

การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพารา: แนวทางใหม่ ของวัสดุก่อสร้างเพื่อสิ่งแวดล้อม

A Study on the Properties of Concrete Blocks Mixed with Rubber Seed Shells: A New Approach to Environmentally Friendly Building Materials

รับบทความ 22/07/2568

แก้ไขบทความ 30/09/2568

ยอมรับบทความ 29/10/2568

วรวิทย์ มัธยันต์

สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Worawut Matthayan

Architecture, Faculty of Architecture, Prince of Songkla University

worawut.m@psu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราบด (พันธุ์ RRIM600) ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรที่มีปริมาณมาก มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงเนื่องจากมีส่วนประกอบของเซลลูโลสสูง เพื่อเป็นวัสดุทดแทนมวลรวมหยาบ (หินเกล็ด) ซึ่งช่วยเพิ่มคุณสมบัติในความเป็นฉนวนกันความร้อน ลดน้ำหนัก และลดต้นทุนการผลิต โดยไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงอัด (≥ 2.5 MPa) เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 58-2533) รวมถึงศึกษาเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) คุณสมบัติด้านอุณหภูมิภายในอาคารภาคสนาม โดยใช้เปลือกเมล็ดยางพาราแทนที่หินเกล็ดในอัตราส่วนร้อยละ 0-100 (ช่วงห่างร้อยละ 10) โดยน้ำหนัก พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ การแทนที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก (สัดส่วน A2) ซึ่งให้ค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย 4.98 MPa มีน้ำหนักลดลงร้อยละ 10.58 โดยเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่ไม่ผสมเปลือกเมล็ดยางพารา (สัดส่วน A0) เมื่อขึ้นรูปเป็นคอนกรีตบล็อกมาตรฐานขนาด $19 \times 39 \times 7$ ซม. พบว่า น้ำหนักลดลงร้อยละ 7.00 เมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่มีขายทั่วไป ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยลดลงร้อยละ 18.87 เมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่ไม่ผสมเปลือกเมล็ดยางพารา (สัดส่วน A0) และลดลงร้อยละ 21.40 เมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่มีขายทั่วไป แสดงถึงประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อน ในด้านการทดสอบด้านอุณหภูมิในอาคารจำลองภาคสนาม พบว่า อุณหภูมิสูงสุดภายในอาคารจำลองช่วงเวลากลางวันของอาคารที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราต่ำกว่าอาคารจำลองที่ก่อผนังด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป 1.04°C อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนในการผลิตลงได้ โดยมีราคาต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกตามท้องตลาดร้อยละ 7.70

งานวิจัยนี้จึงชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของเปลือกเมล็ดยางพาราในการพัฒนาเป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพิ่มมูลค่าเศษวัสดุจากอุตสาหกรรมยางพารา ประหยัดพลังงาน และช่วยลดต้นทุนการก่อสร้างลงได้

คำสำคัญ: คอนกรีตบล็อก เปลือกเมล็ดยางพารา วัสดุประหยัดพลังงาน ยางพารา คอนกรีต

Abstract

This study aims to develop lightweight concrete blocks using ground rubber seed shells (RRIM600), an agricultural by-product rich in cellulose, as a partial replacement for coarse aggregate (crushed stone). The research objective is to enhance thermal insulation, reduce unit weight, and lower production costs, while maintaining the minimum compressive strength (≥ 2.5 MPa) as specified by the Thai Industrial Standard (TIS 58-2533). Rubber seed shells were used to replace crushed stone in proportions ranging from 0% to 100% by weight. The optimal mix (A2), with 20% replacement, achieved an average compressive strength of 4.98 MPa. When molded into standard concrete block dimensions ($19 \times 39 \times 7$ cm), the A2 mix reduced unit weight by 10.58% compared to the control mix (A0), and by 7.00% compared to conventional market blocks. Thermal conductivity decreased by 18.87% and 21.40%, respectively, indicating enhanced thermal performance. Field testing further revealed that buildings constructed with A2 blocks exhibited indoor temperatures up to 1.04 °C lower during the day compared to buildings using conventional concrete blocks. Additionally, the production cost of A2 blocks was 7.70% lower than the average market price, demonstrating its cost-effectiveness.

These findings underscore the potential of rubber seed shells as an eco-friendly alternative material that adds value to agricultural waste, supports sustainable construction practices, and aligns with circular economy principles.

Keywords: *concrete block, rubber seed shell, energy-efficient materials, rubber, concrete*

ที่มาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมกรรมการก่อสร้างทั่วโลกมีการเติบโตและมีแนวโน้มที่จะขยายตัวอย่างต่อเนื่อง คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างหลักยังคงได้รับความนิยม เนื่องจากมีความแข็งแรง รับน้ำหนักได้มาก และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ส่งผลให้ทั่วโลกมีการผลิตคอนกรีตมากกว่า 10 พันล้านตันต่อปี (Kuntz, 2006) และยังใช้ทรัพยากรธรรมชาติในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมากซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากถึง 8–9% ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั่วโลก (Damineli & John, 2012) อีกทั้งในระหว่างกระบวนการผลิตยังมีการปล่อยก๊าซที่เป็นพิษต่าง ๆ (Rashvand, 2009) โดยเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 95% (Worrell, 2013)

คอนกรีตบล็อก (concrete block) เป็นวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความแข็งแรง สะดวกต่อการก่อสร้าง มีรูปแบบให้เลือกหลากหลาย สามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว มีน้ำหนักเบาและใช้จำนวนแรงงานน้อยส่งผลให้ต้นทุนค่าก่อสร้างต่ำกว่าการใช้อิฐดินเผา (Lyons, 2006) ส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกมีส่วนผสมที่เหมือนกับการผลิตคอนกรีต ซึ่งนอกจากจะส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมดังที่ได้กล่าวมา ยังมีค่าการนำความร้อนที่สูงส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิภายในอาคารอย่างมีนัยสำคัญ (Haynes & Yarbrough, 1989) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity-k) อยู่ที่ 0.519 W/m·°C (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547) ด้วยเหตุนี้ในปัจจุบันจึงมีการศึกษาการใช้เศษวัสดุจากอุตสาหกรรมเกษตรซึ่งมีปริมาณมากและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นวัสดุทดแทนในคอนกรีตอย่างหลากหลาย ซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงแต่ยังช่วยลดต้นทุนการผลิต (Beskopylny et al., 2022) เพิ่มมูลค่า ช่วยลดปัญหาการกำจัดของเสีย ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการก่อสร้างและลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารอย่างมีนัยสำคัญ (Khalife et al., 2024) อีกทั้งยังส่งเสริมให้เกิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Bardan & Czarnecki, 2025)

