

การศึกษาคอนกรีตรีไซเคิลสำหรับบล็อกปูพื้นทางเท้าเพื่อลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของคอนกรีต

Study of recycled concrete for paving blocks to reduce the carbon footprint of concrete

วนิดา อันทรบุตร¹ คุณานนท์ เรืองศรี¹ มานีสา โสมงาม¹ ณภัทร โพธิ์วัน² ภัททิ คบกลาง³ และ ปิยนุช ใจแก้ว^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จ.นครนายก

²สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร

³ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

*Corresponding author; E-mail address: piyanuchj@g.swu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการนำคอนกรีตรีไซเคิลมาใช้เป็นส่วนผสมผลิตภัณฑ์บล็อกปูพื้นทางเดิน โดยขึ้นรูปวัสดุเป็นบล็อกทางเดินที่ผสมกากคอนกรีตในปริมาณร้อยละ 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนัก แล้วทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุ ผลจากการทดลองพบว่า ค่ากำลังอัด ค่าความหนาแน่น และค่าการดูดซึมน้ำ แปรผกผันกับอัตราส่วนผสมกากคอนกรีต กล่าวคือ กำลังอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ มีค่ามากที่สุดเมื่อผสมกากคอนกรีตในปริมาณร้อยละ 20 และมีค่าลดลงเรื่อยๆ ตามปริมาณกากคอนกรีตที่ผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ที่สร้างภาพจากการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวของตัวอย่าง โดยพบรอยแตกร้าวบนพื้นผิวของชิ้นงาน ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้สมบัติทางกลนั้นด้อยลง นอกจากนี้ เมื่อวิเคราะห์อิทธิพลของชนิดกากคอนกรีต วัสดุเชิงประกอบของคอนกรีตมีสมบัติทางกลและทางกายภาพด้อยที่สุด และผลการศึกษากระบวนการรีไซเคิลแยกกากคอนกรีตเหลือทิ้งจากโรงผสมคอนกรีตออกมาเป็น หิน ทราย และเศษกากคอนกรีต พบว่า มีค่าการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.11 kg CO₂e/m² โดยแยกเป็นค่าที่เกิดจากกิจกรรมการได้มาซึ่งวัตถุดิบ (กระบวนการรีไซเคิล) กระบวนการผลิต และกระบวนการขนส่งเท่ากับ 0.0688 kg CO₂e/m² 0.9964 kg CO₂e/m² และ 0.0356 kg CO₂e/m² ตามลำดับ ซึ่งกระบวนการที่มีการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ กระบวนการรีไซเคิล โดยมีค่าร้อยละ 65 รองลงมาเป็นกระบวนการขนส่ง ซึ่งมีค่าร้อยละ 35 และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการกำจัดแบบเทกองทิ้ง (วิธีการเดิม) การทำบล็อกปูพื้นทางเดินจากคอนกรีตรีไซเคิลสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึงร้อยละ 95.62 การนำกากคอนกรีตมาผสมเพื่อไปใช้ประโยชน์แทนการฝังกลบหรือการนำไปกำจัดรูปแบบอื่น จึงเป็นวิธีที่ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

คำสำคัญ: คอนกรีตรีไซเคิล กากคอนกรีต ผลิตภัณฑ์บล็อกปูพื้นทางเดิน คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของคอนกรีต

Abstract

This research studied the use of recycled concrete as a component of paving block products by forming paving blocks mixed with concrete waste at 20, 40 and 60 percent by weight and testing the physical and mechanical properties of the materials. The experimental results showed that the compressive strength, density and water absorption values were inversely

proportional to the ratio of concrete waste, i.e., the compressive strength, density and water absorption values were highest when concrete waste was mixed at 20 percent and gradually decreased as the amount of concrete waste was increased. This was consistent with the results of the analysis using a Scanning Electron Microscope (SEM) that created images from electrons reflected from the surface of the sample, which showed cracks on the surface of the specimen. Therefore, the mechanical properties were deteriorated. In addition, when analyzing the influence of the type of concrete waste, the composite materials of the concrete had the poorest mechanical and physical properties. The study of the recycling process of separating the concrete waste from the concrete mixing plant into rocks, sand and mortar waste found that the carbon footprint of greenhouse gases was 1.11 kg CO₂e/m², which was separated into values from the activities of raw material acquisition (recycling process), production process and the transportation process was equal to 0.0688 kg CO₂e/m², 0.9964 kg CO₂e/m² and 0.0356 kg CO₂e/m², respectively. The process with the highest carbon footprint of greenhouse gases was the recycling process, with a value of 65 percent, followed by the transportation process, with a value of 35 percent. When compared to the disposal by dumping in bulk (the original method), making paving blocks from recycled concrete can reduce greenhouse gas emissions by up to 95.62 percent. Mixing concrete waste for reuse instead of landfilling or other forms of disposal is a method that helps reduce environmental problems and creates the highest benefit.

Keywords: recycle concrete, concrete waste, paving block products, carbon footprint of concrete

1. ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการก่อสร้างและการพัฒนาเมืองอย่างรวดเร็วในหลายประเทศ นำมาซึ่งการสร้างปริมาณขยะจากการก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล ขยะจากอุตสาหกรรมก่อสร้างมีหลายประเภท ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการก่อสร้าง การรื้อถอน การปรับปรุง หรือการซ่อมแซมโครงสร้างอาคารและโครงสร้างพื้นฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเศษคอนกรีตที่เหลือจาก

