

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีตเก่าหักและบล็อกคอนกรีตผสมเส้นใยใยขงและเส้นใยสับปะรด

มนิรัตน์ เข็มขาว^{1*}, เกียรติศักดิ์ คงเขียว¹, พิมพ์ อภิชาติบุตร¹, อภิษฎา สุวรรณสะอาด², วิชัย ดำรงโกภักดิ์³

¹วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ จังหวัดนครปฐม 73170 ประเทศไทย

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ จังหวัดนครปฐม 73170 ประเทศไทย

³คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10800 ประเทศไทย

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล: maneerat.khe@mutr.ac.th DOI: 10.14416/JASET.KMUTNB. 2026.01.004

รับเมื่อ 14 กันยายน 2568 แก้ไขเมื่อ 6 เมษายน 2569 ตอบรับเมื่อ 16 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีตทั่วไปเปรียบเทียบกับบล็อกคอนกรีตที่ใช้เก่าหักทดแทนมวลรวมทั้งหมด (BA100) บล็อกคอนกรีตผสมเส้นใยใยขงร้อยละ 10 (HF10) และบล็อกคอนกรีตผสมเส้นใยสับปะรดร้อยละ 10 (PF10) โดยกำหนดขอบเขตการประเมินแบบ Cradle-to-Gate เริ่มตั้งแต่กระบวนการสกัดและแปรรูปวัสดุ การขนส่งวัสดุถึงสถานที่ผลิตบล็อกคอนกรีต และการผลิตบล็อกคอนกรีต พบว่า การผลิตบล็อกคอนกรีต 1 ลบ.ม. ขนาด 70 x 190 x 390 มม. น้ำหนักไม่เกิน 7 กก. ตามมาตรฐาน มอก. 58-2560 บล็อกคอนกรีตกลวงไม่รับน้ำหนัก ที่มีค่ากำลังอัดอยู่ที่ 4.15-5.37 MPa มีความหนาแน่นจัดอยู่ในบล็อกคอนกรีตทั่วไป ที่อายุ 28 วัน มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีตทั่วไป บล็อกคอนกรีต BA100 บล็อกคอนกรีต HF10 และบล็อกคอนกรีต PF10 อยู่ที่ 194.86, 169.97, 202.45 และ 202.56 kgCO₂e ตามลำดับ โดยจุดที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดมาจากวัตถุดิบ (ปูนซีเมนต์) ร้อยละ 62-74 รองลงมาคือกระบวนการผลิตบล็อกคอนกรีตคิดเป็นร้อยละ 26-36 ซึ่งการใช้เก่าหักแทนที่มวลรวมสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 12.77

คำสำคัญ: การประเมินก๊าซเรือนกระจก, บล็อกคอนกรีต, เส้นใยใยขง, เส้นใยสับปะรด, ของเหลือทิ้งทางการเกษตร

การอ้างอิงบทความ: มนิรัตน์ เข็มขาว, เกียรติศักดิ์ คงเขียว, พิมพ์ อภิชาติบุตร, อภิษฎา สุวรรณสะอาด, วิชัย ดำรงโกภักดิ์, “การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีตเก่าหักและบล็อกคอนกรีตผสมเส้นใยใยขงและเส้นใยสับปะรด,” *Journal of Applied Science and Emerging Technology*, ปีที่ 25, ฉบับที่ 1, หน้า 1-11, เลขที่บทความ 263964, เมษายน 2569

Greenhouse Gas Emission Assessment of Bottom Ash Block, Hemp and Pineapple Fibers Concrete Blocks

Maneerat Khemkhao^{1*}, Keattisak Kongkeaw¹, Pimporn Aphichatabut¹, Apisedkorn Suwansaard², and Vichai Domrongpakkaphan³

¹Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, NakhonPathom 73170, Thailand

²Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, NakhonPathom 73170, Thailand

³Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800, Thailand

* Corresponding Author, E-mail: maneerat.khe@rmutr.ac.th DOI: 10.14416/JASET.KMUTNB.2026.01.004

Received 14 September 2025; **Revised** 6 April 2026; **Accepted** 16 April 2026

ABSTRACT

This study aims to assess the greenhouse gas emissions from concrete blocks in comparison to three alternatives: concrete blocks with 100% bottom ashes as a replacement of aggregate (BA100), concrete blocks mixed with 10% hemp (HF10), and concrete blocks mixed with 10% pineapple fibers (PF10) as additional materials by volume of sand. The assessment was evaluated based on the cradle-to-gate, which included the process of extracting and processing materials, transportation of materials to the concrete production plant, and concrete block production. The results found that concrete blocks 1 m³ in size, 70 x 190 x 390 mm, weigh not more than 7 kg, according to the TIST 58-2560 Concrete. The compressive strength of the concrete blocks varies from 4.15 to 5.37 MPa, and their density is classified as that of a general concrete block aged 28 days. The greenhouse gas emissions for the general blocks, BA100, HF10, and PF10, were 194.86, 169.97, 202.45, and 202.56 kgCO₂e, respectively. The key emission hotpot comes from raw materials (cement), accounting for 62-74%, followed by the concrete block manufacturing process at 26-36%. The replacement of bottom ash can contribute to efforts in reducing greenhouse gas emissions by 12.77%.

KEYWORDS: Greenhouse gas emission assessment, Concrete block, Hemp fiber, Pineapple fiber, Agricultural waste

1. บทนำ

ความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและปัญหาสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ทำให้จำเป็นต้องให้ความสำคัญกับแนวทางแก้ปัญหาที่ยั่งยืนอย่างเร่งด่วน (Zhang et al., 2023)

ภาคการก่อสร้างเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental impacts, EI) ทั้งในด้านการใช้พลังงาน การปล่อยมลพิษสู่ชั้นบรรยากาศ และทรัพยากรธรรมชาติที่ถูกดึงมาใช้ ดังนั้น การส่งเสริมความยั่งยืนในการก่อสร้างจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อลดผลกระทบทางนิเวศวิทยาในระหว่างขั้นตอนการก่อสร้าง การบริการ การบำรุงรักษา และช่วงสิ้นสุดอายุการใช้งานของโครงสร้าง (Kurda et al., 2018)

เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันมากที่สุดในโลก 52×10^9 ตันในปี 2562 และความต้องการวัสดุผสม (ส่วนประกอบหลักของคอนกรีต) ต่อปีคาดการณ์จะเพิ่มขึ้น (Freedonia, 2016) คอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) เป็นวัสดุก่อสร้างอาคารที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด มีส่วนทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมของมนุษย์ทั่วโลกที่น่าตกใจถึงร้อยละ 5-8 (Salas et al., 2018)