อุตสาหกรรมการทำสวนยางพาราเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมเกษตรที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งมีการส่งออกยางธรรมชาติและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จากยางพาราคิดเป็น 1 ใน 3 ของปริมาณการส่งออกยางพาราทั่วโลก (Delarue & Chambon, 2012) โดยในปี พ.ศ. 2553 มีการส่งออกสูงถึง 2.866 ล้านตัน (Damrong Sattayawaksakul & Choi, 2016) เมล็ดยางพาราเป็นผลผลิตหนึ่งที่ได้จากต้นยางพารา เมล็ดมีส่วนประกอบคือ เปลือก (rubber seed shell) และเนื้อในเมล็ด (rubber seed kernel) ซึ่งประกอบด้วย เอนโดสเปิร์ม (endosperm) และต้นอ่อน (embryo) เมล็ดยางพาราเป็นผลพลอยได้จากการทำสวนยางพาราซึ่งมีปริมาณมากไม่นิยมเพาะขยายพันธุ์เพื่อเป็นต้นกล้าเพราะจะเกิดกลายพันธุ์เป็นต้นยางที่ด้อยคุณภาพ (อภิชาติ ศรีสะอาด และพริ้ม ศรีหานาม, 2554) จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่า มีการศึกษาวิจัยการใช้ประโยชน์เฉพาะเนื้อในเมล็ด ส่วนของเปลือกยังไม่มีการใช้ประโยชน์ใด ๆ จึงถูกปล่อยทิ้งเป็นของเสียในสวนยางพาราที่ทยอยสลายได้ยาก อีกทั้งยังไม่เหมาะในการเผาทำลาย เนื่องจากก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และฝุ่นควันออกสู่ชั้นบรรยากาศ

แนวทางการใช้ประโยชน์จากเปลือกเมล็ดยางพาราในงานก่อสร้างจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ในการนำทรัพยากรกลับมาใช้งานใหม่อย่างคุ้มค่า ลดของเสีย ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ส่งเสริมอุตสาหกรรมสีเขียว เพิ่มมูลค่าให้กับขยะจากอุตสาหกรรมเกษตร ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เปลือกเมล็ดยางพารามีคุณสมบัติความแข็งแรงเทียบเท่าวัสดุทดแทนมวลรวมหยาบ (coarse aggregate) สามารถใช้เป็นวัสดุทดแทนในคอนกรีตได้ (Beskopylny et al., 2022)

จุดประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพารา โดยหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อแทนที่วัสดุมวลรวมหยาบ (หินเกล็ด) ได้มากที่สุด ขณะยังคงมีค่าความต้านทานแรงอัด (compressive strength) เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกกลางไม่รับน้ำหนัก (มอก.) 58-2533

2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพของคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพารา โดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป ทั้งในด้านน้ำหนัก ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Conductivity: k) ต้นทุนการผลิต และผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในอาคารภาคสนาม ด้วยอาคารจำลองที่ก่อผนังด้วยวัสดุทั้งสองประเภทภายใต้สภาวะแวดล้อมจริง

ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาคอนกรีตบล็อกโดยใช้เปลือกเมล็ดยางพาราพันธุ์ RRIM600 เป็นวัสดุทดแทนมวลรวมหยาบ (หินเกล็ด) เพื่อประเมินคุณสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อน ต้นทุนการผลิต และผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในอาคารจำลองภายใต้สภาพแวดล้อมจริง

การทบทวนวรรณกรรม

คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมในการก่อสร้าง เนื่องจากสามารถทำงานสะดวกมีความแข็งแรงสามารถใช้งานได้หลากหลาย (Ahmad & Ali, 2025) สะดวกในการก่อสร้างอาคารมีหลากหลายรูปแบบสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วเหมาะสมทั้งการใช้งานภายในและภายนอกอาคาร มีความทนทานต่อสภาพอากาศ มีคุณสมบัติในการกันเสียงและความร้อน น้ำหนักเบาช่วยลดระยะเวลาการก่อสร้างลงได้ (Lyons, 2006) อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงมีการศึกษาวิจัยการใช้วัสดุทางเลือกต่าง ๆ เช่น เศษวัสดุจากธรรมชาติ วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรประเภทเส้นใยเซลลูโลสเพื่อเป็นวัสดุทดแทนในส่วนผสมแบบเดิม (Ghimire et al., 2024) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การใช้เส้นใยเซลลูโลสในคอนกรีตช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกล (Al-khafaji et al., 2024) ช่วยลดต้นทุนในการผลิตลงได้ (Hussary, 2009) ลดการนำความร้อน (Gonzalez et al., 2024) และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนในกระบวนการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับคอนกรีตธรรมดา ซึ่งนำไปสู่การก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Jha et al., 2024)

ยางพาราถือเป็นพืชผลที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงในหลายประเทศ (Nugraha et al., 2018) เมล็ดยางพารา (rubber seed) เป็นผลพลอยได้ซึ่งมีปริมาณมากเฉลี่ย 12,000 เมล็ดต่อไร่ต่อปี อัตราการออกจะลดลงร้อยละ 50 หากเก็บเมล็ดไว้เกิน 10 วัน อีกทั้งการเพาะพันธุ์ด้วยเมล็ดยังส่งผลให้ต้นยางกลายพันธุ์ (อภิชาติ ศรีสะอาด และพริ้ม ศรีหานาม, 2554) เมล็ดยางพาราจึงกลายเป็นผลผลิตที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าใช้ประโยชน์ได้น้อย กลายเป็นขยะในอุตสาหกรรมการทำสวนยางพารา (Wagner et al., 2018) โดยเมล็ดยางพาราประกอบด้วยเปลือกเมล็ดยางพารา (rubber seed shell) และเนื้อในเมล็ดยางพารา (rubber seed kernel) จากการศึกษพบว่าเนื้อในเมล็ดยางพารามีการใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย เช่น การสกัดเป็นไบโอดีเซล เชื้อเพลิงชีวภาพ ส่วนผสมในอาหารสัตว์ (Yang et al., 2021) และผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Putra & Abdul Aziz, 2023) ในขณะที่ส่วนเปลือกเมล็ดยางพาราประกอบด้วยลิกโนเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน (Reshad et al., 2017) และเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักมากถึงร้อยละ 55.15 (Onojake et al., 2023) ยังไม่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เปลือกเมล็ดยางพาราสามารถใช้งานเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ (Reshad et al., 2017) เป็นส่วนประกอบในวัสดุดูดซับสำหรับการดูดซับโลหะหนักในการบำบัดน้ำเสีย เป็นส่วนประกอบในการผลิตโฟมที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Ekebafe et al., 2020) อีกทั้งยังสามารถเป็นส่วนประกอบในวัสดุคอมโพสิตต่าง ๆ โดยเฉพาะวัสดุก่อสร้างเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานซึ่งสามารถใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตได้ (Shafiq & Ismail, 2021) จากงานวิจัยต่าง ๆ พบว่า เปลือกเมล็ดยางพารามีคุณสมบัติความแข็งแรงเทียบเคียงได้กับส่วนประกอบมวลรวมหยาบในคอนกรีต โดยบดให้มีขนาด 5–20 มม. และเป็นวัสดุทดแทนมวลรวมหยาบ (หินเกล็ด) ได้ในสัดส่วนร้อยละ 4 โดยปริมาตร ส่งผลให้คอนกรีตมีความแข็งแรงรับแรงอัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 6 และแรงดึงเพิ่มขึ้นร้อยละ 8 (Beskopylny et al., 2022) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของมูธุซามิ และคณะ (Muthusamy et al.) (2014) ที่ระบุว่า เปลือกเมล็ดยางพาราบดขนาด 10 มม. มีความเหมาะสมเป็นวัสดุทดแทนมวลรวมหยาบในคอนกรีตได้ ไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติการรับแรง โดยการศึกษาไม่มีการพิจารณา ถึงคุณสมบัติทางกลด้านอื่น ๆ คุณสมบัติด้านความร้อน รวมทั้งต้นทุนการผลิต เปลือกเมล็ดยางพาราจึงเป็นทรัพยากรที่มีศักยภาพ ในการพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Shafiq & Ismail, 2021) โดยยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มถึงสัดส่วนในการนำมาใช้เนื่องจากส่งผลกับคุณสมบัติทางกล

