้นจากเถ้าแกลบ

กากส่าและเถ้าแกลบทดแทนซีเมนต์ โดยเปรียบเทียบมาตรฐานทั้งในระดับประเทศและระดับสากล เพื่อประเมินสมบัติของคอนกรีตบล็อกปูพื้นที่ผลิตโดยใช้วัสดุทดแทนจากของเสียจากภาคอุตสาหกรรมและการเกษตร อันจะนำไปสู่การพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

2. วัตถุประสงค์ (Objective)

2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางกลและกายภาพของคอนกรีตบล็อกปูพื้นผสมเถ้ากากส่าและเถ้าแกลบ

2.2 เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกลและกายภาพของคอนกรีตบล็อกปูพื้นผสมเถ้ากากส่า คอนกรีตบล็อกปูพื้นผสมเถ้าแกลบ และ คอนกรีตที่มีวางจำหน่ายทั่วไป

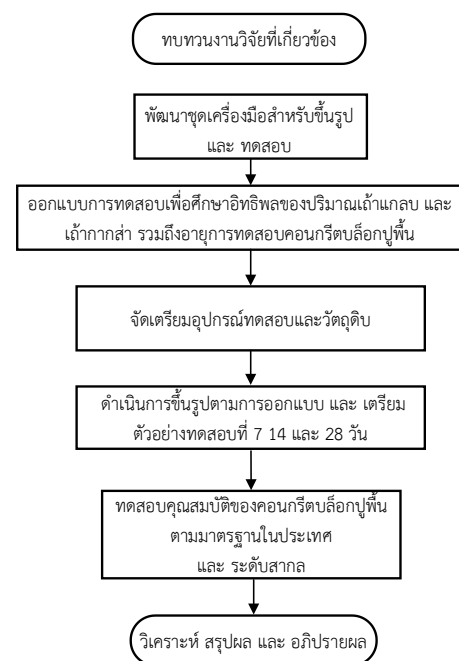
2.3 เพื่อให้ได้สัดส่วนผสมที่เหมาะสมผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้งานคอนกรีตบล็อกปูพื้นทั้งในประเทศและระดับสากล

2.4 เพื่อเป็นแนวทางในการใช้เถ้าแกลบจากระบบเตาเผาข้าวเปลือกสำหรับการประยุกต์ใช้ในวัสดุทางวิศวกรรม

3. การดำเนินงานวิจัย (Methodology)

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย การประยุกต์ใช้เถ้าแกลบจากระบบเตาเผาข้าวเปลือกทดแทนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกปูพื้น มีลำดับขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 การจัดเตรียมวัสดุสำหรับการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกปูพื้น

เตรียมเถ้ากากส่าและเถ้าแกลบผสมซีเมนต์ในสำหรับการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกปูพื้น โดยเตรียมเถ้าทั้ง 2 ชนิดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 50 ผสมกับทรายหยาบที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท

1 และ น้ำ ในอัตราส่วน 2:1 (ถ้ากากส่า หรือ ถั่วแกลบ รวมกับทรายต่อซีเมนต์) และ จะใช้ถั่วแกลบหรือ ถั่วแกลบทดแทนซีเมนต์ในอัตราส่วนประมาณร้อยละ 2 ถึง 20 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของการประยุกต์การใช้ถั่วแกลบ และ ถั่วแกลบทดแทนซีเมนต์มาเป็นส่วนผสมขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกปูพื้น

สูตรส่วนผสม	ระยะเวลาการบ่ม (วัน)	ร้อยละการแทนที่ซีเมนต์ (%)	น้ำหนักซีเมนต์ (kg)	น้ำหนักมวลรวมละเอียด (kg)	น้ำหนักถั่ว (kg)	รวมจำนวนตัวอย่าง (ก้อน)
CPB-XX-00	7, 14, 28	0	1.00	2.00	0.00	9
CPB-XX-02	7, 14, 28	2	0.98	2.00	0.02	9
CPB-XX-04	7, 14, 28	4	0.96	2.00	0.04	9
CPB-XX-06	7, 14, 28	6	0.94	2.00	0.06	9
CPB-XX-08	7, 14, 28	8	0.92	2.00	0.08	9
CPB-XX-10	7, 14, 28	10	0.90	2.00	0.10	9
CPB-XX-12	7, 14, 28	12	0.88	2.00	0.12	9
CPB-XX-14	7, 14, 28	14	0.86	2.00	0.14	9
CPB-XX-16	7, 14, 28	16	0.84	2.00	0.16	9
CPB-XX-18	7, 14, 28	18	0.82	2.00	0.18	9
CPB-XX-20	7, 14, 28	20	0.80	2.00	0.20	9