โครงการก่อสร้างและการรื้อถอน (Construction and Demolition Waste) ซึ่งเป็นขยะที่มีปริมาณมากและย่อยสลายไม่ได้ ซึ่งมีบทบาทเป็นส่วนสำคัญในขยะก่อสร้างที่พบได้ทั่วไป ปริมาณขยะเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการเติบโตของเมืองและการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน การจัดการขยะก่อสร้างยังคงเป็นปัญหาใหญ่ ซึ่งเศษคอนกรีตมักถูกทิ้งในหลุมฝังกลบหรือทำลายทิ้ง ทำให้พื้นที่ในการจัดการขยะเกิดความตึงเครียดและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างชัดเจน การทุบทำลาย หรือขนส่งกากคอนกรีตจะปล่อย ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM10, PM2.5) ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ หากกากคอนกรีตไม่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ เท่ากับต้องผลิตใหม่มากขึ้น ปล่อย CO₂ เพิ่มขึ้น จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การใช้เศษคอนกรีต ที่ทำการบดจนมาเป็นกากคอนกรีตในการผลิตคอนกรีตใหม่สามารถช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติได้ประมาณ 20-30% ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการใช้กากคอนกรีตประสิทธิภาพและคุณสมบัติ [1,2] การนำกากคอนกรีตมาเป็นส่วนผสมล่อคูปทางเท้า คือกระบวนการที่ใช้กากคอนกรีตจากการก่อสร้าง เพื่อช่วยลดปริมาณขยะคอนกรีตในอุตสาหกรรมก่อสร้างมีการผลิตขยะคอนกรีตจำนวนมากจากการก่อสร้าง รวมทั้งการประยุกต์ใช้วัสดุรีไซเคิล ช่วยลดการใช้วัสดุธรรมชาติ ลดปริมาณขยะในพื้นที่ ลดต้นทุนการผลิต เพิ่มมูลค่าให้กับกากคอนกรีตในปัจจุบัน แนวโน้มในการใช้วัสดุรีไซเคิลในอุตสาหกรรมก่อสร้าง กำลังได้รับความนิยมมากขึ้น การนำกากคอนกรีตมาผสมเป็นล่อคูปทางเท้าจึงมีความสำคัญทั้งในด้านการลดปริมาณขยะ การประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ และการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ นอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมแนวทางการก่อสร้างที่ยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [3,4] กากคอนกรีตส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมอย่างไรหากไม่มีการใช้ผสมเป็นคอนกรีตบล็อก

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ใช้ในการก่อสร้าง อาคาร และ สาธารณูปโภค ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งด้านราคาและคุณสมบัติต่างๆ วัสดุก่อสร้างมีความหลากหลายในทางวัสดุ ตั้งแต่ดินจนถึงโลหะ พลาสติกหรือแก้ว วัสดุแบ่งแยกในหลายด้านไม่ว่าโครงสร้างทางวัตถุ จุดประสงค์การใช้งาน มักจะหมายถึงชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ สำหรับใช้ในงานจำเพาะเจาะจงและอาจหมายถึงวัสดุต่างชนิดได้ หรือแม้แต่ในปัจจุบันได้มีการเห็นถึงความสัมพันธ์ของวัสดุก่อสร้างและสิ่งแวดล้อม ได้มีหลายองค์การที่จัดแบ่งแยกวัสดุออกตามการนำกลับมาใช้ใหม่ สำหรับการก่อสร้างคอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งด้านราคาและคุณสมบัติต่างๆ คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วน คือ วัสดุประสาน อันได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ผสมกับวัสดุผสมอันได้แก่ หิน หิน กรวด ซึ่งน้ำและซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกันในลักษณะที่เรียกว่าการไฮเดรชัน เมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่งพอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อ ที่มีรูปร่างตามต้องการ หลังจากนั้นจะแปรสภาพเป็นของแข็ง มีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น โดยประมาณหลังจากแข็งตัวแล้ว 28 วัน ความแข็งแรงจะเริ่มคงที่ [2,3] การนำกากคอนกรีตมาผสมเป็นล่อคูปทางเท้า คือกระบวนการที่ใช้เศษคอนกรีตจากการก่อสร้างหรือการรื้อถอนอาคารเก่าที่ไม่ใช้แล้ว มาแปรรูปเพื่อใช้ในงานก่อสร้างใหม่เป็นแนวทางในการใช้วัสดุรีไซเคิลเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

- การรีไซเคิลวัสดุ (Recycling Theory)

การรีไซเคิลวัสดุหมายถึงกระบวนการนำวัสดุที่ใช้แล้วมาใช้ใหม่เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด การนำวัสดุที่ไม่ได้ใช้แล้วกลับมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งในกรณีของกากคอนกรีต การนำมาใช้ในการผลิตบล็อกปูทางเท้าเป็นการใช้แนวคิดนี้เพื่อช่วยลดปริมาณขยะและลดการใช้วัสดุจากธรรมชาติ Circular Economy (เศรษฐกิจหมุนเวียน) แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนเน้นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่แล้วมาใช้ซ้ำเพื่อลดขยะและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุที่ไม่ได้ใช้ การนำกากคอนกรีตมาใช้ในการอุตสาหกรรมก่อสร้างจึงเป็นหนึ่งในแนวทางที่สอดคล้องกับหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียน [4]

- วัสดุก่อสร้างทดแทน (Alternative construction materials)

แนวคิดวัสดุก่อสร้างทดแทนเพื่อประหยัดทรัพยากรธรรมชาติและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการใช้วัสดุที่มีอยู่แล้ว เช่น กากคอนกรีตแทนวัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิตคอนกรีตใหม่ เช่น ปูนซีเมนต์ หิน และกรวด การประเมินความยั่งยืน (Sustainability Assessment) จะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยคำนึงถึงทั้งต้นทุนการผลิต การใช้พลังงาน และการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ [5,6]

- การทดสอบความแข็งแรงและคุณสมบัติของวัสดุ (Strength and durability testing theory)

การใช้กากคอนกรีตมาผสมในล่อคูปทางเท้าจำเป็นต้องทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น การทดสอบทางด้านการกายภาพ การทดสอบทางด้านการเชิงกล ความแข็งแรง ความทนทานต่อสภาพอากาศและการรับน้ำหนัก ทฤษฎีนี้ใช้หลักการทางวิศวกรรม [7,8] เพื่อวิเคราะห์และทดสอบวัสดุใหม่ๆ ที่จะถูกใช้ในงานก่อสร้าง

