

การพัฒนาบล็อกประสานสำหรับงานภูมิทัศน์จากยางครัมป์ Development of Interlocking Blocks for Landscape Work from Crumb Rubber

Article Type: Research Article

ชนกนันท์ ปิ่นตบแต่ง

อาจารย์

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ศูนย์รังสิต
จังหวัดปทุมธานี 12130

Chanoknun Pintobtang

Lecturer

Faculty of Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology
Thanyaburi, Rangsit Center, Pathum Thani, Thailand, 12130
Email: ch.pintobtang@gmail.com

บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีของเสียยางพาราจำนวนมาก โดยเฉพาะยางรถยนต์หมดอายุที่สามารถแปรรูปเป็นยางครัมป์ได้ งานวิจัยนี้พัฒนาบล็อกประสานแบบไม่รับน้ำหนัก โดยมีวัตถุประสงค์ (1) ลดน้ำหนักและความหนาแน่นของบล็อก โดยยังคงค่ากำลังอัดตาม มอก. 3411-2565 (≥ 3.45 MPa) และ (2) จัดทำแนวทางการใช้งานในภูมิทัศน์จริง การทดลองใช้ 13 สูตร โดยปรับสัดส่วนปูนซีเมนต์ ดินลูกรัง ยางครัมป์ และชนิดตัวประสาน (น้ำเปล่าและโพลียูรีเทน) พร้อมทดสอบความหนาแน่น กำลังอัด ประเมินเศรษฐศาสตร์การผลิต และการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 7 มิติ ผลการวิจัยพบว่าสูตรที่ 4 (1:2:1 ใช้น้ำเป็นตัวประสาน) เหมาะสมมากที่สุด โดยมีความหนาแน่น 1,571.20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กำลังอัด 3.92 MPa (ผ่านมาตรฐาน) ต้นทุน 14.95 บาทต่อก้อน และผลิตได้ 20 ก้อนต่อวัน ขณะที่สูตรที่ใช้โพลียูรีเทนมีความหนืดสูง ขึ้นรูปยาก และไม่เพิ่มสมรรถนะหรือความคุ้มค่า เมื่อเทียบกับการใช้น้ำ ผลการประเมินผู้เชี่ยวชาญชี้ว่า บล็อกจากสูตรที่ 4 เด่นด้านสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย ส่วนพื้นผิวและการออกแบบเป็นจุดที่ควรพัฒนา สรุปเป็นแนวทางปฏิบัติว่า ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ดินลูกรัง และน้ำ 75–80% และยางครัมป์ 20–25% โดยปริมาตร เหมาะเป็นสูตรตั้งต้นสำหรับบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก

คำสำคัญ: ยางครัมป์; บล็อกประสาน; งานภูมิทัศน์

Abstract

Thailand's industrial use of natural rubber generates substantial waste, especially end-of-life tyres that can be processed into crumb rubber. This study develops non-load-bearing interlocking blocks for practical landscape applications with two objectives: (1) to reduce block weight and density while maintaining compressive strength in accordance with TIS 3411-2565 (≥ 3.45 MPa), and (2) to establish practical mix guidelines for real-world landscape use. Thirteen mix designs were tested by varying proportions of cement, laterite soil, crumb rubber, and binder type (water or polyurethane). Tests included density, compressive strength, production economic, and an expert evaluation across seven-dimension. The results indicate that Mix 4 (1:2:1 with water as binder) is the most promising, achieving a density of $1,571.20 \text{ kg/m}^3$ and a compressive strength of 3.92 MPa (meeting the standard), with a cost of THB 14.95 per block and a production rate of 20 blocks per day. In contrast, polyurethane-bonded mixes showed high viscosity, poor formability, and no improvement in performance or cost-effectiveness compared with water. Expert evaluation highlighted strengths in environmental friendliness and safety, while surface finish and design were identified as areas needing improvement. A practical guideline is therefore proposed: cement, laterite soil, and water 75–80% v/v and crumb rubber 20–25% v/v, as a baseline mix for non-load-bearing interlocking blocks in landscape applications.