* อัตราส่วนน้ำตามเหมาะสม

หมายเหตุ CPB-XX-YY

CPB = Concrete Paving Block คอนกรีตบล็อกปูพื้น

XX = ระยะเวลาการบ่มคอนกรีตบล็อก (วัน)

YY = ร้อยละการแทนที่ซีเมนต์ด้วยถั่วแกลบ (%)

ใช้แบบมาตรฐานขนาด 14 ซม. x 24.5 ซม. x 6 ซม. ในการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกปูพื้นตามอัตราส่วนผสมต่างๆที่ออกแบบ



รูปที่ 6 ตัวอย่างแบบคอนกรีตบล็อกปูพื้น

3.3 การจัดเตรียมตัวอย่างคอนกรีตบล็อกปูพื้น

เตรียมทรายที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ ถั่วแกลบร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 50 ตามสัดส่วนผสมที่ออกแบบผสมรวมกับน้ำ จากนั้นผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วนำไปอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์คอนกรีตบล็อกปูพื้น อัดด้วยค้อนและแท่งไม้อัดแม่พิมพ์ และ บ่มขึ้นในอากาศที่อายุ 7 14 และ 28 วัน



ก) การผสมวัสดุตามอัตราส่วนออกแบบ



ข) การขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกปูพื้นตามแบบ



ค) ตัวอย่างคอนกรีตบล็อกปูพื้นสำหรับการนำไปทดสอบ

รูปที่ 7 การขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกปูพื้น

3.4 การทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกปูพื้น

การทดสอบคอนกรีตบล็อกปูพื้นดำเนินการตาม มอก. 827-2531 : คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น และ มอก. 2035-2543 : คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นสำหรับงานหนัก ประกอบด้วย ความหนาแน่น กำลังต้านทานแรงอัด และการดูดกลืนน้ำ โดยใช้ค่าเฉลี่ยจาก 3 ก้อนตัวอย่างโดยมีรายละเอียดของการทดสอบดังนี้

3.4.1 ความหนาแน่น (Density)

คอนกรีตบล็อกปูพื้นที่บ่มครบตามระยะเวลา ก่อนทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด จะต้องคำนวณความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกปูพื้น ดังสมการที่ 1

$$D = \frac{M}{(W \times H \times L)}$$

สมการที่ 1

โดยที่

D คือ ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อก เป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

M คือ มวลน้ำหนักของก้อนตัวอย่าง เป็นกิโลกรัม

W คือ ความกว้างของก้อน เป็นเมตร

H คือ ความสูงของก้อน เป็นเมตร

L คือ ความยาวของก้อน เป็นเมตร

3.4.2 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด

นำคอนกรีตบล็อกที่บ่มครบตามระยะเวลาที่ออกแบบ 7 14 และ 28 วัน ไปทำการทดสอบหาค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัดโดยการเตรียมตัวอย่างทดสอบด้วยการใช้วัสดุรองผิวด้านบนและล่างของตัวอย่างทดสอบเพื่อให้หน้าหักกระจายตลอดทั่วผิวน้ำตามการทดสอบที่กำหนดในมาตรฐาน มอก. 827-2531



รูปที่ 8 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด

โดยผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2

$$f = \frac{P}{A}$$

สมการที่ 2

โดยที่

f = ความดันแรงอัด (MPa $\approx$ 10.19 กก./ซม.²)

P = กำลังอัดจากเครื่องไฮดรอลิก (กก.)