เช่นเดียวกับ Kurda et al. (2018) ได้รายงานความต้องการปูนซีเมนต์อยู่ที่ 4,400 ล้านตัน และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 6,000 ล้านตัน ปูนซีเมนต์มีสัดส่วนมากที่สุดเมื่อเทียบกับค่า EI ทั้งหมดของคอนกรีต และมีส่วนทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั่วโลกมากกว่าร้อยละ 5 ต่อปี (Kurad et al., 2017)

จากประเด็นดังกล่าวทำให้ภาคการก่อสร้างอาคารได้เปลี่ยนผ่านไปสู่การออกแบบอาคารที่ยั่งยืน โดยตระหนักถึงความสำคัญของวงจรชีวิตโครงการทั้งหมด ตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบไปจนถึงขั้นตอนการกำจัด การนำกลยุทธ์สีเขียวมาใช้ตลอดวงจรชีวิตโครงการก่อสร้างมีบทบาทสำคัญในการบรรลุความยั่งยืนของอาคาร กระบวนการก่อสร้างที่ยั่งยืนควรก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ไม่เพียงแต่ในขั้นตอนการผลิตและการดำเนินงานเท่านั้น แต่ตลอดวงจรชีวิตโครงการทั้งหมดประมาณร้อยละ 80 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการใช้พลังงานในภาคการก่อสร้างสามารถนำมาประกอบกับขั้นตอนการดำเนินงานของอาคารได้ ในการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า มีการนำเทคโนโลยี นโยบาย และ

มาตรการ/เทคโนโลยีใหม่ ๆ มาใช้เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการดำเนินงาน (Sentman et al., 2008; Reber, 2009; Furr, 2009) อีกทั้งการควบคุมและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในช่วงเริ่มต้นของการผลิตและการก่อสร้างก็มีความสำคัญไม่แพ้กัน (Zhang et al., 2023) ดังนั้นการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้จึงได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น (Souza et al., 2021)

ทางเลือกหนึ่งในการลดค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (EI) ของคอนกรีต คือ การแทนที่ปูนซีเมนต์และมวลรวมธรรมชาติด้วยวัสดุประสานเสริม เช่น เถ้าลอย (Fly ash, FA) (NRMCA, 2014; Tait and Cheung, 2016) มวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (recycled concrete aggregates, RCA) (Marinković et al., 2010; Tošić et al., 2015) โดยทำการศึกษาผลกระทบของปริมาณ RCA สูง และ FA ต่อค่า EI ของคอนกรีต และการใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมสำหรับคอนกรีตที่มีช่วงการทรุดตัวคงที่ ซึ่งการแทนที่ทรายร้อยละ 50, 70 และ 100 โดยเถ้าหนัก ทำให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ขณะที่คอนกรีตที่มีอัตราส่วน W/C คงที่ การแทนที่ทรายร้อยละ 0, 30 และ 50 โดยเถ้าหนัก ทำให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (Pushkar, 2019)

บล็อกคอนกรีตเป็นวัสดุที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง มีคุณสมบัติเฉพาะตัว เช่น การขึ้นรูปเป็นรูปทรง ความหนา ความหนาแน่น และความแข็งแรงที่แตกต่างกัน สำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การผลิตบล็อกคอนกรีตใช้ทรัพยากรธรรมชาติจำนวนมาก เช่น มวลรวม (ทราย และหินผุ) และซีเมนต์ (Souza et al., 2021) ซึ่งการใช้ปูนซีเมนต์ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีการใช้พลังงานมากเกินไปในระหว่างการผลิตปูนซีเมนต์ และมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ เป็นจำนวนมาก การใช้ทรายแม่น้ำมากเกินไปส่งผลเสียหลายประการต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม รวมถึงกันแม่น้ำที่ล้นขึ้น ปริมาณน้ำที่ลดลง และการสูญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตในน้ำจืด ดังนั้นการค้นหาลู่ทางทดแทนปูนซีเมนต์ และทรายแม่น้ำจึงได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา (Sathiparan et al., 2022)

บล็อกคอนกรีตที่ผสมเศษวัสดุทางการเกษตร เช่น เวอร์มิคูไลต์ กากอ้อย เปลือกมะพร้าว และเปลือกถั่วต่าง ๆ (ถั่วลิสง พิสตาชิโอ วอลนัท และเฮเซลนัท) บางส่วนเป็นมวล

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของบล็อกคอนกรีต (ขนาด 70 x 190 x 390 มม.) และค่า emission factor (EF)

อัตราส่วนผสมบล็อกคอนกรีต	ทั่วไป	เสาหนักร้อยละ 100 (BA100)	เส้นใยแก้วร้อยละ 10 (HF10)	เส้นใยสับปะรดร้อยละ 10 (PF10)	EF (kgCO ₂ e/หน่วย)
ปูนซีเมนต์ (กก./ก้อน)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.912*
ทราย (กก./ก้อน)	1.4	0	1.4	1.4	0.0037
หินฝุ่น (กก./ก้อน)	4.2	0	4.2	4.2	0.0003021**
เถ้าหนัก (กก./ก้อน)	0	6.0	0	0	
เส้นใยแก้ว (กก./ก้อน)	0	0	0	0.56	
เส้นใยสับปะรด (กก./ก้อน)	0	0	0.56	0	
น้ำประปา (ล./ก้อน)	0.63	0.42	0.69	0.69	0.5410
ไฟฟ้า (kWh/ก้อน)	4.92x10 ⁻³	4.92x10 ⁻³	4.92x10 ⁻³	4.92x10 ⁻³	0.5986
รถบรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก รุ่งแบบปกติ 50% Loading (ขาไป) เชื้อเพลิงดีเซล น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 1.5 ตัน					0.3805
รถบรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก รุ่งแบบปกติ 0% Loading (ขากลับ) เชื้อเพลิงดีเซล น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 1.5 ตัน					0.2415

หมายเหตุ ค่า EF อ้างอิงจากองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (มหาชน) สำหรับ CFP กรกฎาคม 2565 ยกเว้น* อ้างอิงจากเว็บ Climaticq <https://www.climaticq.io/data/emission-factor/a7a8ae36-66d5-41ff-a4d6-03a1e993b97a>; ** อ้างอิงจากเว็บ Climaticq <https://www.climaticq.io/data/emission-factor/b44aed0-a8f1-4e2d-a870-8f2ac9edec5a> (เข้าถึงข้อมูลเมื่อวันที่ 13/9/68)

ตารางที่ 2 ระยะทางการขนส่งสำหรับการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีต (ไป-กลับ)

ประเภทวัตถุดิบ	ระยะทางสำหรับการขนส่ง (กม.)			
	บล็อกคอนกรีตทั่วไป	บล็อกคอนกรีต BA100	บล็อกคอนกรีต HF10	บล็อกคอนกรีต PF10
ปูนซีเมนต์	6.4	16.2	22	44.2
ทราย	6.4	0	22	44.2
หินฝุ่น	14.7	0	12.1	6.4
เถ้าหนัก	0	14.2	0	0
เส้นใยแก้ว	0	0	82.2	0
เส้นใยสับปะรด	0	0	0	73.4
น้ำประปา	0	0	0	0