ของคอนกรีต อย่างไรก็ตามการใช้เปลือกเมล็ดยางพาราในวัสดุก่อสร้างถือเป็นก้าวสำคัญสู่แนวทางปฏิบัติการก่อสร้างที่ยั่งยืน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (Ekebafe et al., 2020) นอกจากนี้มีส่วนช่วยในการอนุรักษ์พลังงาน ช่วยลดการเกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง (Raksritong et al., 2013) ลดของเสียในอุตสาหกรรมยางพารา ยังช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร และส่งเสริมแนวทางปฏิบัติที่ยั่งยืนในการทำสวนยางพารา (Iyayi et al., 2008)

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการผลิตประกอบด้วย เปลือกเมล็ดยางพาราพันธุ์ RRIM600 ซึ่งนิยมปลูกทั่วประเทศนำมาบดให้มีขนาดใกล้เคียงกับหินเกล็ด ซึ่งมีขนาด 3.17–19.05 มม. โดยร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 3/4 นิ้ว และค้ำบนตะแกรงเบอร์ 8 ทราฟที่ใช้เป็นทรายหยาบมีขนาด 2–4.5 มม. หินเกล็ดมีขนาด 3/8 นิ้ว ปูนซีเมนต์ที่ใช้คือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใช้น้ำประปาซึ่งไม่มีความชื้นหรือมีตะกอนในการผสม

ศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม ด้วยการใช้แบบหล่อคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด $15 \times 15 \times 15$ ซม. ขึ้นรูปโดยใช้อัตราส่วนผสมเริ่มต้นของปูนซีเมนต์ : ทราย : หินเกล็ด เท่ากับ 1 : 1.5 : 1.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งอ้างอิงแนวทางจากการศึกษาของปิติ สุคนธสุขกุล และเฉลิมพล ไชยแก้ว (Piti Sukontasukkul & Chalermphol Chaikaew) (2005) ที่ได้เสนอสูตรผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกปูพื้นทางเดินที่ใช้วัสดุทดแทนจากยางรีไซเคิล จากนั้นแทนที่หินเกล็ดด้วยเปลือกเมล็ดยางพาราในสัดส่วนร้อยละ 0–100 โดยน้ำหนัก แบ่งออกเป็น 11 สัดส่วน (A0–A10) โดยเพิ่มปริมาณขึ้นในแต่ละสัดส่วนร้อยละ 10 ทั้งนี้ คงอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.30 โดยน้ำหนักหล่อขึ้นรูปสัดส่วนละ 5 ก้อน บ่มเป็นเวลา 28 วัน แล้วทดสอบค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย (compressive strength) ด้วยเครื่อง Compression Testing Machine ณ สำนักงานโยธาธิการและผังเมือง จังหวัดตรัง เพื่อหาสัดส่วนที่สามารถผสมเปลือกเมล็ดยางพาราได้มากที่สุด โดยยังคงผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 58-2533

ทดสอบด้านน้ำหนักด้วยการขึ้นรูปเป็นคอนกรีตบล็อกโดยใช้แบบหล่อขนาด $19 \times 39 \times 7$ ซม. ซึ่งเป็นขนาดของคอนกรีตบล็อกที่ใช้งานทั่วไป ด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลที่มีช่วงการวัด 0.01–25 กิโลกรัม และค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 1\%$

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity: k) ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C518 โดยใช้เครื่อง Heat Flow Meter รุ่น HC-074 (ค่าความคลาดเคลื่อน $< 1\%$, ความละเอียด 0.01°C) ณ ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ใช้บล็อกทดสอบขนาด $20 \times 20 \times 5$ ซม. จำนวน 5 ชุด ใช้สัดส่วนที่ผสมเปลือกเมล็ดยางพาราได้มากที่สุด และผ่านค่ากำลังอัดตาม มอก. 58-2533 เปรียบเทียบกับบล็อกที่ไม่ผสมเปลือกเมล็ดยางพารา (A0) และคอนกรีตบล็อกทั่วไป

การทดสอบภาคสนามด้านอุณหภูมิภายในอาคาร ดำเนินการโดยใช้อาคารจำลองโครงสร้างเหล็กขนาด $1.35 \times 1.35 \times 2.35$ ม. จำนวน 2 หลัง มุงหลังคาลอนคู่ ผนังทึบเหนียว ตะวันออก ตะวันตก พื้น และฝ้าเพดานกรุฉนวนโฟมหนา 10 ซม. ประกอบแผ่นซีเมนต์บอร์ดหนา 6 มม. ส่วนผนังด้านทิศใต้ซึ่งเป็นทิศที่ได้รับแสงแดดสม่ำเสมอ หลังที่ 1 ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพารา และหลังที่ 2 ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป โดยติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิแบบ Data Logger รุ่น HOBO UX120-014M ($\pm 0.6^\circ\text{C}$, ความละเอียด 0.01°C) ณ จุดวัด 4 ตำแหน่ง ได้แก่ ภายนอกอาคาร ภายในอาคาร ผิวผนังภายใน และผิวผนังภายนอก โดยบันทึกข้อมูลทุก 10 นาที ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 7 วัน

กระบวนการวิจัย



ภาพ 1 แผนผังแสดงกระบวนการวิจัย

ที่มา: ผู้วิจัย, 2568



(a)

(b)

(c)

(d)

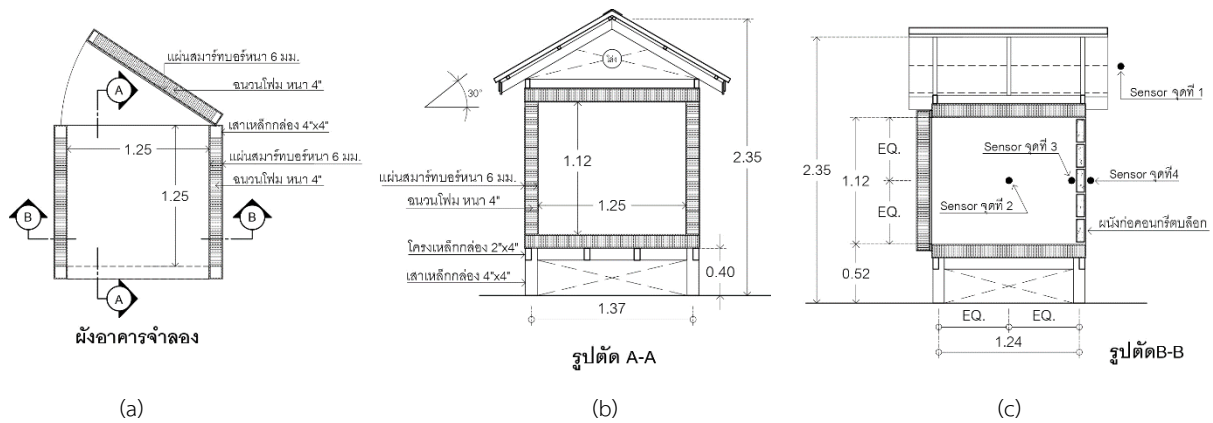
ภาพ 2 แบบเหล็กมาตรฐานสำหรับการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกเพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติด้านอุณหภูมิ