A = พื้นที่หน้าตัดรับแรง (ซม.²)

3.4.3 การทดสอบการดูดกลืนน้ำ

การทดสอบการดูดกลืนน้ำดำเนินการทดสอบโดยชั่งน้ำหนักคอนกรีตบล็อกก่อนดำเนินการทดสอบ หลังจากนั้นนำไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 72 ชั่วโมงและนำคอนกรีตบล็อกขึ้นจากน้ำรอให้แห้งและนำขึ้นทดสอบไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ (110 $\pm$ 5) C เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชม. แล้วนำไปชั่งตาม มอก. 827-2565



รูปที่ 9 การทดสอบการดูดกลืนน้ำ (Water Absorption 72 hr.)

โดยผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 3

$$\%Wt = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

สมการที่ 3

โดยที่

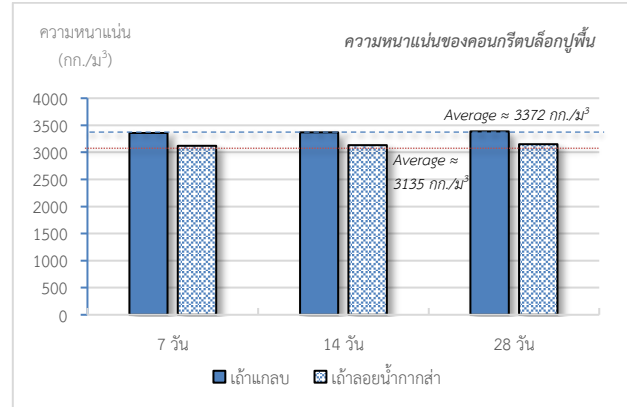
$\%Wt$ คือ ร้อยละการดูดซึมน้ำ เป็นเปอร์เซ็นต์,

W_1 คือ น้ำหนักคอนกรีตบล็อกก่อนแช่น้ำ เป็นกรัม

W_2 คือ น้ำหนักคอนกรีตบล็อกภายหลังการแช่น้ำ 72 ชั่วโมง เป็นกรัม

4. ผลการวิจัย (Results)

4.1 ผลการเปรียบเทียบความหนาแน่นโดยเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกปูพื้น (Density) ที่ผสมเถ้าลอยน้ำกากสำและเถ้าแกลบ ที่อายุบ่ม 7 14 และ 28 วัน



รูปที่ 10 ผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกปูพื้น

จากรูปที่ 10 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกปูพื้นตามอัตราส่วนเถ้ากากสำและเถ้าแกลบแทนที่ซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 0 – 20 ที่อายุบ่ม 7 14 และ 28 วันพบว่า คอนกรีตบล็อกปูพื้นที่ผสมเถ้าแกลบและเถ้าลอยน้ำกากสำแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยค่าเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกปูพื้นผสมเถ้ากากสำมีค่าประมาณ 3,135 กก./ม.³ ในขณะที่ คอนกรีตบล็อกปูพื้นผสมเถ้าแกลบมีค่าประมาณ 3,372 กก./ม.³ ตามลำดับ ซึ่งอาจเกิดจากสมบัติทางกายภาพของวัสดุทดแทนซีเมนต์ที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาตามช่วงอายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วันพบว่าค่าความหนาแน่นของทั้งการใช้เถ้ากากสำและเถ้าแกลบแทนที่ซีเมนต์แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทุกช่วงอายุการบ่ม

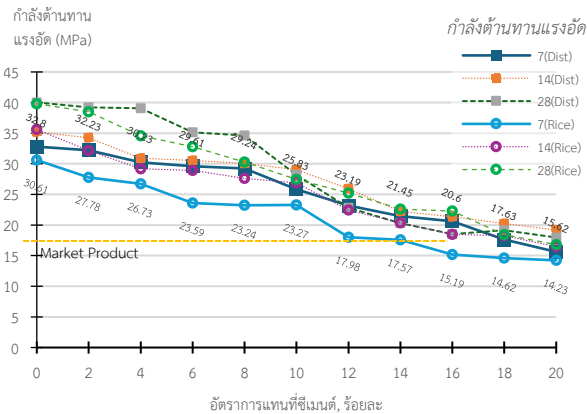
4.2 การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด

จากผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อกปูพื้นดังแสดงในตารางที่ 2 และ รูปที่ 11

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกปูพื้น

ปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ (%)	7 (Dist)	14 (Dist)	28 (Dist)	7 (Rice)	14 (Rice)	28 (Rice)
0	32.8	35.19	40.02	30.61	35.6	39.81
2	32.23	34.26	39.2	27.78	32.17	38.5
4	30.23	30.89	39.04	26.73	29.19	34.56
6	29.61	30.56	35.14	23.59	28.9	32.77
8	29.24	30.06	34.63	23.24	27.64	30.28
10	25.83	29.03	28.17	23.27	26.88	27.48
12	23.19	25.97	22.82	17.98	22.43	25.24
14	21.45	22.23	20.3	17.57	20.33	22.62
16	20.6	21.35	18.52	15.19	18.47	22.27
18	17.63	20.27	19.13	14.62	18.29	18.43
20	15.62	19.19	17.97	14.23	16.47	16.81

* หมายเหตุ : X () ตัวอักษร X หมายถึงระยะเวลาในการบ่ม, Dist (Distillery slope) หมายถึง เถ้ากากสำ และ Rice (Rice Husk Ash) หมายถึง เถ้าแกลบ



รูปที่ 11 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกปูพื้น

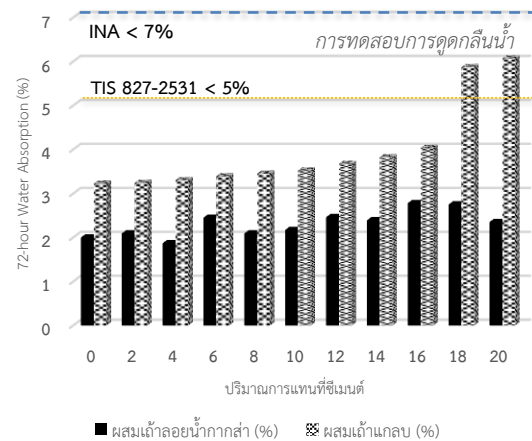
จาก รูปที่ 11 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกปูพื้นตามอัตราส่วนพื้นที่ซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 0 – 20 ที่อายุบ่ม 7 14 และ 28 วัน พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลงเมื่อการทดแทนซีเมนต์ที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้กำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม โดยที่อายุการบ่ม 28 วัน การแทนที่ซีเมนต์ที่อัตราร้อยละ 2-8 แก่ล่อน้ำกาสะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าแก่กลบเล็กน้อย ในขณะที่อายุการบ่ม 7 และ 14 วัน แก่ล่อน้ำกาสะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าแก่กลบทุกอัตราส่วนผสม อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณการทดแทนเกิน 10% ค่ากำลังจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเมื่อพิจารณาตามมาตรฐานที่อายุบ่ม 28 วันพบว่า แก่ล่อน้ำกาสะสามารถทดแทนซีเมนต์ได้ถึงร้อยละ 6 ในขณะที่แก่กลบทดแทนซีเมนต์ไม่เกินร้อยละ 2

4.3 การทดสอบการดูดกลืนน้ำ

จากผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกปูพื้นดังแสดงในตารางที่ 3 และ รูปที่ 12

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกปูพื้น

ปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ (ร้อยละ)	ผสมแก่ล่อน้ำกาสะ (ร้อยละการดูดกลืนน้ำ)	ผสมแก่กลบ (ร้อยละการดูดกลืนน้ำ)
0	2	3.22
2	2.09	3.24
4	1.87	3.3
6	2.45	3.39
8	2.09	3.45
10	2.17	3.52
12	2.46	3.67
14	2.39	3.82
16	2.78	4.03
18	2.75	5.87
20	2.35	6.07