2.2 การประยุกต์ใช้กากคอนกรีตในงานก่อสร้าง

มีหลายวิธีที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งช่วยลดปริมาณขยะและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ดังนี้

(1) การผลิตวัสดุก่อสร้างใหม่ เช่น บล็อกคอนกรีต: กากคอนกรีตสามารถนำมาผสมเพื่อผลิตบล็อกคอนกรีตใหม่ ซึ่งเหมาะสำหรับการสร้างกำแพงหรือฐานรอง วัสดุพื้นผิว ใช้ในงานพื้นหรือผิวถนน เช่น การทำแอสฟัลต์หรือพื้นคอนกรีต [10]

(2) ฐานรองโครงสร้างเช่น ฐานรองถนน ใช้กากคอนกรีตเป็นวัสดุฐานรองสำหรับการสร้างถนน ช่วยเพิ่มความมั่นคงและการระบายน้ำ วัสดุเดิมดิน: สามารถใช้ในการปรับระดับพื้นดินหรืองานดินที่ต้องการความแข็งแรง

(3) การสร้างสวนหรือภูมิทัศน์ เช่น วัสดุจัดสวน กากคอนกรีตสามารถใช้เป็นวัสดุจัดสวน เช่น การทำทางเดินในสวนหรือการสร้างฟุตบาท การจัดสวนแนวตั้ง สามารถใช้เพื่อสร้างฐานหรือโครงสร้างในการปลูกพืชในพื้นที่จำกัด

(4) การก่อสร้างโครงสร้างชั่วคราว การนำเศษซากคอนกรีตมาทำเป็นวัสดุถมมวลรวมรีไซเคิลกระบวนการนี้เป็นการนำเศษซากอาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่ถูกรื้อถอนมาทำการคัดแยกให้เหลือเฉพาะส่วนที่เป็นเศษซากคอนกรีต เพื่อนำมาผ่านกระบวนการบดย่อยและคัดแยกขนาดและนำมาใช้เป็นวัสดุถมมวลรวมในการผลิตคอนกรีตใหม่อีกครั้ง การรีไซเคิลรูปแบบนี้เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพมากในการกำจัดเศษซากคอนกรีตรื้อถอน เพราะเป็นการกำจัดขยะคอนกรีตที่เกิดขึ้นได้เกือบร้อยเปอร์เซ็นต์ จึงมีความสำคัญมากในประเทศที่มีทรัพยากรอยู่น้อย หรือมีพื้นที่อยู่อย่างจำกัด กระบวนการทั่วไปในการรีไซเคิลเศษซากคอนกรีตกลับมาใช้เป็นวัสดุถมมวลรวมใน หน่วยผลิตคอนกรีต ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนหลักๆ เช่น การรื้อถอนทำลายและเคลื่อนย้ายเศษซากอาคารที่ทุบทิ้ง การบดย่อย เศษซากอาคารที่ถูกส่งมา การคัดแยกวัสดุแปลกปลอมอื่นๆ การล้างและคัดแยก

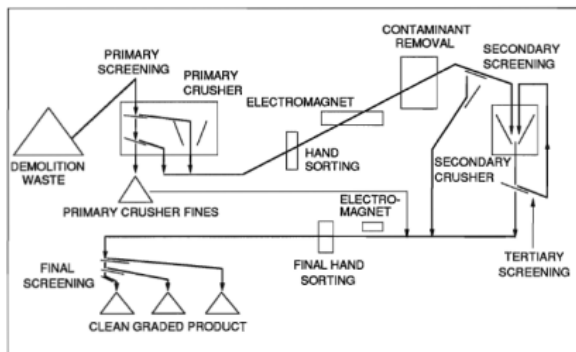
ขนาด การแยกเก็บตามขนาดเพื่อเตรียมนำกลับไปใช้เป็นวัสดุถมมวลรวมต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 1

2.3 หลักการคำนวณการหาค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแต่ละกิจกรรมใช้สูตรหรือปัจจัยการปล่อย (Emission Factor) ที่สัมพันธ์กับการใช้ทรัพยากรหรือกิจกรรมต่างๆ ซึ่งจะมีค่าคงที่สำหรับแต่ละประเภทการปล่อยการคำนวณในรูปแบบคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นดังแสดงในสมการที่ 1

$$\text{Emissions} = \text{Activity Level} \times \text{Emission Factor} \quad (1)$$

Activity Level คือ ปริมาณหรือระดับกิจกรรม เช่น ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (ลิตรหรือกิโลกรัม), การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง), ระยะทางที่ขนส่งสินค้า (กิโลเมตร) หรือปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิต Emission Factor คือ ปัจจัยการปล่อย ซึ่งระบุปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาในหน่วย CO₂e ต่อกิจกรรมที่เกิดขึ้น เช่น ปัจจัยการปล่อยของน้ำมันดีเซล, ปัจจัยการปล่อยของไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆ (อ้างอิงค่า Emission Factor จากข้อมูลวิทยุภูมิสำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) update 09/08/2565 และ IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006)



รูปที่ 1 กระบวนการนำเศษซากคอนกรีตมาทำเป็นวัสดุถมมวลรวมรีไซเคิล ที่มา: Margaret.(1990) [11]

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

การศึกษาล็อกปูพื้นทางเดินขนาด 30*30*45 cm โดยมีส่วนประกอบคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 โดยใช้มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด(ทราย) ที่มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 แต่ไม่เล็กกว่า 0.07 มม. (Fine aggregate) มวลรวมหยาบ(หินหรือกรวด) ที่มีขนาดใหญ่กว่า 4.5 มม. (coarse aggregate) น้ำ และกากคอนกรีตโดยกากคอนกรีตได้จากโรงงานผลิตคอนกรีตที่เป็นเศษคอนกรีตซึ่งเศษคอนกรีตที่ผ่านการคัดแยกแล้วจะถูกนำไปบดละเอียดในรูปกากคอนกรีตที่มีกากคอนกรีตขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) การผสมและขึ้นรูปเป็นบล็อกปูพื้นทางเดินตัวอย่างแล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางกล และคุณสมบัติทางเคมี เพื่อให้บรรลุผลภายใต้ขอบเขตตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