(a) แบบเหล็กขนาด 15 × 15 × 15 ซม. สำหรับทดสอบค่ากำลังอัด (b) แบบเหล็กมาตรฐานขนาด 20 × 20 × 5 ซม. สำหรับทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำ

ความร้อน (c) แบบเหล็กมาตรฐานขนาด 19 × 39 × 7 ซม. สำหรับขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกเพื่อทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม

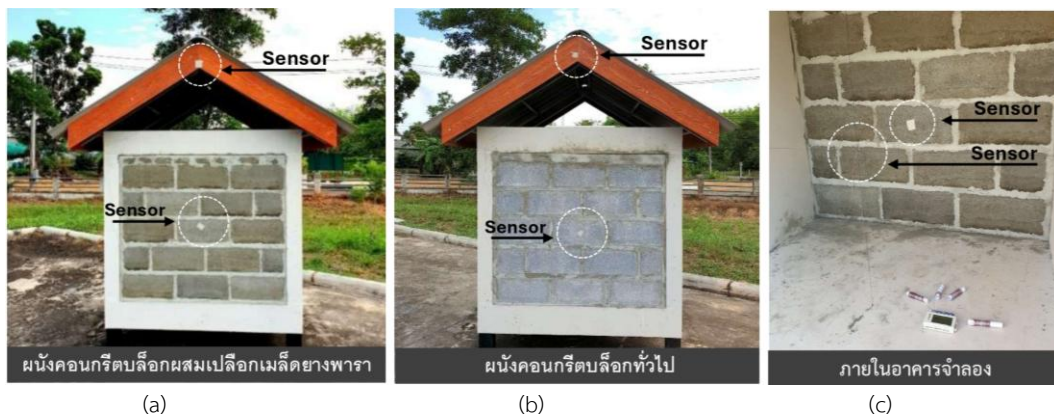
(d) เปลือกของเมล็ดยางพาราพันธุ์ RRIM600 ที่ผ่านการบด

ที่มา: ผู้วิจัย, 2568



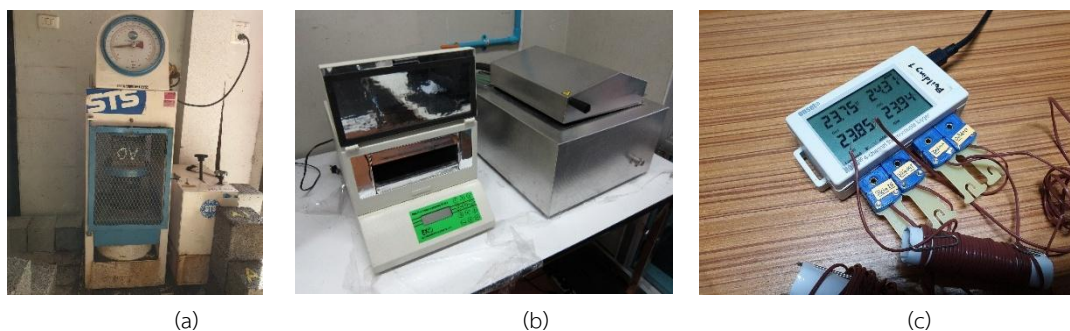
ภาพ 3 แบบอาคารจำลองเพื่อทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม

(a) ผังอาคารจำลอง (b) รูปตัด A-A (c) รูปตัด B-B พร้อมแสดงตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคารจำลอง
ที่มา: ผู้วิจัย, 2568



ภาพ 4 การทดสอบอุณหภูมิภาคสนามด้วยอาคารจำลอง

(a) อาคารจำลองที่ผนังก่อด้วยคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราและตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบอุณหภูมิภายนอกอาคารจำลอง
(b) อาคารจำลองที่ผนังก่อด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไปและตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบอุณหภูมิภายนอกอาคารจำลอง
(c) ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบอุณหภูมิภายในอาคารจำลอง
ที่มา: ผู้วิจัย, 2568



ภาพ 5 เครื่องมือทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติด้านอุณหภูมิ

(a) เครื่องทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีต Compression Testing Machine
(b) เครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน Heat Flow Meter (c) เครื่องวัดอุณหภูมิชนิดมี Data Logger
ที่มา: ผู้วิจัย, 2568

ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบศึกษาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมและค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย

จากการทดสอบการขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกด้วยสัดส่วนผสมที่แทนที่หินเกล็ดด้วยเปลือกเมล็ดยางพารา พบว่า สัดส่วน A6, A7, A8, A9 และ A10 ซึ่งมีปริมาณการแทนที่ในสัดส่วนที่มากไม่สามารถหล่อขึ้นรูปเป็นบล็อกคอนกรีตได้ เนื่องจากวัสดุไม่สามารถยึดเกาะกัน ได้มากพอทำให้ไม่เกิดการรวมตัวเป็นรูปทรงที่สมบูรณ์ ขณะที่สัดส่วน A0, A1, A2, A3, A4 และ A5 ซึ่งมีปริมาณการแทนที่ในระดับต่ำถึง ปานกลางสามารถหล่อขึ้นรูปได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเลือกใช้เฉพาะสัดส่วนดังกล่าวในการทดสอบค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย (compressive strength)

ตาราง 1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย (compressive strength) และผลการทดสอบน้ำหนัก

สัดส่วน	ก้อนที่	ค่าความต้านทานแรงอัด (MPa)	น้ำหนักเฉลี่ย (กิโลกรัม)	สัดส่วน	ก้อนที่	ค่าความต้านทานแรงอัด (MPa)	น้ำหนักเฉลี่ย (กิโลกรัม)	สัดส่วน	ก้อนที่	ค่าความต้านทานแรงอัด (MPa)	น้ำหนักเฉลี่ย (กิโลกรัม)
A0	1	15.98	7.28	A1	1	11.28	6.80	A2	1	2.75	6.51
	2	14.71			2	10.00			2	4.51	
	3	19.02			3	8.53			3	4.02	
	4	18.14			4	12.16			4	5.30	
	5	16.48			5	11.28			5	8.34	
	เฉลี่ย	16.87			เฉลี่ย	10.65			เฉลี่ย	4.98	
A3	1	3.14	6.16	A4	1	0.59	5.58	A5	1	0.00	5.16
	2	2.94			2	0.39			2	0.00	
	3	4.02			3	1.08			3	0.00	
	4	2.94			4	0.20			4	0.20	
	5	1.86			5	0.59			5	0.00	
	เฉลี่ย	2.98			เฉลี่ย	0.57			เฉลี่ย	0.04	