รูปที่ 12 ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำ

จากรูปที่ 12 จากผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำตามอัตราส่วนพื้นที่ของแก่ล่อน้ำกาสะและแก่กลบแทนที่ซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 0 – 20 ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน พบว่า คอนกรีตบล็อกปูพื้นที่ใช้ผสมแก่ล่อน้ำกาสะมีการดูดกลืนน้ำต่ำกว่าที่ผสมด้วยแก่กลบ ซึ่งค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยของแก่ล่อน้ำกาสะอยู่ในช่วงร้อยละ 1.87 ถึง 2.78 ในขณะที่แก่กลบมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 3.22 ถึง 6.07 โดยเมื่อพิจารณาการแทนที่ในอัตราที่สูงกว่าร้อยละ 18 การผสมด้วยแก่กลบมีค่าการดูดกลืนน้ำสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาตามข้อกำหนดของมาตรฐาน มอก. (TIS) ที่กำหนดการดูดกลืนน้ำไม่เกินร้อยละ 5 และ INDIA กำหนดการดูดกลืนน้ำไม่เกินร้อยละ 7 จะพบว่า คอนกรีตบล็อกปูพื้นที่ใช้แก่ล่อน้ำกาสะทดแทนซีเมนต์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกอัตราส่วนผสม ในขณะที่คอนกรีตบล็อกปูพื้นที่ใช้แก่กลบทดแทนซีเมนต์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ปริมาณการทดแทนไม่เกินร้อยละ 16

5. บทสรุป (Conclusion)

จากผลการวิจัยภายใต้หัวข้อ การประยุกต์ใช้แก่ล่อน้ำกาสะจากระบบเตาเผา น้ำกาสะทดแทนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกปูพื้น สรุปได้ดังนี้

5.1 ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกปูพื้น (Density) เปรียบเทียบตามระยะเวลาบ่มและอัตราส่วนการแทนที่ซีเมนต์ด้วยแก่ล่อน้ำกาสะและแก่กลบพบว่า แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่าการทดสอบกำลังอัด(Compressive Strength) สูงขึ้นตามระยะเวลาบ่ม และเมื่อเปรียบเทียบตามอัตราส่วนการแทนที่ซีเมนต์พบว่า การเพิ่มปริมาณแก่ล่อน้ำกาสะทดแทนซีเมนต์ในอัตราที่สูงขึ้นต่อเนื่องในอัตราร้อยละ 2 ค่ากำลังอัดจะมีแนวโน้มลดลงในอัตราประมาณร้อยละ 4 และ เมื่อพิจารณาตามมาตรฐานพบว่า แก่ล่อน้ำกาสะสามารถทดแทนซีเมนต์ได้ถึงร้อยละ 6 ในขณะที่แก่กลบทดแทนซีเมนต์ไม่เกินร้อยละ 2 อย่างไรก็ตามหากเทียบกับที่วางขายตามท้องตลาดพบว่า การแทนที่ซีเมนต์ด้วยแก่ล่อน้ำกาสะ และแก่กลบไม่เกินร้อยละ 10 มีค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงกว่าทุกระยะเวลาบ่ม

5.2 ค่าการทดสอบการดูดกลืนน้ำ (WA) ของคอนกรีตบล็อกปูพื้นพบว่า ค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญในทุกส่วนผสมทั้งนี้ค่าการดูดกลืนน้ำไม่เกินข้อกำหนดตามเกณฑ์ มอก. 827-2531

5.3 จากผลประยุกต์ใช้การประยุกต์ใช้แก่ล่อน้ำกาสะจากระบบเตาเผา น้ำกาสะและแก่กลบทดแทนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกปูพื้น พบว่า ปริมาณของแก่ทั้ง 2 ชนิดที่ใช้ผสมแทนที่ซีเมนต์ไม่เกินร้อยละ 10 มีค่ากำลังอัดที่ต่ำกว่าที่วางจำหน่ายตามท้องตลาดทุกอัตราส่วนผสมในขณะที่ค่า