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนัก

องค์ประกอบทางเคมี	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Ali, Ouni & Kurda, 2022)	เถ้าหนักที่ใช้ในงานวิจัยนี้	เถ้าหนักจากถ่านหิน (Bai et al., 2005)
SiO ₂	19.6	45.13	61.80
CaO	61.8	18.64	3.19
Al ₂ O ₃	5.4	12.73	17.80
Fe ₂ O ₃	2.7	4.24	6.97
MgO	1.2	2.30	1.34
SO ₃	3.1	0.99	0.79
Na ₂ O	0.07	0.77	0.95
K ₂ O	0.38	0.22	2.00
Alkalinity (Na ₂ O+0.658K ₂ O)	0.32	0.91	n/a
TiO ₂	0.25	n/a	0.88
P ₂ O ₅	n/a	n/a	0.20
ความชื้น	0.19	3.14	n/a
ปริมาณที่ค้ำบนแคร่	3.60 (45 ไมโครเมตร)	95.96 (45 ไมโครเมตร)	60 (42.5 ไมโครเมตร)
ความถ่วงจำเพาะ	3.11	2.48	1.58
การสูญเสียจากการจุดระเบิด (LOI)	1.6	10.10	3.61

หมายเหตุ n/a หมายถึง ไม่มีข้อมูล

รวมละเอียดมีความแข็งแรงเพียงพอตรงตามมาตรฐาน ASTM และช่วยปรับปรุงฉนวนกันความร้อนได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวัสดุเหล่านี้มักมีความพรุนและการดูดซับน้ำสูงกว่าทรายธรรมชาติ จึงจำเป็นต้องปรับส่วนผสมอย่างระมัดระวัง (Shaikh et al., 2025) โดย Akhtar &

Malkawi (2025) ได้พัฒนาบล็อกคอนกรีตโดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาร้อยละ 30 ด้วยส่วนผสมของวัสดุเสริมซีเมนต์ (เถ้าลอยร้อยละ 15 ซิลิกาฟูมร้อยละ 10 และฝุ่นมวลรวมละเอียดรีไซเคิลร้อยละ 5) มีค่าความแข็งแรงรับแรงอัดสูงสุด 7.6 MPa ซึ่งมากกว่าบล็อกคอนกรีตทั่วไป

ร้อยละ 2.7 และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 6.48×10^7 ตัน ส่วน Souza et al. (2021) ใช้ของเสียทางการเกษตร (เปลือกกาแฟ กับกากอ้อย) เป็นวัสดุเสริมแรงช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล และทางความร้อนของบล็อกคอนกรีต ซึ่งกากอ้อยร้อยละ 5 แทนที่หินบดให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด ค่าความแข็งแรงรับแรงอัดสูงสุดและมีคุณสมบัติทางความร้อนตรงตามเกณฑ์มาตรฐานทางการค้าทั้งหมด

อีกทั้งงานวิจัยที่ผ่านมาของคณะวิจัย พบว่าการใช้ฉนวนกันความร้อนที่มวลรวมทำให้มีความหนาแน่นต่ำ ส่งผลให้น้ำหนักเบา มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำสุด แม้ว่าค่าความต้านทานแรงอัดลดลงแต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2560 (พิมพ์ อภิชาติบุตร และ มณีรัตน์ เข้มขาว, 2564) และการใช้เศษเส้นใยกล้วยและเส้นใยสับปะรดที่มีขนาด 12 มม. เป็นวัสดุเสริมร้อยละ 10 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับเสียง (Kongkeaw et al., 2026) อย่างไรก็ตามยังไม่ได้มีการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตบล็อกคอนกรีตดังกล่าว

ดังนั้น งานวิจัยนี้ทำการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการผลิตบล็อกคอนกรีตทั่วไปเปรียบเทียบกับบล็อกคอนกรีตที่ผสมฉนวนกัน และบล็อกคอนกรีตที่ผสมเศษเส้นใยกล้วยและเส้นใยสับปะรด ใช้ระเบียบวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน, อบก) และ ISO 14067 (2018)

2. วัสดุและวิธีการ

2.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วยซีเมนต์ไฮดรอลิกทรายแม่น้ำละเียด หินปูน เส้นใยกล้วย เส้นใยสับปะรด ฉนวนกันความร้อนน้ำประปา ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ใช้มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM C1157 (2008) มีความถ่วงจำเพาะ 2.95 ใช้เป็นสารยึดเกาะ ในขณะที่ทราย แม่น้ำละเียดและหินปูนใช้เป็นมวลรวม มีความถ่วงจำเพาะ 2.45 และ 2.77 ตามลำดับ

เศษใยกล้วยได้รับการสนับสนุนจากผลิตภัณฑ์กล้วยของแม่บ้านวิสาหกิจชุมชนบ้านห้วยทราย (เชียงใหม่ ประเทศไทย) ในขณะที่เศษใยสับปะรดได้มาจากวิสาหกิจชุมชนกระดาศใยสับปะรดบ้านละมอพัฒนา (ประจวบคีรีขันธ์

ประเทศไทย) ตัดเส้นใยให้มีขนาด 12 มม. (Suwansaard, Kongpun, & Khemkhao, 2022)

เจ้าหน้าที่ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงเผาขยะมูลฝอยชุมชนและผลิตไฟฟ้า จังหวัดภูเก็ต ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

2.2 อัตราส่วนและการเตรียมบล็อกคอนกรีต

บล็อกคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษานี้มี 4 แบบ ได้แก่ (1) บล็อกคอนกรีตทั่วไป ใช้อัตราส่วนของปูนซีเมนต์: ทราย: หินปูน ที่ใช้คือ 1: 2: 6 โดยน้ำหนัก ใช้น้ำประปาร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของมวลรวม (2) บล็อกคอนกรีตฉนวนกัน (BA100) จะใช้ฉนวนกันความร้อนที่มวลรวมทั้งหมด เนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำสุด (พิมพ์ อภิชาติบุตร และ มณีรัตน์ เข้มขาว, 2564) (3) บล็อกคอนกรีตเส้นใยกล้วยร้อยละ 10 (HF10) และ (4) บล็อกคอนกรีตเส้นใยสับปะรดร้อยละ 10 (PF10) จะใช้เศษเส้นใยที่มีขนาด 12 มม. ในสัดส่วนร้อยละ 10 โดยปริมาตรของทราย เนื่องจากให้ค่ากำลังรับแรงอัดและแรงดึงในมอร์ต้าดีกว่ามอร์ต้าควบคุม (Kongkeaw et al., 2026) โดยส่วนผสมแสดงในตารางที่ 1