3.2 วิธีการทดสอบ

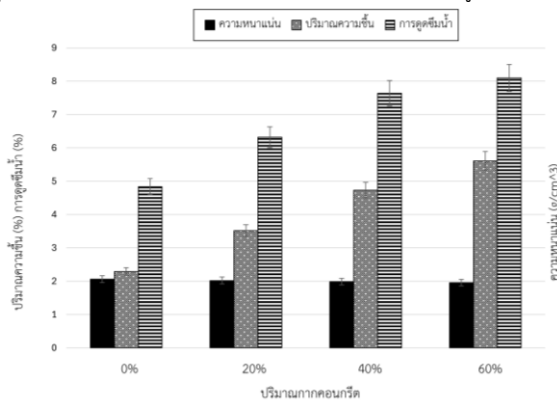
วิธีการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของบล็อกปูพื้นทางเดิน กรรมวิธีในการเตรียมชิ้นทดสอบการผสมกากคอนกรีตในอัตราส่วนผสมโดยมีปริมาณกากคอนกรีตในการผสมร้อยละ 0, 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักที่แตกต่างกันทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางกล คุณสมบัติทางเคมี อัตราส่วนผสมของบล็อกปูพื้นทางเดินเมื่อเทียบกับปริมาตร 1 ลบ.ม. โดยอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน คือ 1 : 2 : 4 โดยน้ำหนัก, w/c ratio = 0.60 เตรียมตัวอย่างนำมาผสมแล้วบ่ม 28 วัน แล้วนำมาทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆ เช่น การทดสอบความหนาแน่นวิธีทำนํ้าตัวอย่างคอนกรีตที่ได้ชั่งน้ำหนัก วัดปริมาตรของชิ้นทดสอบความหนาแน่น (Density) เทากับน้ำหนักต่อปริมาตร การทดสอบความชื้นวิธีทำนํ้าตัวอย่างคอนกรีตมาชั่งน้ำหนักก่อนอบแห้ง (น้ำหนักเปียก) แล้วนำไปอบจนแห้งสนิท จากนั้นชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (น้ำหนักแห้ง) การทดสอบการดูดซึมนํ้าวิธีทำนํ้าชิ้นทดสอบที่อบแล้วไปแช่นํ้าในช่วงเวลาที่กำหนด เช่น 30 นาที และ 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักก่อนและหลังแช่นํ้าการดูดซึมนํ้า (%) การทดสอบกำลังดัดใช้วิธี Flexural Strength of Concrete วิธีนํ้าตัวอย่างที่บ่มไว้ 28 วัน วางบนแท่นรอง 2 จุด แล้วกดลงตรงกลางบันทึกค่าแรงสูงสุดที่ทำให้พื้นหักแล้วคำนวณจากกำลังรับแรงดัดเท่ากับ (PL / bd^2) การทดสอบกำลังดึงใช้วิธี (Splitting Tensile Test) วิธีทำนํ้าตัวอย่างที่บ่มไว้ 28 วัน วางนอนบนแท่น แล้วกดลงตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง เครื่องจะกดจนคอนกรีตแตกบันทึกค่านํ้าหนักสูงสุดแล้วคำนวณจากกำลังรับแรงดึง $(2P / \pi LD)$ เพื่อให้ได้ตามมาตรฐานที่ระบุไว้ของแต่ละการทดสอบ โดยค่าที่ได้ในแต่ละการทดสอบได้มาจากค่าเฉลี่ย 3 ตัวอย่าง และได้นํ้าหนักคอนกรีตไปทำการวิเคราะห์พื้นผิวของกากคอนกรีต ด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) เพื่อให้ได้ข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างและลักษณะของพื้นผิวของกากคอนกรีตได้ถึงรายละเอียดของโครงสร้างที่มีความซับซ้อน เช่น ขนาดและรูปร่างของอนุภาคต่างๆ ในกากคอนกรีต รวมถึงการมีรูพรุนหรือพื้นผิวที่ขรุขระ หรือแร่ธาตุที่แยกออกจากเนื้อคอนกรีต ซึ่งอาจมีผลต่อคุณสมบัติของกากคอนกรีตที่นำกลับมาใช้งานใหม่ นำกากคอนกรีตไปประเมินก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการรีไซเคิลกากคอนกรีต จากกระบวนการแยกกากคอนกรีต ได้ หิน ทราย และกากคอนกรีต จะได้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลูกบาศก์เมตร (Kg CO₂e/m³)

4. ผลวิจัย

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

โดยทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้ผลการทดสอบความหนาแน่น ความชื้น และการดูดซึมนํ้าของคอนกรีต การทดสอบโดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 378-2531 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตปูพื้น จากการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตผสมกากคอนกรีตโดยมีปริมาณกากคอนกรีตในการผสมร้อยละ 0, 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนัก พบว่าความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมกากคอนกรีตในช่วงที่อายุบ่ม 28 วันมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 2.06, 2.02, 1.94, 1.99 และ 1.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm³) ตามลำดับ ผลการทดสอบความชื้นของคอนกรีตมีค่าเฉลี่ย 2.29, 3.52, 4.73 และ 5.61 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm³) ตามลำดับ และผลการทดสอบการดูดซึมนํ้าของคอนกรีตผสมกากคอนกรีต มีค่าที่ได้ในเวลา 30 นาที มีค่า 3.40, 4.86, 5.68, 6.68 ตามลำดับ และค่าที่ได้ในเวลา 24 ชั่วโมง 4.84, 6.32, 7.64, 8.10 ตามลำดับ พบว่าการดูดซึมนํ้าตามมอก.378-2531 กำหนดการดูดซึมนํ้าไม่เกินร้อยละ10 ผลการทดสอบผ่านทุกส่วนการผสม แสดงให้เห็นว่าการดูดซึมนํ้าสูงกว่าเมื่อเทียบจากตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่ผสมกากคอนกรีต

จากผลการทดสอบทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่ามีความหนาแน่นต่ำเมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่ผสมกากคอนกรีต การเพิ่มกากคอนกรีตเป็นส่วนผสมของคอนกรีตนั้นส่งผลต่อความหนาแน่นของคอนกรีตโดยจะให้ความหนาแน่นต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมกากคอนกรีต ส่งผลต่อการดูดซึมน้ำของคอนกรีตโดยปริมาณกากคอนกรีตจะให้การดูดซึมน้ำที่แตกต่างกันออกไป แต่ทั้งนี้ก็ยังให้การดูดซึมน้ำมากกว่าคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมกากคอนกรีต โดยกากคอนกรีตที่ให้การดูดซึมน้ำมากที่สุดจะอยู่ในปริมาณร้อยละ 60 และกากคอนกรีตที่ให้การดูดซึมน้ำต่ำที่สุดอยู่ในปริมาณร้อยละ 20 ตามลำดับ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยกากคอนกรีตส่งผลให้โครงสร้างภายในของวัสดุมีความพรุนมากขึ้น เนื่องจากกากคอนกรีตไม่สามารถทำหน้าที่ยึดประสานได้ดีเท่าปูน ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำและความชื้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณที่ใช้ คอนกรีตนั้นส่งผลต่อปริมาณความชื้นของคอนกรีตโดยจะให้ความชื้นสูงขึ้นเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมกากคอนกรีต ค่าคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบ่ม 28 วันดังแสดงในรูปที่ 2



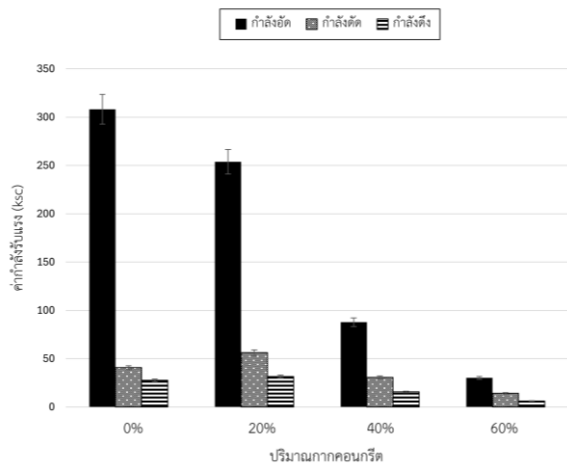
เฉลี่ย (%) และค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ย (%) ของคอนกรีต

4.2 กำลังผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล

โดยทำการทดสอบคุณสมบัติทางกล ได้ผลค่าการทดสอบกำลังอัด กำลังดึง และ กำลังดัดของคอนกรีต โดยใช้วิธีการทดสอบกำลังอัดสำหรับตัวอย่างทรงกระบอก ตามมาตรฐาน ASTM C 39 (Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens) การทดสอบกำลังดึงของคอนกรีตโดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete และการทดสอบหาค่ากำลังดัดโดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C78 กำลังดัดของคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 3 ได้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมกากคอนกรีต โดยมีปริมาณกากคอนกรีตในการผสมร้อยละ 0, 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนัก พบว่าผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมกากคอนกรีตในช่วง อายุ 28 วันมีค่า 398.07, 300.74, 118.52, 50.37 ตามลำดับ ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมีค่า 27.59, 31.12, 15.56, 6.13 ตามลำดับ และผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตที่ผสมกากคอนกรีตตามอัตราส่วนผสม ที่อายุบ่ม 28 วันมีค่า 40.63, 56.25, 30.63, 14.17 ตามลำดับ และมีค่า 40.63, 56.25, 30.63, 14.17 ตามลำดับ โดยพบว่าตัวอย่างที่ผสมกากคอนกรีตจะมีกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึงต่ำกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่ผสมกากคอนกรีต

จากผลการทดสอบทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มกากคอนกรีต เป็นส่วนผสมของคอนกรีตนั้นส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยเมื่อเพิ่มปริมาณกากคอนกรีตมากขึ้นจะแปรผกผันกับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าน้อยลง โดยปริมาณกากคอนกรีตที่ให้ค่ากำลังอัดมากที่สุดคือร้อยละ 20 และปริมาณกากคอนกรีตที่ให้ค่ากำลัง

อัดน้อยสุดคือร้อยละ 60 มีปริมาณความชื้นสูงขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่ผสมกากคอนกรีต โดยเมื่อเทียบกับมาตรฐานของคอนกรีตที่ใช้สำหรับงานโครงสร้างที่รับน้ำหนักน้อย (ซึ่งคอนกรีตที่ใช้กันทั่วไปจะมีความสามารถด้านกำลังรับแรงอัดที่ 180 ถึง 300 ksc ตัวอย่างทดสอบที่เข้าข่ายเกณฑ์ คือ คอนกรีตผสมกากคอนกรีตที่ปริมาณร้อยละ 20



จากผลการทดสอบทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 3 สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มกากคอนกรีตเป็นส่วนผสมของคอนกรีตนั้นส่งผลต่อกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตโดยเมื่อเพิ่มปริมาณกากคอนกรีตมากขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตมีค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่ามากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกากคอนกรีตมากกว่าร้อยละ 20 จะส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงดึงมีค่าน้อยลง เมื่อเทียบกับมาตรฐานของคอนกรีตทั่วไป (ซึ่งคอนกรีตที่ใช้กันทั่วไปจะมีความสามารถด้านกำลังรับแรงดึงที่ร้อยละ 7-11 ของกำลังรับแรงอัดโดยคิดเป็นช่วง 12.6 ถึง 44.0 Ksc ผลการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมกากคอนกรีต โดยพบว่าตัวอย่างที่ผสมกากคอนกรีตจะมีกำลังรับแรงดัดต่ำกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่ผสมกากคอนกรีต ส่วนกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตโดยเมื่อเพิ่มปริมาณกากคอนกรีตมากขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมีค่ามากขึ้นแต่เมื่อเพิ่มปริมาณกากคอนกรีตมากกว่าร้อยละ 20 จะส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงดัดมีค่าน้อยลง โดยเมื่อเทียบกับมาตรฐานกันที่อุตสาหกรรมคอนกรีตปูนซีเมนต์ของคอนกรีตผลิต มอก.378-2531 โดยพบว่าตัวอย่างทดสอบที่ปริมาณกากคอนกรีตร้อยละ 20 40 เข้าข่ายเกณฑ์ และตัวอย่างคอนกรีตผสมกากคอนกรีต ที่ปริมาณร้อยละ 20 จะให้ค่าความสามารถด้านกำลังรับแรงดัดมากที่สุด