การดูดกลืนน้ำต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด จึงเป็นไปได้ที่จะพัฒนาต่อยอด และนำไปประยุกต์ใช้ในวิสาหกิจชุมชนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่สนับสนุนงานวิจัย และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ตลอดจนนักศึกษาที่ร่วมกันดำเนินงานวิจัยจนประสบผลสำเร็จเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Elfordy, S., et al., Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete ("hemcrete") manufactured by a projection process. *Construction and Building Materials*, 2008. 22(10): p. 2116-2123.
- [2] Shafigh, P., et al., Agricultural wastes as aggregate in concrete mixtures-A review. *Construction and Building Materials*, 2014. 53: p. 110-117.
- [3] Liu, L., et al., The development history and prospects of biomass-based insulation materials for buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. 69: p. 912-932.
- [4] Rojas, C., et al., Thermal insulation materials based on agricultural residual wheat straw and corn husk biomass, for application in sustainable buildings. *Sustainable Materials and Technologies*, 2019. 20: p. e00102.
- [5] Wonorahardjo, S., et al., Characterising thermal behaviour of buildings and its effect on urban heat island in tropical areas. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 2020. 11: p. 129-142.
- [6] Olofinnade, O., et al., Solid waste management in developing countries: Reusing of steel slag aggregate in eco-friendly interlocking concrete paving blocks production. *Case Studies in Construction Materials*, 2021. 14: p. e00532.
- [7] Namarak, C., et al., Development of concrete paving blocks prepared from waste materials without portland cement. *Materials Science*, 2018. 24(1): p. 92-99.
- [8] Djamaluddin, A.R., et al., Evaluation of sustainable concrete paving blocks incorporating processed waste tea ash. *Case Studies in Construction Materials*, 2020. 12: p. e00325.
- [9] Yeo, J.S., et al., Optimisation and environmental impact analysis of green dry mix mortar paving block incorporating high volume recycled waste glass and ground granulated blast furnace slag. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023. 30(20): p. 58493-58515.
- [10] สนธยา ทองอรุณศรี, et al., การพัฒนาคอนกรีตบล็อกพรุน สำหรับอาคารประหยัดพลังงาน. *เทคโนโลยีอุตสาหกรรม* 7, 2554: p. 22-30.
- [11] สุวัฒน์ชัย ปลื้มฤทัย and โยธิน อึ้งกุล, การพัฒนาคอนกรีตบล็อกจากผักตบชวา. *การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาศิลปการ ระดับชาติ/นานาชาติ ครั้งที่ 2, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.*, 2554: p. 149-166.
- [12] Small Element Pavement Technology (SEPT). The international body for the development of concrete block pavement technology. 2018; Available from: <http://www.sept.org/>.
- [13] Mosaberpanah, M.A. and S. Umar, Utilizing rice husk ash as supplement to cementitious materials on performance of ultra high performance concrete:-a review. *Materials Today Sustainability*, 2020. 7: p. 100030.
- [14] Thomas, B.S., Green concrete partially comprised of rice husk ash as a supplementary cementitious material-A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018. 82: p. 3913-3923.
- [15] Wang, J., et al., Action mechanism of rice husk ash and the effect on main performances of cement-based materials: A review. *Construction and Building Materials*, 2021. 288: p. 123068.
- [16] Das, S.K., et al., Production, characteristics, and utilization of rice husk ash in alkali activated materials: An overview of fresh and hardened state properties. *Construction and Building Materials*, 2022. 345: p. 128341.
- [17] De Sensale, G.R., Effect of rice-husk ash on durability of cementitious materials. *Cement and Concrete Composites*, 2010. 32(9): p. 718-725.
- [18] Siddika, A., et al., State-of-the-art-review on rice husk ash: A supplementary cementitious material in concrete. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 2021. 33(5): p. 294-307.
- [19] Hu, L., Z. He, and S. Zhang, Sustainable use of rice husk ash in cement-based materials: Environmental evaluation and performance improvement. *Journal of Cleaner Production*, 2020. 264: p. 121744.
- [20] Jittin, V., A. Bahurudeen, and S. Ajinkya, Utilisation of rice husk ash for cleaner production of different construction products. *Journal of cleaner production*, 2020. 263: p. 121578.