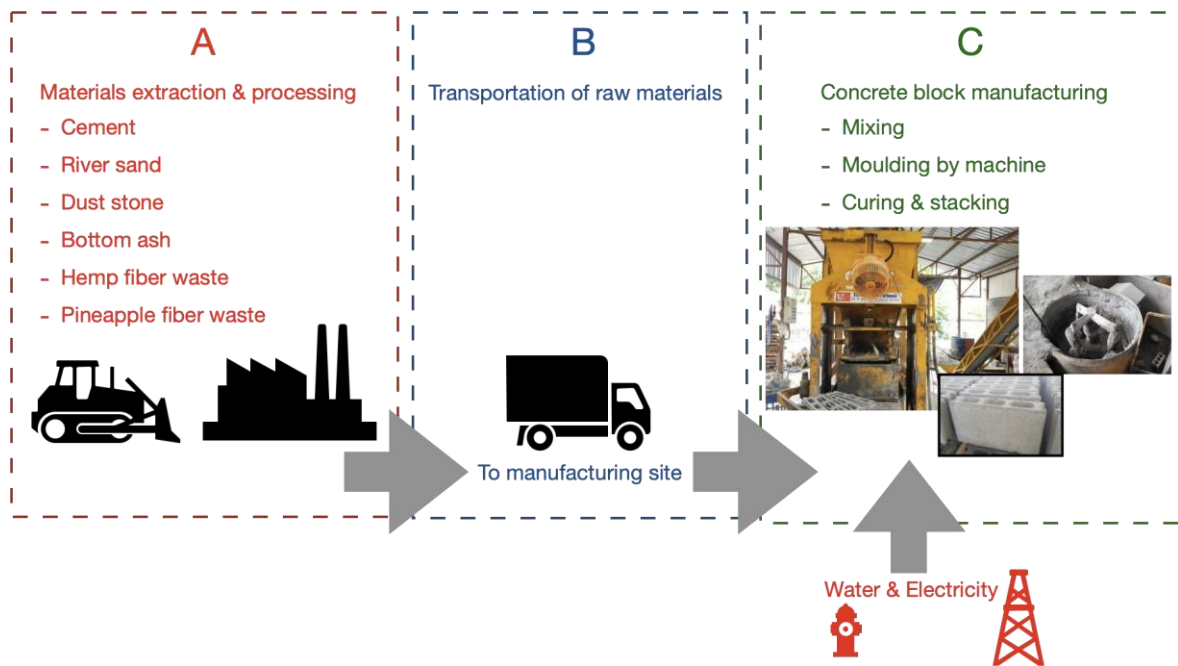
โดยขนาดของบล็อกคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษา (ความหนา x ความสูง x ความยาว) คือ 70 x 190 x 390 มม. ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 58-2560 แบบไม่รับน้ำหนัก หลังจากบล็อกคอนกรีตออกจากแบบหล่อแล้วจะบ่มเป็นเวลา 28 วัน ก่อนทำการทดสอบหาความหนาแน่นการดูดซึมน้ำ และกำลังอัดต่อไป (มอก. 58-2560; ASTM C129

2.3 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์บล็อกคอนกรีต

2.3.1 เป้าหมาย (Goal) และขอบเขต (Scope)

ส่วนผสมในการผลิตบล็อกคอนกรีตทั้งหมดจะประเมินผลกระทบครอบคลุมกระบวนการตั้งแต่ การได้มาของวัสดุจนถึงกระบวนการผลิตที่โรงงาน (Cradle-to-Gate) ซึ่งจะไม่พิจารณาผลกระทบในช่วงการใช้งานและการกำจัดทำลายซากเมื่อหมดอายุการใช้งาน ซึ่งทำการประเมินตามมาตรฐาน ISO14067 (2018)

มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂e) ของการ



รูปที่ 1 ขอบเขตระบบของการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีต

ผลิตบล็อกคอนกรีตทั่วไปเทียบกับบล็อกคอนกรีต B100, HF10 และ PF10 ซึ่งบ่งชี้ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เฉพาะประเด็นด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนเท่านั้น

2.3.2 หน่วยการทำงาน (Functional Unit) ของงานวิจัยนี้ คือ การผลิตบล็อกคอนกรีตจากส่วนผสม 1 ลบ.ม. (Ali et al., 2023) โดยจะได้บล็อกคอนกรีตจำนวน 92-94 ก้อน/ลบ.ม. (ตารางที่ 1) จำหน่าย 28,000-30,000 ก้อน/เดือน (Kulsoon et al., 2025)

2.3.3 ขอบเขตระบบ (System boundary)

ขอบเขตการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่การสกัดและแปรรูปวัสดุไปจนถึงการผลิตบล็อกคอนกรีต (Cradle-to-Gate, A-C) ตามมาตรฐาน ISO14067 (2018) โดย A หมายถึง การสกัดและแปรรูปวัสดุหลัก เช่น ปูนซีเมนต์ ทราย หินปูน แก้วหนัก และเศษเส้นใย B หมายถึง การขนส่งวัตถุดิบไปยังโรงงานผลิตบล็อกคอนกรีต และ C หมายถึง กระบวนการผลิตบล็อกคอนกรีต ตั้งแต่การผสมและการหล่อที่โรงงาน สิ้นสุดที่ปลายทางของโรงงานผลิตบล็อกคอนกรีต โดยผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายจะเป็นบล็อกคอนกรีตที่พร้อมใช้งาน (รูปที่ 1)

2.3.4 การผลิตบล็อกคอนกรีต

ใช้อัตราส่วนตามข้อ 2.2 ใช้น้ำประปาในการผสมต่อท่อไปที่เครื่องผสม ในขณะที่เครื่องผสม (รูป 2ก) สำหรับผสมวัตถุดิบใช้น้ำมันดีเซล หลังจากผสมวัตถุดิบแล้ว ลำเลียง

ส่วนผสมด้วยสายพาน (รูป 2ข) ไปยังเครื่องอัดบล็อกคอนกรีต (รูป 2ค) คอนกรีตสดจะถูกขึ้นรูปเป็นบล็อกโดยใช้เครื่องอัดบล็อกคอนกรีตสามารถผลิตได้ 5,000 ก้อน/วัน ใช้น้ำไฟฟ้า หลังจากนำออกจากเครื่องผลิตบล็อกแล้ว (รูป 2ง) บล็อกจะถูกบ่มขึ้นเป็นเวลา 3 วัน แล้วผึ่งลมในที่ร่มจนครบ 28 วัน บล็อกจะถูกจัดเรียงซ้อนกัน และเตรียมจัดส่งโดยไม่ต้องบรรจุหีบห่อ (รูป 2จ)