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมี

ตรวจสอบสภาพความเป็นกรด-ด่างของผิวคอนกรีตโดยใช้วิธีการผสมผงคอนกรีตกับน้ำกลั่นแล้วคนให้เข้ากันวัดค่า pH โดยใช้ (Digital pH meter) ทดสอบตามมาตรฐานของประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ได้ค่าคอนกรีตดังแสดงในตารางที่ 1 จากการทดสอบวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของคอนกรีตผสมกากคอนกรีตที่ปริมาณกากคอนกรีตในการผสมร้อยละ 0, 20, 40 และ 60 พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของคอนกรีตที่ผสมกากคอนกรีตในช่วงที่อายุบ่ม 28 วันมีค่า

เป็นกรด-ด่างดังนี้ มีค่า pH ที่ 12.53, 12.62, 12.66, และ 13.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบค่า pH (อายุ 28 วัน)

ตัวอย่างทดสอบ	ปริมาณกากคอนกรีต	ความเป็นกรด-ด่างของผิวคอนกรีต (28 วัน)			
		ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	เฉลี่ย
คอนกรีตไม่ผสมกากคอนกรีต	0%	12.47	12.53	12.59	12.53
คอนกรีตผสมกากคอนกรีต	20%	12.40	12.85	12.60	12.62
คอนกรีตผสมกากคอนกรีต	40%	12.55	12.65	12.80	12.66
คอนกรีตผสมกากคอนกรีต	60%	13.25	12.97	13.10	13.11

โดยปกติคอนกรีตทั่วไป จะมีสภาพเป็นด่างหรือมีค่า pH ประมาณ 12.5 มีค่าเป็นด่าง ส่วนในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดหรือค่า pH ต่ำกว่า 6.5 คอนกรีตจะเริ่มเกิดความเสียหายขึ้นตัวอย่างของกรดที่สามารถกัดกร่อนคอนกรีตได้ อย่างรุนแรงคือกรด Carbonic, Hydrochloric, Hydrofluoric, Nitric, Phosphoric และ Sulfuric เป็นต้น [10] เมื่อนำตัวอย่างทดสอบเทียบกับมาตรฐานของคอนกรีต โดยพบว่าตัวอย่างทดสอบที่มีค่ากรด-ด่างคอนกรีตผสมกากคอนกรีตที่ปริมาณร้อยละ 20 โดยให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยที่ 12.62 เนื่องจากกากคอนกรีตมีเศษปูนซีเมนต์ซึ่งมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นสารที่มีความเป็นด่างสูงเมื่อใช้กากคอนกรีตในปริมาณมาก สารเหล่านี้จะละลายออกมาในน้ำมากขึ้น ทำให้ค่า pH ของตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้นตามสัดส่วนของกากคอนกรีตที่ใช้

4.3.1 การทดสอบหาโลหะหนัก

นำตัวอย่างน้ำที่ผสมกากคอนกรีตที่ร้อยละ 20 ที่บ่มคอนกรีต 7 วันและ 28 วัน มาทดสอบหาค่าโลหะหนักด้วยวิธี Toxicity Characteristic Leaching Procedure โดยใช้เครื่อง ICP-OES เพื่อวิเคราะห์โลหะหนักเมื่อระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตต่างกันจะผลต่อสารปนเปื้อนในน้ำดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบการหาโลหะหนัก

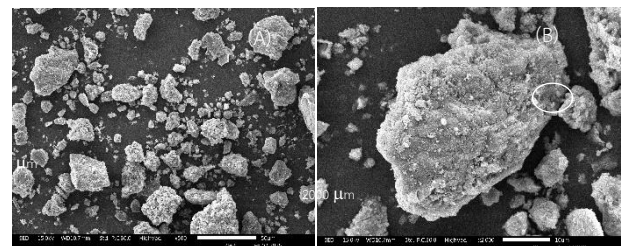
ตัวอย่าง	ปริมาณกากคอนกรีต	ปริมาณโลหะหนัก(ppm)				
		Pb	Cd	Fe	Mn	
คอนกรีตผสมกากคอนกรีต	20%	0.1264	0.0257	6.1737	1.5170	
น้ำบ่มคอนกรีต 7 วัน	-	0.0801	0.0616	0.2866	0.1472	
น้ำบ่มคอนกรีต 28 วัน	-	0.0796	0.0613	0.1654	0.0119	

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในคอนกรีตผสมกากคอนกรีต และน้ำบ่มคอนกรีต พบว่า ธาตุเหล็ก (Fe) มีปริมาณสูงที่สุดในทุกตัวอย่าง