ที่มา: ผู้วิจัย, 2568

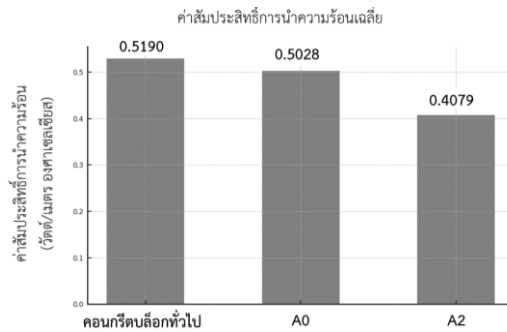
จากตาราง 1 พบว่า คอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกเมล็ดยางพาราในอัตราส่วนร้อยละ 0-50 (A0 ถึง A5) มีค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยลดลงตามลำดับการเพิ่มสัดส่วนการแทนที่ โดยค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของสัดส่วน A0, A1, A2, A3, A4 และ A5 เท่ากับ 16.87, 10.65, 4.98, 2.98, 0.57 และ 0.04 MPa ตามลำดับ โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดเป็น 1.721, 1.264, 2.092, 0.769, 0.328 และ 0.089 MPa ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเปลือกเมล็ดยางพาราในคอนกรีตส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดลดลงอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ ตามเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 58-2533 กำหนดให้ค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยต้องมากกว่า 2.5 MPa และค่าของแตร่ละก้อนต้องไม่ต่ำกว่า 2.0 MPa ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่า สัดส่วน A2 ซึ่งแทนที่หินเกล็ดด้วยเปลือกเมล็ดยางพารา ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เป็นสัดส่วนที่สามารถผสมเปลือกเมล็ดยางพาราได้มากที่สุดโดยยังผ่านเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว โดยที่ค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 4.98 MPa และทุกก้อนมีค่าไม่น้อยกว่า 2.0 MPa ดังนั้น สัดส่วน A2 จึงเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบด้านน้ำหนัก ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน อุณหภูมิภายในอาคาร และการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตในขั้นตอนถัดไป

ผลการทดสอบน้ำหนักพบว่า เมื่อผสมเปลือกเมล็ดยางพาราเพื่อทดแทนหินเกล็ดส่งผลให้น้ำหนักเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยสัดส่วนร้อยละ 0 (A0), 10 (A1), 20 (A2), 30 (A3), 40 (A4) และ 50 (A5) มีน้ำหนักเฉลี่ย 7.28, 6.80, 6.51, 6.16, 5.58 และ 5.16 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราสัดส่วน A2 กับสัดส่วน A0 พบว่า

น้ำหนักเฉลี่ยจะลดลงร้อยละ 10.58 และหากเทียบกับคอนกรีตบล็อกทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาดที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 7.00 กิโลกรัมต่อก่อน คอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราสัดส่วน A2 จะมีน้ำหนักเฉลี่ยจะลดลงร้อยละ 7 ด้านความหนาแน่นเฉลี่ยของแต่ละสัดส่วน มีค่า 2,157.04, 2,014.81, 1,928.89, 1,825.19, 1,653.33 และ 1,528.89 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ย

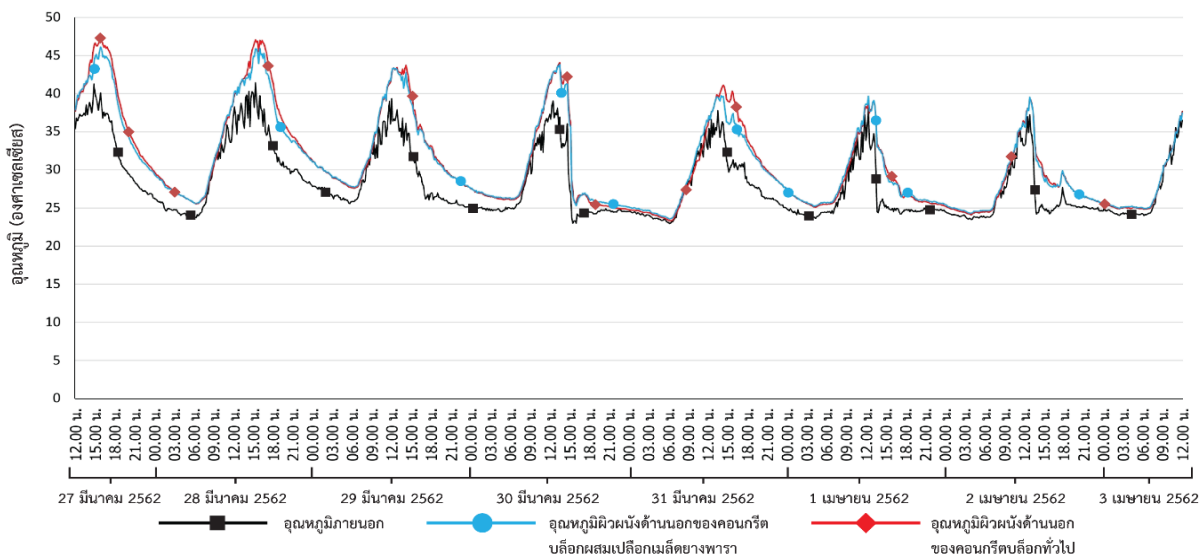


ภาพ 6 ผลทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Conductivity: k)

ที่มา: ผู้วิจัย, 2568

จากภาพ 6 ค่า Thermal Conductivity (k) ของคอนกรีตบล็อกทั่วไป คอนกรีตบล็อกสัดส่วน A0 และคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราสัดส่วน A2 เท่ากับ 0.5190, 0.5028 และ 0.4079 W/m.°C ตามลำดับ โดยบล็อกสัดส่วน A2 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าบล็อก A0 ร้อยละ 18.87 และต่ำกว่าบล็อกทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาดร้อยละ 21.40