2.3.5 การจัดทำบัญชีรายการ (Life cycle inventory, LCI) ในการศึกษาที่รวบรวมข้อมูลดังนี้

(1) ข้อมูลปฐมภูมิ อาทิเช่น ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากเครื่องอัดไฮดรอลิก สายพานลำเลียง หัวเครื่องระบบไฮดรอลิก บัมไฮดรอลิก และมอเตอร์เกียร์ทรอบ ปริมาณการใช้น้ำประปา ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ เช่น ปูนซีเมนต์ทรายแม่น้ำ หินปูน แก้วหนักและเศษเส้นใย (ตารางที่ 1) เพื่อให้ข้อมูลระยะทางการขนส่งเป็นธรรมสำหรับบล็อกคอนกรีตแต่ละประเภท อ้างอิงระยะทางจาก google map โดยสถานที่ตั้งของการผลิตบล็อกคอนกรีตทั่วไป อยู่ที่ตำบลศาลายา จังหวัดนครปฐม บล็อกคอนกรีต HF10 อยู่ที่ตำบลสันผักหวาน จังหวัดเชียงใหม่ บล็อกคอนกรีต PF10 อยู่ที่อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ส่วนโรงงานผลิตบล็อกคอนกรีต BA100 อยู่ที่อำเภอเมืองภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต ซึ่งปูนซีเมนต์ ทรายแม่น้ำและหินปูนรับมาจากแหล่งจำหน่ายท้องถิ่น ดังนั้นระยะทางในการขนส่งวัตถุดิบถูกพิจารณาโดยใช้ตำแหน่งนี้อ้างอิง (ตารางที่ 2)



(ก)



(ข)



(ค)

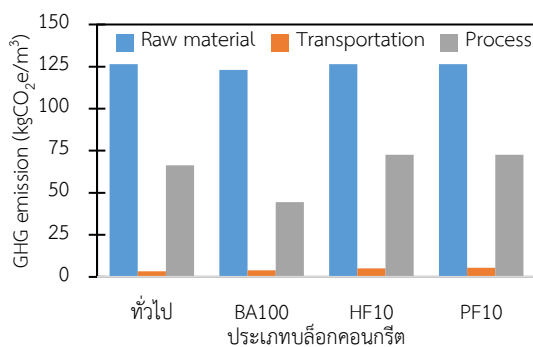


(ง)



(จ)

รูปที่ 2 การผลิตบล็อกคอนกรีต



รูปที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีต

(2) ข้อมูลทุติยภูมิ หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission factor, EF) ของกระบวนการสกัด/แปรรูปวัสดุแต่ละชนิด จากการขนส่งของรถแต่ละประเภท จากการใช้ไฟฟ้า น้ำประปา ฯลฯ (ตารางที่ 1) ในการศึกษา ค่า EF ของเถ้าหนัก เศษเส้นใยแก้วและเส้นใยสับปะรดจัดเป็นของเสียจึงถือว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นศูนย์

2.3.6 การคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

$$\text{GHG emission (CO}_2\text{e)} = \text{Activity Data} \times \text{EF} \times \text{GWP} \quad (1)$$

โดย GHG emission คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO₂e); Activity Data คือ ข้อมูลกิจกรรม; EF คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO₂e/หน่วย); GWP คือ ศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP100 = 1)

3. ผลลัพธ์

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนักจากโรงไฟฟ้าขยะชุมชน

องค์ประกอบทางเคมีเถ้าหนักจากโรงไฟฟ้าขยะชุมชน จังหวัดภูเก็ตแสดงในตารางที่ 3 พบว่า องค์ประกอบทางเคมีหลัก คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) รองลงมาเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) มีแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) และออกไซด์ของอัลคาไลต์ (Na₂O, K₂O) เป็นองค์ประกอบที่เหลือ มีค่าความชื้นไม่สูงมากอยู่ที่ร้อยละ 3.14 และมีค่าการสูญเสียจากการจุดระเบิด (loss on ignition, LOI) เท่ากับ 10.10 โดยมีค่า LOI สูงกว่าเถ้าหนักจากถ่านหิน 2.8 เท่า และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 6.3 เท่า ในขณะที่เถ้าหนักจากถ่านหิน มี SiO₂ เป็นองค์ประกอบหลักและมีค่ามากกว่าเถ้าหนักจากขยะมูลฝอยชุมชน อีกทั้งมี Al₂O₃ เป็นองค์ประกอบรองลงมา ตามด้วยเหล็ก(III)ออกไซด์ หรือเพอร์ริกออกไซด์ (Fe₂O₃) เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งมี CaO เป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาเป็น SiO₂ และ Al₂O₃ ตามลำดับ

3.2 สมบัติบล็อกคอนกรีต

ลักษณะทั่วไปของบล็อกคอนกรีตลวงไม่รับน้ำหนัก ตามมาตรฐาน มอก. 58-2560 ต้องปราศจากรอยแตกร้าว บล็อกคอนกรีตทั่วไปมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อก้อนอยู่ที่ 6.48 กก. มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับบล็อกคอนกรีต HF10 และ PF10 แต่มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อก้อนสูงกว่าบล็อกคอนกรีต BA100 อยู่ที่ 1.1 เท่า (ตารางที่ 4) บล็อกคอนกรีตทั่วไปมีความหนาแน่น 2,371.33 ก./ลบ.ซม. ซึ่งน้อยกว่าบล็อกคอนกรีต HF10 และ PF10 ไม่มาก แต่มีค่ามากกว่าบล็อกคอนกรีต BA100 1.3 เท่า การดูดซึมน้ำของบล็อกคอนกรีต BA100 และ PF10 มีค่าสูงสุตร้อยละ 7.79 รองลงมาเป็นบล็อกคอนกรีต HF10 ส่วนบล็อกคอนกรีตทั่วไปมีค่าต่ำสุด ส่วนค่าความต้านทานแรงอัด พบว่า เมื่อมวลรวมถูกแทนที่ด้วยเถ้าหนัก และมีเศษเส้นใยเพิ่มเข้ามามีความต้านทานแรงอัดของบล็อกคอนกรีตลดลง แต่ยังคงมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานของ ASTM C129 (2017) ที่กำหนดไว้ที่ 4.14 MPa และมาตรฐาน มอก. 58-2560 กำหนดไว้ที่ 2.45 MPa

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของบล็อกคอนกรีต

คุณสมบัติ	ทั่วไป	BA100	HF10	PF10
ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	2,371.33 ± 0.26	1,776.08 ± 24.54	2,391.10 ± 0.28	2,390.72 ± 0.22
ความดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	6.47 ± 0.05	7.79 ± 1.17	6.72 ± 0.02	7.79 ± 0.01
ความต้านแรงอัด (MPa)	5.37 ± 0.11	4.31 ± 0.80	4.15 ± 0.19	4.27 ± 0.19
น้ำหนัก (กก./ก้อน)	6.48 ± 0.04	5.85 ± 0.11	6.37 ± 0.03	6.44 ± 0.03