โดยเฉพาะในคอนกรีตผสมกากคอนกรีตซึ่งมีค่า 6.1737 ppm ปริมาณ Fe ในน้ำบ่มคอนกรีตต่ำกว่ามาก (0.1654–0.2866 ppm) ธาตุแมงกานีส (Mn) มีปริมาณรองลงมา โดยพบในช่วง 0.0119–0.1472 ppm นอกจากนี้ ตะกั่ว (Pb) และแคดเมียม (Cd) ซึ่งเป็นโลหะหนักที่เป็นอันตราย มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อนำไปบ่มในน้ำ โดย Pb มีค่า 0.0796–0.0801 ppm และ Cd มีค่า 0.0613–0.0616 ppm จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า กระบวนการบ่มคอนกรีตในน้ำสามารถช่วยลดปริมาณโลหะหนักที่อาจละลายออกมาได้อย่างไรก็ตาม คอนกรีตผสมกากคอนกรีตมีปริมาณโลหะหนักสะสมสูง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยในระยะยาว ดังนั้น ควรมีการศึกษาผลกระทบต่อการชะล้างของโลหะหนักจากคอนกรีตเมื่อใช้งานในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

4.4 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM)

ผลการวิเคราะห์พื้นผิวของกากคอนกรีต (Concrete Waste) ด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) พบว่าลักษณะของพื้นผิวของกากคอนกรีตมีโครงสร้างที่มีความซับซ้อน รวมถึงการมีรูพรุนหรือพื้นผิวที่ขรุขระพื้นผิวที่มีรูพรุน (pores) แร่ธาตุที่แยกออกจากเนื้อคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งอาจมีผลต่อคุณสมบัติของกากคอนกรีตที่นำกลับมาใช้งานใหม่ [11]



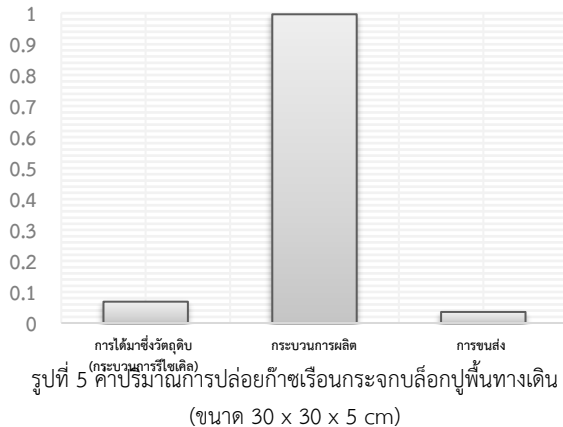
รูปที่ 4 ลักษณะพื้นผิวของกากปูนพื้นทางเดินขนาด 30*30*5 ซม. ผสมกากคอนกรีต 20% ด้วยวิธี SEM (A) ความละเอียด 50 μm (B) ความละเอียด 2000 μm ที่ระยะบ่ม 28 วัน

ซึ่งพบโครงสร้างผลึกรูปทรงเหลี่ยมยาวในรูปตัวอย่างที่ 4(B) ด้วยเทคนิค XRF ยืนยันว่าองค์ประกอบทางเคมีของบล็อกปูพื้นทางเท้าด้วยวิธี SEM พบว่ามีค่า จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ (CaO) 41.81 % เป็น องค์ประกอบหลัก และมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) 37.43% และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) 9.35% เป็น องค์ประกอบรอง อีกทั้งยังมีออกไซด์อื่น ๆ ปริมาณเล็กน้อย ได้แก่ เหล็ก (III) ออกไซด์ (Fe_2O_3), ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3), โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O), แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO), โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) และไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นต้น

4.5 การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ก๊าซเรือนกระจก

ผลการศึกษาการประเมินก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการรีไซเคิลกากคอนกรีต โดยเริ่มศึกษาตั้งแต่การนำของเสียจากคอนกรีตในโรงงานผสมคอนกรีตไปยังโรงงานรีไซเคิล ผ่านกระบวนการแยกกากคอนกรีต ได้ หิน หยาบ และเศษกากคอนกรีต สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบในการผลิตบล็อกปูพื้นทางเท้า รวมถึงได้ศึกษาประเมินก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการจัดการแบบเดิมที่ใช้วิธีการเทกองเป็นวัสดุการถมที่ดิน ซึ่งจะ

รายงานปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลูกบาศก์เมตร ($\text{Kg CO}_2\text{e/m}^3$) [11,12]



บล็อกปูพื้นทางเท้าที่นำได้ หิน หวาย และเศษกากคอนกรีตที่ได้จากกระบวนการรีไซเคิล มาเป็นส่วนประกอบของบล็อกปูพื้นทางเท้า ขนาด 30 x 30 x 5 cm น้ำหนัก 13 kg มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 1.11 $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2$ โดยค่าที่ได้มาจากกิจกรรมการได้มาซึ่งวัสดุ (กระบวนการรีไซเคิล) 0.0688 $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2$, กระบวนการผลิต มีค่า 0.9964 $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2$ และการขนส่ง มีค่า 0.0356 $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2$ ดังแสดงในรูปที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นที่ขายทั่วไป มีค่า 25.4 $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2$ ซึ่งบล็อกปูพื้นทางเท้าจากวัสดุจากกระบวนการรีไซเคิล สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากถึง 95.62 % เป็นต้น

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาการใช้กากคอนกรีตเป็นส่วนผสมของบล็อกปูพื้น พบว่าปริมาณกากคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นมีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญ ความหนาแน่นของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนกากคอนกรีตส่งผลให้ความแข็งแรงโดยรวมของวัสดุลดลง นอกจากนี้ค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุเพิ่มขึ้นเมื่อใช้กากคอนกรีตในอัตราที่สูงขึ้นซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความทนทานของบล็อกปูพื้นในการใช้งานระยะยาว

ด้านคุณสมบัติทางกลพบว่าการเพิ่มสัดส่วนกากคอนกรีตมากกว่า 40% ส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้วัสดุอาจไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ต้องการความแข็งแรงสูงสาเหตุหลักมาจากโครงสร้างของกากคอนกรีตที่มีความพรุนมากขึ้น ส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคและแรงยึดเกาะในเนื้อคอนกรีต นอกจากนี้การลดลงของค่ากำลังดัดและกำลังดึงของวัสดุอาจเป็นข้อจำกัดสำคัญที่ต้องพิจารณาในการเลือกใช้งาน