ผลการทดสอบอุณหภูมิภาคสนาม

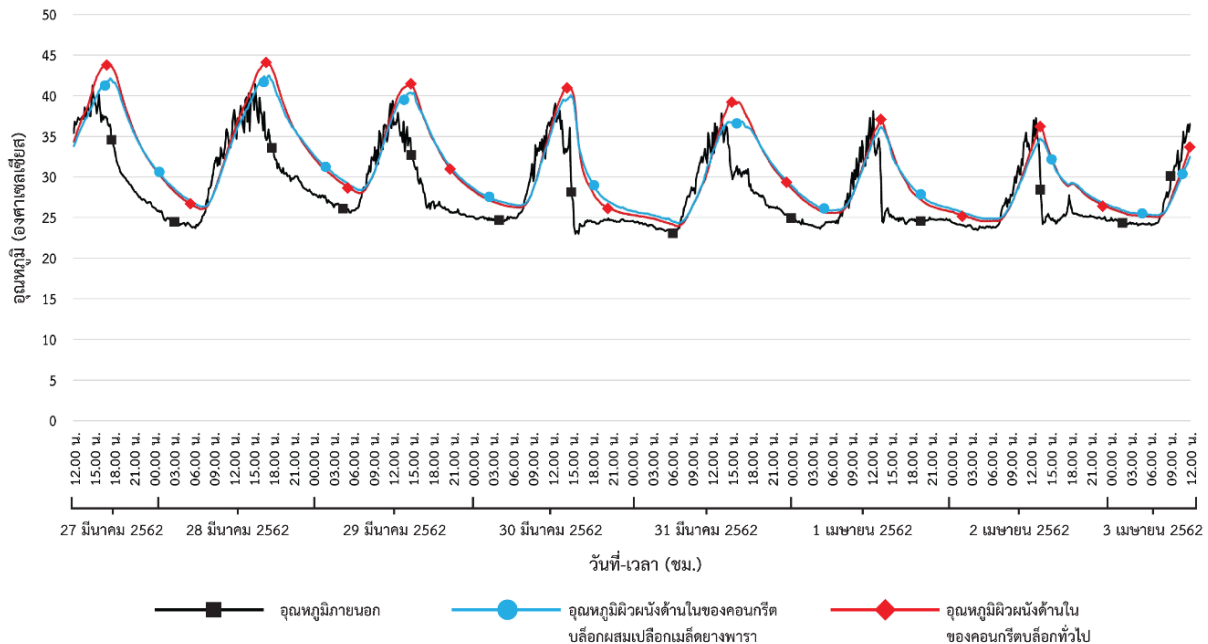


ภาพ 7 แสดงอุณหภูมิภายนอกเทียบกับอุณหภูมิผิวผนังภายนอกของคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราและคอนกรีตบล็อกทั่วไป

ที่มา: ผู้วิจัย, 2568

จากภาพ 7 ช่วงกลางวัน (12.30–14.30 น.) มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุด 38.84 °C ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกอาคารที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป (42.52 °C) 3.68 °C และคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพารา สัดส่วน A2 (41.83 °C) 2.99 °C ช่วงเช้ามืด (04.00–07.00 น.) มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด 24.08 °C ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวผนังด้านนอกอาคารที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป (25.23 °C) 1.15 °C และคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพารา สัดส่วน A2 (25.36 °C) 1.28 °C

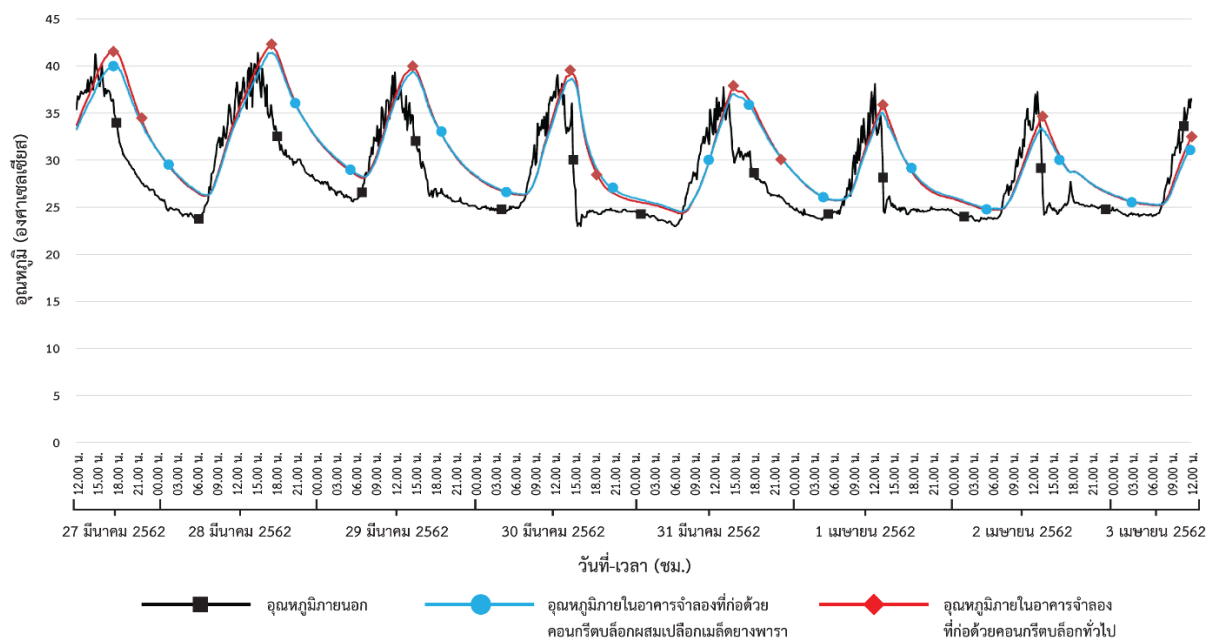
คอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราสัดส่วน A2 จึงช่วยลดอุณหภูมิบริเวณผนังด้านนอกอาคารช่วงกลางวันได้ดีกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป 0.69°C แต่ในช่วงเช้ามืดมีอุณหภูมิสูงกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป 0.13°C



ภาพ 8 แสดงอุณหภูมิภายนอกเทียบกับอุณหภูมิผิวผนังภายในของคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราและคอนกรีตบล็อกทั่วไป
ที่มา: ผู้วิจัย, 2568

จากภาพ 8 ช่วงกลางวัน (12.30–14.30 น.) มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุด 38.84°C ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวผนังด้านในอาคารที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป (39.56°C) 0.72°C แต่สูงกว่าคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพารา สัดส่วน A2 (38.15°C) 0.69°C ช่วงเช้ามืด (04.00–07.00 น.) มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด 24.08°C ต่ำกว่าอุณหภูมิผิวผนังด้านในอาคารของคอนกรีตบล็อกทั่วไป (25.62°C) 1.54°C และคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราสัดส่วน A2 (25.91°C) 1.83°C

คอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราสัดส่วน A2 จึงช่วยลดความร้อนบริเวณผิวผนังด้านในอาคารช่วงกลางวันได้ดีกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป 1.41°C แต่ในช่วงเช้ามืดมีอุณหภูมิสูงกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป 0.29°C



ภาพ 9 แสดงอุณหภูมิภายนอกเทียบกับอุณหภูมิภายในอาคารที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราและคอนกรีตบล็อกทั่วไป
ที่มา: ผู้วิจัย, 2568

จากภาพ 9 ช่วงกลางวัน (12.30–14.30 น.) มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุด 38.84 °C สูงกว่าภายในอาคารที่ก่อด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป (38.06 °C) 0.78 °C และสูงกว่าคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราสัดส่วน A2 (37.02 °C) 1.82 °C ช่วงเช้ามืด (04.00–07.00 น.) มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด 24.08 °C ต่ำกว่าภายในอาคารก่อด้วยคอนกรีตบล็อกทั่วไป (25.78 °C) และคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราสัดส่วน A2 (25.88 °C) อยู่ 1.7 °C และ 1.8 °C ตามลำดับ

คอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราสัดส่วน A2 จึงช่วยลดความอุณหภูมิภายในอาคารช่วงกลางวันได้ดีกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่า 1.04 °C ช่วงเช้ามืดมีอุณหภูมิสูงกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป 0.1 °C

ผลการศึกษาด้านทุนการผลิต

ตาราง 2 รายละเอียดการคำนวณต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกสัดส่วน A2