ตารางที่ 5 สัดส่วนความเข้มข้นของคาร์บอนจากการผลิตบล็อกคอนกรีต

บล็อกคอนกรีต	ทั่วไป	BA100	HF10	PF10
วัสดุ				
kgCO ₂ e/ก้อน	0.66	0.64	0.66	0.66
kgCO ₂ e/กก.	0.09	0.09	0.10	0.10
การขนส่ง				
kgCO ₂ e/ก้อน	0.02	0.02	0.03	0.03
kgCO ₂ e/กก.	2.55x10 ⁻³	2.88x10 ⁻³	3.88x10 ⁻³	4.17x10 ⁻³
การผลิต				
kgCO ₂ e/ก้อน	0.34	0.23	0.38	0.38
kgCO ₂ e/กก.	0.05	0.03	0.05	0.05

ตารางที่ 6 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตบล็อกคอนกรีต

บล็อกคอนกรีต	ขนาด (ก x ย x ส) มม.	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก			หมายเหตุ
		(kgCO ₂ e/ลบ.ม.)	(kgCO ₂ e/ก้อน)	(kgCO ₂ e/กก.)	
บล็อกคอนกรีตทั่วไป	70 x 190 x 390	196.21	1.02	0.15	การศึกษานี้
บล็อกคอนกรีต BA100		171.40	0.89	0.12	
บล็อกคอนกรีต HF10		204.18	1.06	0.15	
บล็อกคอนกรีต PF10		204.56	1.06	0.15	
Concrete block	190 x 190 x 390		1.76		Dahmen et al. (2018)
Architectural concrete block			2.17		
Stabilized soil block			0.95		
Alkali-activated block			1.03		
Control	100 x 60 x 200	357.84			Ali et al. (2023)
GGBS5		344.59			
GGBS10		331.34			
GGBS15		318.09			
GGBS20		304.84			
GGBS25		291.59			
GGBS30		278.34			
บล็อกคอนกรีตทั่วไป	6"x7"x12"	186.42			Kulsoom et al. (2025)
บล็อกคอนกรีตทั่วไป	6"x8"x12"	186.76			
บล็อกคอนกรีตทั่วไป	4"x8"x12"	165.19			

หมายเหตุ GGBS คือ ตะกรันเตาหลอมเหล็กบดละเอียดใช้แทนที่ปูนซีเมนต์

3.3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีต

รูปที่ 3 แสดงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีต มีค่าอยู่ในช่วง 171.40-204.56 kgCO₂e/m³ ซึ่งมาจากวัตถุดิบร้อยละ 62-72 รองลงมาคือกระบวนการผลิตถึงร้อยละ 26-36 ในขณะที่การขนส่งวัสดุคิดเป็นร้อยละ 1.7-2.7 เท่านั้น โดยการบล็อกคอนกรีตที่มีการเพิ่มเส้นใยสับปะรด และเส้นใยกล้วยร้อยละ 10 มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด ขณะที่บล็อกคอนกรีตที่มีการผสมเถ้า

หนักแทนที่มวลรวมร้อยละ 100 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำสุด โดยบล็อกคอนกรีตทั่วไป BA100, HF10 และ PF10 จำนวน 1 ก้อน ขนาด 70 x 190 x 390 มม. จะปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.02, 0.89, 1.06 และ 1.06 kgCO₂e ตามลำดับ หรือคิดเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อ 1 กิโลกรัมได้เท่ากับ 0.15, 0.12, 0.15 และ 0.15 kgCO₂e ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

4. การอภิปราย

เมื่อปริมาณ SiO_2 กับ Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ในเถ้าหนักรวมมีร้อยละ 62.10 จึงทำให้มีคุณสมบัติความเป็นวัสดุปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C618 (2003) ที่กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 เมื่อรวมเข้ากับ CaO แล้วทำให้มีปริมาณถึงร้อยละ 80.74 โดย SiO_2 มีผลต่อคุณสมบัติเพิ่มความแข็งแรง ส่วน CaO หรือปูนขาวช่วยเพิ่มความแข็งแรง ความทนทาน ความยืดหยุ่น และความสามารถในการทำงาน (Workability) ขณะที่ Al_2O_3 มีคุณสมบัติทนไฟสูง ทนต่อสารเคมี ความหนาแน่นสูง มีความต้านทานต่อการขัดสีและสึกกร่อนสูง

เมื่อปูนซีเมนต์ที่มี CaO และ SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลัก ผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ หรือ C-S-H) เป็นสารเชื่อมประสานที่ให้ความแข็งแรงและยึดเกาะวัสดุต่างๆ เข้าด้วยกัน และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้อีก ดังนั้น SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ในเถ้าหนักจะเข้าไปทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับ Ca(OH)_2 ที่เป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน กลายเป็น C-S-H หรือ แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต ($3\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ หรือ C-A-H) (Dermatas and Meng, 2003; Nalbantoglu, 2004; Guney et al., 2007; Yong & Ouhadi, 2007; Chen & Lin, 2009) ทำให้กำลังรับแรงคอนกรีตหรือปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น ช่วยลดช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ลง (Lin and Lin, 2006) และเพิ่มความทนทานของคอนกรีตต่อสภาพการกัดกร่อน อย่างไรก็ตาม ในการทดลองนี้ใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมเนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคคล้ายกับทรายและหินปูน (Kou & Poon, 2009; Bai, Darcy & Basheer, 2005)

ความหนาแน่นของบล็อกคอนกรีตแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักของบล็อกคอนกรีต ซึ่งบล็อกคอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูงจะมีน้ำหนักต่อก่อน ซึ่งบล็อกคอนกรีต BA100 จัดอยู่ในประเภทน้ำหนักปานกลาง (1,680-2,000 กก./ลบ.ม.) ขณะที่บล็อกคอนกรีต HF10 และ PF10 จัดอยู่ในประเภทน้ำหนักทั่วไป (มากกว่า 2,000 กก./ลบ.ม.) (มอก. 58-2560)

ค่าการดูดซึมของบล็อกคอนกรีตเมื่อแทนที่มวลด้วยเถ้าหนัก และบล็อกคอนกรีตที่มีการใส่เส้นใยแก้วและเส้นใยสับประสมมีค่าสูงกว่าบล็อกคอนกรีตทั่วไป เนื่องจากเถ้า