จากการศึกษาโครงงานวิจัยการศึกษามวลรวมคอนกรีตจากกากคอนกรีตสามารถบอกได้ถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมคุณสมบัติทางด้านกายภาพเชิงกลและทางเคมี ตลอดจนการนำไปใช้งานจริงของคอนกรีตที่ผสมกากคอนกรีตโดยคอนกรีตที่ผสมกากคอนกรีตที่มีคุณสมบัติทางด้านกายภาพ, เชิงกล และทางเคมีที่เหมาะสมที่สุดสามารถนำไปใช้งานได้จริงคือ คอนกรีตผสมกากคอนกรีตที่ปริมาณ 20% เนื่องจากให้ค่ากำลังการรับแรงอัดแรงดึงและแรงดัดที่มาก อยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐานคอนกรีตทั่วไป

มีค่าความหนาแน่นและความชื้นที่เหมาะสม ค่าความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียงกับคอนกรีตทั่วไป และพบค่าปริมาณโลหะหนักในคอนกรีตที่น้อยมาก ซึ่งต่ำกว่าตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ จึงเป็นคอนกรีตที่ไม่เป็นพิษต่อผู้อาศัยโดยรอบและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเราจึงสามารถนำคอนกรีตที่ผสมกากคอนกรีตที่ปริมาณ 20% ไปใช้งานได้จริงในงานบล็อกปูพื้นทางเท้าได้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาพบว่า การนำกากคอนกรีตมาใช้เป็นส่วนผสมของบล็อกปูพื้นทางเดินยังมีข้อจำกัดหลายด้าน โดยเฉพาะในแง่ของกระบวนการผลิตและการนำไปใช้งานจริง ปัญหาสำคัญคือการคัดแยกและควบคุมคุณภาพของกากคอนกรีต เนื่องจากกากคอนกรีตที่ได้จากแหล่งต่างๆ มีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ทั้งในด้านขนาด รูปร่าง และสิ่งเจือปน เช่น เศษเหล็ก เศษไม้ คุณภาพของกากคอนกรีตก่อนนำมาใช้ โดยอาจนำเทคโนโลยีการคัดแยกอัตโนมัติหรือกระบวนการรีไซเคิลที่มีประสิทธิภาพเข้ามาช่วยเพื่อลดสิ่งเจือปนและทำให้วัสดุมีคุณภาพสม่ำเสมอมากขึ้นหรือสิ่งสกปรกอื่นๆ ทำให้การนำมาใช้งานต้องผ่านกระบวนการคัดกรองที่ซับซ้อน หากในอนาคตควรมีการพัฒนากระบวนการคัดแยกและปรับปรุง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ขอขอบคุณบริษัท เอส.เอ.เอ็น.จี.เนียร์ริง แอนด์ แมชชีนเนอรี จำกัด ซึ่งให้ความอนุเคราะห์กากคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่กรุณาเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัยนี้ลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] กิริติ นิตโชติ และ วันชัย ยอดสุดใจ (2560). การพัฒนาคอนกรีตอย่างยั่งยืนด้วยมวลรวมจากการนำกลับมาใช้ใหม่. วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย. Vol.5 No.2 July-December 2017 หน้า 29-35.
- [2] มนเทียร เสรีจกิจ (2565). คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเวียนใช้ใหม่ (Recycled aggregate concrete). วารสารคอนกรีตสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย ปีที่ 16, ฉบับที่ 3, บทความหมายเลข TCA_M 160308, กันยายน-ธันวาคม, หน้า 2-7
- [3] Sadek D., and El-Attar M. M. (2012). Development of High-Performance Green Concrete Using Demolition and Industrial Wastes for Sustainable Construction. *Journal of American Science*. vol. 8, no. 4, pp. 120-131.
- [4] Limbachiya M. C., Leelawat T., and Dhir R.K. (2000). Use of Recycled Concrete Aggregate in High-Strength Concrete. *Materials and Structures*. vol.33, pp. 574-580.
- [5] มลฤดี โตพิสิฐ และ สาลินี อจารีย์ (2561). แนวทางการนำกากคอนกรีตกลับมาใช้ประโยชน์. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 14, ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2561, หน้า 88 – 99.
- [6] มนเทียร เสรีจกิจ (2565). คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเวียนใช้ใหม่ (Recycled aggregate concrete), วารสารคอนกรีต สมาคม

- คอนกรีตแห่งประเทศไทย ปีที่ 16, ฉบับที่ 3, บทความหมายเลข TCA_M 160308, กันยายน-ธันวาคม, หน้า 2-7.
- [7] ปรัชญา ชันโล (2562). การบริหารจัดการของเสียจากคอนกรีตผสมเสร็จ. วิศวกรรมศาสตรมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก(องค์กรมหาชน). 2567.
- [8] ASTM C124-71: Standard Test Method for Flow of Portland Cement Concrete by Use of the Flow Table, (1973). Annual Book of ASTM Standard, Part 10, Philadelphia. pp.75– 77.
- [9] Thepsing N. (2007). Economic Analysis for Optimum Condition of Aggregate Recycle from Unused Ready Mixed Concrete, Master Thesis, Master Degree of Engineering, Major in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Thailand.
- [10] Setthabut C. (2011). Concrete Technology, The Concrete Products and Aggregate Co.,Ltd.,Bangkok, Thailand, (in Thai).
- [11] Margaret, M., (1990). Recycling of Materials in Civil Engineering. Doctoral Thesis, University of Oxford.
- [12] Jos, G.J., et al., (2011). Long-Term Trend in Global CO₂ Emissions report. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague, 2011: European Union
- [13] M. Etxeberria et al., (2007). Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete Cement and Concrete Research, 37(5), 735-742.
- [14] เบญจพร ทีปะปาล และ กุลธิดา บรรจงศิริ (2561). คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของคอนกรีต กรณีศึกษา การก่อสร้างลานจอดรถ 10 ชั้น ห้างสรรพสินค้าแห่งหนึ่ง. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 4. หน้า 380-388.