รายการ	ราคา (บาท)/หน่วย	ราคา/กิโลกรัม (บาท)	ปริมาณ/ก้อน (กิโลกรัม)	รวมราคา (บาท)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1	148 บาท/ถุง (50 กิโลกรัม)	2.69	1.67	4.49
ทรายหยาบ	495 บาท/ลบ.ม.	0.31	2.51	0.78
หินเกล็ด	602 บาท/ลบ.ม.	0.37	2.01	0.74
เปลือกเมล็ดยางพาราบด	0.53 บาท/กิโลกรัม	0.53	0.5	0.27
รวมราคาสวนผสม				6.28
ค่าแรง 20%	1.26 บาท/ก้อน			7.54
ค่าดำเนินการ 10% และกำไร 10%	1.26 บาท/ก้อน			9.05
ราคาสุทธิต่อก้อน				9.05

ที่มา: ผู้วิจัย, 2568

จากตาราง 2 ข้อมูลราคาวัสดุอ้างอิงจากบัญชีราคาค่าวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงาน ปี พ.ศ. 2567 กรมบัญชีกลาง ทั้งนี้จากแหล่งอ้างอิงเดียวกันระบุว่า คอนกรีตบล็อกชนิดธรรมดาทั่วไป ขนาด 19 × 39 × 7 เซนติเมตร มีราคาก้อนละ 9.80 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกสัดส่วน A2 ที่มีราคาก้อนละ 9.05 บาท พบว่า มีราคาถูกกว่าประมาณร้อยละ 7.70 ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพในการลดต้นทุน และความคุ้มค่าเชิงวัสดุก่อสร้างทางเลือก

อภิปรายและสรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราแทนมวลรวมทราย โดยศึกษาคุณสมบัติทางกลทางอุณหภูมิ และต้นทุนการผลิต เพื่อเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

สามารถสรุปได้ว่า สัดส่วนผสมที่เหมาะสมคือสัดส่วน A2 ซึ่งแทนที่หินเกล็ดด้วยเปลือกเมล็ดยางพาราในอัตราร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เป็นสัดส่วนที่มีเสถียรภาพในการขึ้นรูป และให้ค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ย 4.98 MPa ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำตามมาตรฐาน มอก. 58-2533 แม้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัดส่วน A2 จะสูงกว่าสูตรอื่นเล็กน้อย แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทั้งนี้ ความแปรปรวนอาจสะท้อนลักษณะเฉพาะของวัสดุธรรมชาติที่มีความไม่สม่ำเสมอในด้านน้ำหนัก โดยคอนกรีตบล็อกสัดส่วน A2 มีน้ำหนักเฉลี่ย 6.51 กิโลกรัมต่อก้อน ต่ำกว่าสัดส่วน A0 ประมาณร้อยละ 10.58 และต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไปในท้องตลาด ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 7.00 กิโลกรัมต่อก้อนอยู่ร้อยละ 7.00 ด้านความหนาแน่น คอนกรีตบล็อกสูตร A2 มีค่า 1,928.89 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ลดลงจากสัดส่วน A0 ร้อยละ 10.57 และสูงกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไปในท้องตลาด (1,650–1,750 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ประมาณร้อยละ 10.73 จึงสะท้อนศักยภาพของเปลือกเมล็ดยางพาราในการเป็นวัสดุทดแทนที่ช่วยลดน้ำหนักโครงสร้าง สะดวกในการขนย้าย และติดตั้ง อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) ได้อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังมิได้ครอบคลุมการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านการดูดซึมน้ำ จึงเป็นประเด็นที่ควรพิจารณาเพิ่มเติมในการศึกษาต่อไปเพื่อให้การประเมินสมรรถนะของวัสดุมีความครอบคลุมยิ่งขึ้น

สำหรับคุณสมบัติด้านอุณหภูมิ จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่า คอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราสัดส่วน A2 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ย (k) เท่ากับ $0.4079 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ซึ่งต่ำกว่าสัดส่วน A0 ($0.5028 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) ร้อยละ 18.87 และต่ำกว่า คอนกรีตบล็อกทั่วไป ($0.5190 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) ร้อยละ 21.40 สะท้อนให้เห็นว่า เปลือกเมล็ดยางพารามีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน ที่ดีกว่าหินเกล็ด ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร อีกทั้งจากการทดสอบภาคสนามด้วยอาคารจำลองพบว่า อาคารที่ใช้คอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราสัดส่วน A2 มีอุณหภูมิภายในช่วงกลางวันต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไปเฉลี่ย 1.04°C รวมถึงผิวผนังภายในและภายนอกอาคารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในช่วงกลางวัน อย่างไรก็ตาม ช่วงเช้ามืดอุณหภูมิภายในอาคารที่ใช้ คอนกรีตบล็อกผสมเปลือกเมล็ดยางพาราจะสูงกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไปเล็กน้อย (ประมาณ 0.1°C) ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และไม่ส่งผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายภายในอาคาร ในด้านเศรษฐศาสตร์ คอนกรีตบล็อกสูตร A2 มีต้นทุนรวม (รวมวัตถุดิบ ค่าดำเนินการ และกำไร) อยู่ที่ 9.05 บาทต่อก้อน ซึ่งต่ำกว่าราคาท้องตลาดเฉลี่ย (9.80 บาท/ก้อน ณ ปี พ.ศ. 2567) ประมาณร้อยละ 7.70 ทำให้มีความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์

โดยสรุป คอนกรีตบล็อกที่ใช้เปลือกเมล็ดยางพาราสัดส่วน A2 สามารถลดการใช้หินเกล็ด ลดน้ำหนัก ลดความร้อน ลดต้นทุน และเพิ่มคุณสมบัติความเป็นฉนวน โดยยังรักษาค่ากำลังอัดให้อยู่ในมาตรฐาน จึงเป็นการส่งเสริมการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรม ตอบสนองต่อแนวทางการก่อสร้างอย่างยั่งยืน สอดคล้องกับหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียนและการลดการปล่อยคาร์บอนในอุตสาหกรรม วัสดุก่อสร้าง