หนักมีรูพรุนและเส้นใยทำให้ดูดน้ำมาก ซึ่งสอดคล้องกับค่าความต้านทานแรงอัด เมื่อเถ้าหนักและเส้นใยดูดน้ำมากขึ้น ทำให้เหลือน้ำน้อยลงเพื่อสร้างเจลแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ในปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Islam et al., 2024) จึงส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงอัด ทำให้มีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม บล็อกคอนกรีต BA HF10 และ PF10 ยังอยู่ในมาตรฐานของมอก. 58-2560 และ ASTM C129 (2017) ดังนั้นหากนำไปใช้งานจริงสามารถใช้สำหรับก่อผนังเบาไม่รับน้ำหนักหรือก่อกำแพงไม่รับน้ำหนัก

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากบล็อกคอนกรีตขนาด $70 \times 190 \times 390$ มม. น้ำหนักไม่เกิน 7 กก. มาจากการสกัดและแปรรูปวัสดุ โดยเฉพาะปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานในการผลิตบล็อกคอนกรีต เนื่องจากการผลิตปูนซีเมนต์มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด (ร้อยละ 60-72 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด) เนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวนมากเกิดขึ้นในระหว่างการเผาไหม้ถ่านหินและกระบวนการเผาไหม้สำหรับหินปูน (Hossain, Poon, & Cheng, 2017; Celik et al. 2015) อีกทั้งการใช้ไฟฟ้าของเครื่องจักรในการผลิตบล็อกคอนกรีตส่งผลให้มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง เนื่องจากประมาณร้อยละ 80 ของการผลิตไฟฟ้าในไทยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

เมื่อบล็อกคอนกรีตใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมทั้งหมด ทำให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงร้อยละ 12.77 ส่วนบล็อกคอนกรีตที่ผสมเส้นใยแก้วและเส้นใยสับประสมร้อยละ 10 ส่งผลให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.98-3.95 ซึ่งมาจากการใช้น้ำประปาในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเส้นใยมีการดูดน้ำและการขนส่งเศษเส้นใย ซึ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากบล็อกคอนกรีตในงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่างานวิจัยของ Kulsoom et al. (2025) ที่ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตบล็อกคอนกรีตที่มีขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาด ได้แก่ $6'' \times 7'' \times 12''$, $6'' \times 8'' \times 12''$ และ $4'' \times 8'' \times 12''$ มีค่าอยู่ในช่วง 185.19-186.76 และ kgCO_2e เนื่องจากใช้ปั๊มและเครื่องผสมใช้เชื้อเพลิงดีเซล (ตารางที่ 6)

ในงานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้เถ้าลอย (Chowdhury et al., 2025) และ เถ้าฟางข้าว (Sathiparan & Subramaniam, 2025) ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสานแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน หรือใช้มวลรวมรีไซเคิล ซึ่ง

นอกจากช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตบล็อกคอนกรีตได้ ยังทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตลงได้

ซึ่งผลจากการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการศึกษานี้แบบ Cradle-to-Gate ยังไม่สามารถใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ด้านอายุการใช้งาน หรือรูปแบบการจัดการปลายทางแตกต่างกันได้อย่างครบถ้วน เนื่องจากไม่ครอบคลุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการใช้งาน และช่วงสิ้นสุดอายุการใช้งาน (end-of-life) เช่น การซ่อมบำรุง อายุการใช้งานจริง การรีไซเคิล การรีไซเคิล หรือการกำจัดของเสีย โดยเฉพาะกรณีวัสดุที่อาจมีพฤติกรรมแตกต่างกันในระยะยาว เช่น วัสดุผสมเส้นใยชีวภาพซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการกักเก็บคาร์บอนทางชีวภาพ การเสื่อมสภาพ หรือศักยภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่

5. บทสรุป

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์บล็อกคอนกรีตที่เริ่มจากการกระบวนการสกัดและแปรรูปวัสดุ การขนส่งวัสดุ และกระบวนการผลิตบล็อกคอนกรีต 1 ลบ.ม. ขนาด 70 x 190 x 390 มม. น้ำหนักไม่เกิน 7 กก. ตามมาตรฐาน มอก. 58-2560 บล็อกคอนกรีตลงไม่รับน้ำหนักที่มีค่ากำลังอัดอยู่ที่ 4.15-5.37 MPa มีความหนาแน่นจัดอยู่ในบล็อกคอนกรีตทั่วไป ที่อายุ 28 วัน มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีตทั่วไป BA100, HF10 และ PF10 อยู่ที่ 194.86, 169.97, 202.45 และ 202.56 kgCO₂e ตามลำดับ การใช้เกณฑ์แทนที่มวลรวมสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 12.77

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิสาหกิจชุมชนบ้านห้วยทราย จังหวัดเชียงใหม่ วิสาหกิจชุมชนกระต่ายไยสับประตบ้านละโมพัฒนา จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และโรงเผาขยะมูลฝอยชุมชนและผลิตไฟฟ้า จังหวัดภูเก็ต สำหรับตัวอย่างเศษเส้นใยกัญชง เศษเส้นใยสับประต และเกณฑ์ ตามลำดับ งานวิจัยนี้บางส่วนได้รับงบประมาณอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุนส่งเสริมววน.) และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ คำรับรองเลขที่ FF68037/2568

เอกสารอ้างอิง

- Akhtar, M. N., & Malkawi, D. A. H. (2025). Sustainable Concrete Hollow Blocks Using Composite Waste Replacing Fired Clay Bricks-An Experimental Study. *Sustainability*, 17(24), 10963.
- Apichatabut, P. & Khem-khao, M. (2021). Feasibility Study on Using Bottom Ash for Heat-Insulating Concrete Blocks (Case Study: Phuket Community Waste Incinerator)., In *The 39th Conference of Industrial Engineering Network 2021* (p. 993-999). Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya. (In Thai)
- Aranyasen, S., Srinavin, K., Aksorn, P., & Kusonkhum, W., (2021). Comparison of Carbon Dioxide Emissions (CO₂-e) Produced Between Ordinary Concrete Production and Geopolymer Concrete for Environmentally Friendly Construction Industry by Using Life Cycle Assessment Methods. *KKU Research Journal (Graduate Studies)*, 21(4), 71-82.
- ASTM. (2003). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete* (ASTM C168) USA: ASTM International.
- ASTM. (2008). *Standard Performance Specification for Hydraulic Cement* (ASTM C1157-08a) USA: ASTM International.
- ASTM. (2017). *Standard Specification for Nonloadbearing Concrete Masonry Units* (ASTM C129) USA: ASTM International.
- Bai, Y., Darcy, F., & Basheer, P. A. M. (2005). Strength and drying shrinkage properties of concrete containing furnace bottom ash as fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 19, 691-697.
- Celik, K., Meral, C., Gursel, A. P., Mehta, P. K., Horvath, A., & Monteiro, P. J. (2015). Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of self-consolidating concrete mixtures made with blended portland cements containing fly ash and limestone powder. *Cement and Concrete Composites*, 56, 59-72.
- Chen, L., & Lin, D-F., (2009). Stabilization treatment of soft subgrade soil by sewage sludge ash and cement. *Journal of Hazardous Materials*, 162(1), 321-327.
- Chowdhury, J. A., Islam, M. S., Islam, M. A., Al Bari, M. A., & Debnath, A. K. (2025). Analysis of mechanical properties of fly ash and boiler slag integrated geopolymer composites. *Sustain. Struct.*, 5(2), 000073.
- Dahmen, J., Kim, J., & Ouellet-Plamondon, C. M. (2018). Life cycle assessment of emergent masonry blocks. *Journal of cleaner production*, 171, 1622-1637.
- Dermatas, D., & Meng, X. (2003). Utilization of fly ash for stabilization/solidification of heavy metal contaminated soils. *Engineering Geology*, 70(3-4), 377-394.
- Freedonia. (2016). *World Construction Aggregates - Demand and Sales Forecasts, Market Share, Market Size, Market Leaders, Industry Study No. 3389*. the Freedonia group, Cleveland, Ohio, USA 390 p.
- Furr, J. E. (Ed.). (2009). *Green building and sustainable development: The practical legal guide*. American Bar Association.
- Guney, Y., Sari, D., Cetin, M., & Tuncan, M. (2007). Impact of cyclic wetting-drying on swelling behavior of lime-stabilized soil. *Building and Environment*, 42(2), 681-688.

- Hossain, M. U., Poon, C. S., Lo, I. M., & Cheng, J. C. (2017). Comparative LCA on using waste materials in the cement industry: A Hong Kong case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 120, 199-208.
- Islam, S. R., Majumder, S. N., & Mutsuddy, R. (2024). Life cycle assessment and mechanical strength of cement composites with conventional and recycled fine aggregate. *Sustainable Structures*, 4, 000052.
- ISO. (2018). *Greenhouse gases-Carbon footprint of products-Requirements and guidelines for quantification*. International Organization for Standardization (ISO 14067: 2018). International Organisation for Standardisation.
- Kongkeaw, K., Khemkhao, M., & Suwansaard, A. (2026). Comparative Experimental Study between Hemp and Pineapple Fiber Wastes as Additional Materials to Improve Acoustic Performance in Concrete Blocks. *Applied Science and Engineering Progress*, 19(1), 7881-7881.
- Kou, S. C., & Poon, C. S. (2009). Properties of concrete prepared with crushed fine stone, furnace bottom ash and fine recycled aggregate as fine aggregates. *Construction and Building Materials*, 23(8), 2877-2886.
- Kulsoom, K., Shahzada, K., Noor, U. A., & Xin, R. (2025). Embodied carbon in masonry units: A comparative analysis of brick and concrete block production in Pakistan and the UK. *Energy and Buildings*, 116298.
- Kurad, R., Silvestre, J. D., de Brito, J., & Ahmed, H. (2017). Effect of incorporation of high volume of recycled concrete aggregates and fly ash on the strength and global warming potential of concrete. *Journal of Cleaner Production*, 166, 485-502.
- Kurda, R., Silvestre, J. D., & de Brito, J. (2018). Life cycle assessment of concrete made with high volume of recycled concrete aggregates and fly ash. *Resources, Conservation and Recycling*, 139, 407-417.
- Lin, K. L., & Lin, D. F. (2006). Hydration characteristics of municipal solid waste incinerator bottom ash slag as a pozzolanic material for use in cement. *Cement and Concrete Composites*, 28(9), 817-823.
- Marinković, S., Radonjanin, V., Malesev, M., et al. (2010). Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. *Waste Management*, 30(11), 2255-2264.
- Nalbantoğlu, Z. (2004). Effectiveness of class C fly ash as an expansive soil stabilizer. *Construction and Building Materials*, 18(6), 377-381.
- NRMCA. (2014). *NRMCA Member Industry-wide EPD for Ready Mixed Concrete*. Program Operator: NSF International Certified. (NRMCAEPD 10046). Declaration Holder: the National Ready Mixed Concrete Association.
- Pushkar, S. (2019). The effect of different concrete designs on the life-cycle assessment of the environmental impacts of concretes containing furnace bottom-ash instead of sand. *Sustainability*, 11(15), 4083.
- Reber, A. P. (2009). Taking the LEED: Determining the Appropriate Amount of Government Regulation in Green Building Projects. *Ky. LJ*, 98, 573.
- Salas, D. A., Ramirez, A. D., Ulloa, N., Baykara, H., & Boero, A. J. (2018). Life cycle assessment of geopolymers concrete. *Construction and Building Materials*, 190, 170-177.
- Sathiparan, N., & Subramaniam, D. N. (2025). Optimizing fly ash and rice husk ash as cement replacements on the mechanical characteristics of pervious concrete. *Sustainable Structures*, 5.
- Sathiparan, N., Jaasim, J. H. M., & Banujan, B. (2022). Sustainable production of cement masonry blocks with the combined use of fly ash and quarry waste. *Materialia*, 26, 101621.
- Sentman, S. D., Del Percio, S. T., & Koerner, P. (2008). A climate for change: Green building policies, programs, and incentives. *Journal of green building*, 3(2), 46-63.
- Shaikh, S. A., Rajpurohit, K., Pandey, A. K., & Bağla, H. K. (2025). Engineering Portland cement and concrete with agricultural-origin functional additives: Valorization of agro-waste. *Next Sustainability*, 6, 100173.
- Souza, A. B., Ferreira, H. S., Vilela, A. P., Viana, Q. S., Mendes, J. F., & Mendes, R. F. (2021). Study on the feasibility of using agricultural waste in the production of concrete blocks. *Journal of Building Engineering*, 42, 102491.
- Suwansaard, A., Kongpun, T., & Khemkhao, M., (2022). Properties of mortars mixed with polystyrene and hemp fiber wastes. *Applied Science and Engineering Progress*, 15(1). <https://doi.org/10.14416/j.asep.2021.09.004>
- Tait, M. W., & Cheung, W. M. (2016). A comparative cradle-to-gate life cycle assessment of three concrete mix designs. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(6), 847-860.
- Tošić, N., Marinković, S., Dašić, T., & Stanić, M. (2015). Multicriteria optimization of natural and recycled aggregate concrete for structural use. *Journal of cleaner production*, 87, 766-776.
- Yong, R. N., & Ouhadi, V. R. (2007). Experimental study on instability of bases on natural and lime/cement-stabilized clayey soils. *Applied clay science*, 35(3-4), 238-249.
- Zhang, J., Fernando, S., Law, D. W., Gunasekara, C., Setunge, S., Sandanayake, M., & Zhang, G. (2023). Life cycle assessment for geopolymers concrete bricks using brown coal fly ash. *Sustainability*, 15(9), 7718. <https://doi.org/10.3390/su15097718>