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2547). *แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน*.
<https://e-lib.dede.go.th/mm-data/Bib9485.pdf>
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2561). *หลักเกณฑ์เฉพาะในการตรวจสอบเพื่อการอนุญาต สำหรับผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก. 58-2533*. <http://law.industry.go.th/laws/file/60509>
- อภิชาติ ศรีสะอาด และพริ้ม ศรีหานาม. (2554). เทคนิคการขยายพันธุ์ยางพาราด้วยตนเอง. บริษัท นาคา อินเตอร์มีเดีย.
- Ahmad, R., & Ali, M. (2025). A review on introducing fibers in concrete for blocks, pavers and kerbstone. *Construction Technologies and Architecture*, 15, 79–84. <https://doi.org/10.4028/p-pq8hma>
- Al-khafaji, F. F., Al Majeed, E. A., Al-Zubaidi, H., Naje, A. S., Hussain, T., & Chelliapan, S. (2024). Behavior of pavement concrete mixture with cellulose materials in the severe environments for sustainability purposes. *Applied Chemical Engineering*, 7(4). <https://doi.org/10.59429/ace.v7i4.5571>
- Bardan, M., & Czarnecki, L. (2025). Green recycled aggregate in concrete: Feasibility study. *Materials*, 18(3), 488. <https://doi.org/10.3390/ma18030488>
- Beskopylny, A., Shcherban, E., Stel'makh, S. A., Meskhi, B., Shilov, A., Varavka, V. N., Evtushenko, A., Özkılıç, Y. O., Aksoylu, C., & Karalar, M. (2022). Composition component influence on concrete properties with the additive of rubber tree seed shells. *Applied Sciences*, 12(22), 11744. <https://doi.org/10.3390/app122211744>
- Damineli, B. L., & John, V. M. (2012, June). Developing low CO₂ concretes: Is clinker replacement sufficient? The need of cement use efficiency improvement. *Key Engineering Materials*, 517, 342–351. <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/KEM.517.342>
- Delarue, J., & Chambon, B. (2012). Thailand: Premier exporter of natural rubber through its family farmers. *Économie Rurale*, 4(330-331), 191–213. https://www.cairn-int.info/article-E_ECRU_330_0191--thailand-premier-exporter-of-natural.htm
- Ekebafé, L. O., Igbonazobi, L. C., & Anakhu, E. A. (2020). Advances in natural rubber seed shell utilization in polymer technology. *Journal of Advances in Science and Engineering*, 3(2), 106–112. <https://doi.org/10.37121/JASE.V3I2.87>
- Gonzalez, Y. E., Miranda-Cantillo, C., Quintero-Torres, J., Rhenals Julio, J. D., Jaramillo, A. F., & Cabello Eras, J. J. (2024). Substitution of sand in concrete blocks with coconut fiber and cattle manure: Effects on compressive strength and thermal conductivity. *Buildings*, 14(10), 3092. <https://doi.org/10.3390/buildings14103092>
- Ghimire, P., Sah, S. K., Hoshmand, H. K., Gyeltshen, T., & Bahri, D. (2024). Experimental investigations on eco-friendly blocks. In *Futuristic trends in construction materials & civil engineering* (Vol. 3, Book 1, pp. 71–80). IIP Series. <https://doi.org/10.58532/v3bjce1p1ch6>
- Haynes, R. D., & Yarbrough, D. W. (1989). Apparent thermal conductivity of low-density concrete obtained with a radial-heat-flow apparatus. In D. P. H. Hasselman & J. R. Thomas (Eds.), *Thermal Conductivity 20* (pp. 265–274). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0761-7_26

- Hussary, A. A. (2009). *Thermal conductivity of lightweight concrete with admixtures*. Faculty of Engineering, Universiti Malaysia Sarawak. <https://ir.unimas.my/4566/>
- Iyayi, A. F., Akpaka, P. O., & Ukpeoyibo, U. (2008). Rubber seed processing for value-added latex production in Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*, 3(7), 505–509. <https://doi.org/10.5897/AJAR.9000611>
- Jha, A. K., Parihar, R. S., Lodhi, V., Misra, R., Kumar, B. M., & Udeniya, A. (2024). A review on the recycling waste materials for green concrete. *Deleted Journal*, 2(4), 74–82. [https://doi.org/10.59324/ejaset.2024.2\(4\).04](https://doi.org/10.59324/ejaset.2024.2(4).04)
- Khalife, E., Sabouri, M., Kaveh, M. E., & Szymanek, M. (2024). Recent advances in the application of agricultural waste in construction. *Applied Sciences*, 14(6), 2355. <https://doi.org/10.3390/app14062355>
- Kuntz, L. M. (2006). *The “greening” of the concrete industry: Factors contributing to sustainable concrete*. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/34594>
- Lyons, A. (2006). 2-Blocks and blockwork. In A. Lyons (Ed.), *Materials for architects and builders* (3rd ed., pp. 32–47). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-075066940-5/50029-0>
- Muthusamy, K., Nordin, N., Vesuvapateran, G., Ali, M. I., Harun, H., & Ullap, H. (2014). Exploratory study of rubber seed shell as partial coarse aggregate replacement in concrete. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 7(6), 1199–1202. <https://doi.org/10.19026/RJASET.7.380>
- Nugraha, I. S., Alamsyah, A., & Sahuri, S. (2018). Effort to increase rubber farmers’ income when rubber low prices. *Jurnal Perspektif Pembiayaan Dan Pembangunan Daerah*, 6(3), 345–352. <https://doi.org/10.22437/PPD.V6I3.5817>
- Onojake, L., Apuyor, K. E., & Apuyor, S. E. (2023). Production of Carboxymethyl Cellulose (CMC) from rubber seed (Hevea brasiliensis) shells. *African Scientist*, 24(2), 283–289. <https://doi.org/10.26538/africanscientist.24.1.202306017>
- Putra, N. R., & Abdul Aziz, A. H. (2023). Green extraction of valuable compounds from rubber seed trees: A path to sustainability. *Applied Sciences*, 13(24), 13102. <https://doi.org/10.3390/app132413102>
- Raksritong, D., Tonnayopas, D., Taweepreda, W., & Masniyom, M. (2013). Green lightweight concrete made from natural para rubber product. *Key Engineering Materials*, 594-595, 460–464. <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/KEM.594-595.460>
- Rashvand, P. (2009). *Energy and CO₂ emission evaluation of concrete waste*. Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia. <http://eprints.utm.my/2249/10/PooriaRashvandMFKA2009.pdf>
- Reshad, A. S., Tiwari, P., & Goud, V. V. (2017). Thermo-chemical conversion of waste rubber seed shell to produce fuel and value-added chemicals. *Journal of The Energy Institute*, 91(6), 940–950. <https://doi.org/10.1016/J.JOEI.2017.09.002>
- Sattayawaksakul, D., & Choi, S. Y. (2016). Natural rubber export: A comparative analysis of the leading exporters in Southeast Asia. *Abstract Proceedings International Scholars Conference*, 4(1), 37. <https://jurnal.unai.edu/index.php/isc/article/view/1751/1188>
- Shafiq, M. D., & Ismail, H. (2021). Multifunctional rubber seed biomass usage in polymer technology and engineering: A short review. *Bioresources*, 16(2), 4649–4662. <https://doi.org/10.15376/BIORES.16.2.SHAFIQ>
- Sukontasukkul, P., & Chaikaew, C. (2005). Concrete Pedestrian Block Containing Crumb Rubber from Recycled Tires. *Thammasat International Journal of Science and Technology*, 10(2), 1–8.

- Wagner, M., Lippe, M., Lewandowski, I., Salzer, M., & Cadisch, G. (2018). CO₂ footprint of the seeds of rubber (*Hevea brasiliensis*) as a biodiesel feedstock source. *Forests*, 9(9), 548. <https://doi.org/10.3390/F9090548>
- Worrell, E. (2013). Cement and energy. In *Reference module in earth systems and environmental sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09057-6>
- Yang, M., Zhu, W., & Cao, H. (2021). Biorefinery methods for extraction of oil and protein from rubber seed. *Bioresources and Bioprocessing*, 8(1), 45. <https://doi.org/10.1186/S40643-021-00386-2>