Keywords: crumb rubber; interlocking block; landscape applications

Received: June 17, 2025; **Revised:** September 7, 2025; **Accepted:** September 25, 2025

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในผู้ผลิตยางพารารายใหญ่ของโลก โดยยางพารานับเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญและสร้างมูลค่าการส่งออกสูงสุดในปี พ.ศ. 2567 (สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรประจำสถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงเทพมหานคร, 2024) อย่างไรก็ตาม เมื่อผลิตภัณฑ์ยางเข้าสู่ช่วงปลายอายุการใช้งาน โดยเฉพาะยางรถยนต์ที่หมดอายุหลายล้านเส้นต่อปี กลับก่อให้เกิดปัญหาขยะที่จัดการได้ยาก การฝังกลบหรือการเผามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง ขณะเดียวกัน ประเทศไทยยังขาดระบบอุตสาหกรรมที่สามารถนำยางใช้แล้วกลับเข้าสู่กระบวนการใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ

การย่อยยางหมดอายุเป็นยางครัมป์ (Crumb Rubber) นับเป็นหนึ่งในแนวทางที่ช่วยเพิ่มโอกาสการใช้ซ้ำ เนื่องจากยางครัมป์ยังคงคุณสมบัติสำคัญ เช่น ความยืดหยุ่น การดูดซับแรงกระแทก และน้ำหนักเบา คุณสมบัติเหล่านี้เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานภูมิทัศน์ โดยเฉพาะวัสดุพื้นผิวหรือวัสดุที่ต้องรับแรงมาก เช่น บล็อกขอบและบล็อกประสานสำหรับการจัดแนวพื้นที่ ในการศึกษาครั้งนี้ได้มุ่งพัฒนาบล็อกประสานที่เน้นการจัดแนวขอบแปลง ไม่ได้ออกแบบให้รับน้ำหนักสูงเช่น พื้นทางเดินหรือโครงสร้างหลัก การเลือกใช้ยางครัมป์จึงมีเป้าหมายเพื่อลดความหนาแน่น เพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้ง โดยไม่กระทบต่อความแข็งแรงในระดับที่

การใช้งานจริงต้องการ อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และโมเดล BCG (Bio-Circular-Green Economy) ที่มุ่งใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าสูงสุด และสร้างคุณค่าใหม่จากวัสดุเหลือใช้

อย่างไรก็ดี การนำยางครัมป์มาประยุกต์ใช้ในวัสดุก่อสร้างยังขาดการศึกษาที่เป็นระบบ ทั้งด้านประสิทธิภาพทางกายภาพและความเหมาะสมต่อการใช้งานในภูมิทัศน์จริง งานวิจัยนี้จึงตั้งคำถามหลัก 2 ประการ ได้แก่ (1) อัตราส่วนของยางครัมป์ที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกประสานซึ่งมีน้ำหนักเบา แต่ยังคงความต้านแรงอัดตามมาตรฐาน มอก. 3411-2565 และ (2) ความเหมาะสมของบล็อกประสานที่พัฒนาขึ้นต่อการใช้งานจริงในมุมมองของผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุและภูมิทัศน์ เพื่อตอบคำถามเหล่านี้ งานวิจัยจึงมุ่งเน้นการพัฒนาและทดสอบบล็อกประสานจากยางครัมป์ ทั้งในด้านความหนาแน่นและความต้านแรงอัด ตลอดจนการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อหาแนวทางการผลิตที่สามารถนำไปใช้ได้จริงในภาคสนามและต่อยอดสู่ระดับอุตสาหกรรม

2. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อพัฒนาบล็อกประสานโดยใช้ยางครัมป์เป็นวัสดุทดแทนบางส่วนในกระบวนการผลิต
- 2) เพื่อสรุปแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์บล็อกประสานสำหรับงานภูมิทัศน์

3. วิธีกรรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ยางครัมป์

ยางครัมป์ หรือยางผง (พงษ์ธร แซ่ฮุย, 2009) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำขยะยาง เช่น ยางล้อเก่า เศษยางที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต ไปผ่านกระบวนการบดโดยใช้เครื่องมือเชิงกลต่าง ๆ เช่น เครื่องแกรนูลเลเตอร์ (Granulator) เครื่องฟัลเวอร์ไรเซอร์ (Pulverizer) เครื่องบดกระแทก (Hammer Mill) เครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) โดยยางครัมป์เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้เป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตสินค้าหลากหลายประเภท ทั้งในอุตสาหกรรมยานยนต์และงานออกแบบพื้นผิว เช่น บล็อกปูพื้น พรมยาง และแผ่นยางรองพื้น โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อลดต้นทุนการผลิต เพิ่มคุณสมบัติเฉพาะด้านของผลิตภัณฑ์ และสนับสนุนแนวทางการรีไซเคิลวัสดุเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3.2 บล็อกประสานสำหรับงานภูมิทัศน์

บล็อกประสาน (ศุภกิจ ศรีเรือง, 2019) คือ วัสดุที่รองรับน้ำหนักที่ได้จากการพัฒนารูปแบบให้มีรูและเดือยบนตัวบล็อก เพื่อให้สะดวกในการก่อสร้าง สามารถก่อประสานได้ทั้งแนวนอนและแนวตั้ง ทำจากดินลูกรังผสมกับปูนซีเมนต์ และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสมอัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดแล้วนำมาบ่มให้บล็อกแข็งตัวประมาณ 10-14 วัน มีชนิดรับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนัก สำหรับในงานภูมิทัศน์นิยมนำมาใช้ในการตกแต่งสวน จึงเลือกใช้เป็นบล็อกประสานไม่รับน้ำหนัก (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2022) ซึ่งหมายถึง คอนกรีตบล็อกประสานใช้สำหรับผนังที่ออกแบบโดยไม่รับน้ำหนักบรรทุกนอกจากน้ำหนักตัวเอง ตาม มอก. 3411-2565 คุณสมบัติด้านความหนาแน่น กำหนดว่า น้ำหนักเบา (Light Weight) < 1,680 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร น้ำหนักปานกลาง (Medium weight) 1,680–1,999 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และน้ำหนักทั่วไป (Normal weight) ≥ 2,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนคุณสมบัติด้านความต้านแรงอัดสุทธิ (Net Compressive Strength Test) กำหนดว่าความต้านแรงอัดสุทธิแต่ละก้อนไม่น้อยกว่า 3.45 MPa

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประยุกต์ใช้ยางครัมป์ (Crumb Rubber) ในวัสดุก่อสร้างได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในงานคอนกรีตน้ำหนักเบา งานของ Azunna et al. (2024) กล่าวว่า การแทนที่วัสดุรวมด้วยยางครัมป์ร้อยละ 20 สามารถลดความหนาแน่นของคอนกรีตได้ถึง 8.79–9.34% อย่างไรก็ตาม ค่าความต้านแรงอัดกลับลดลงตามสัดส่วนยางที่เพิ่มขึ้น สาเหตุสำคัญมาจากความอ่อนตัวของเนื้อยางและการยึดเกาะที่ไม่สมบูรณ์กับปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ต้องคำนึงถึงในการใช้งานจริง สอดคล้องกับงานของ Kara De Maeijer et al. (2021) ที่ชี้ว่าอุปสรรคสำคัญของคอนกรีตผสมยางครัมป์คือ สมรรถนะทางกลที่ลดลง และได้เสนอแนวทางปรับปรุง เช่น การปรับสภาพผิวของยางครัมป์หรือการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตใหม่เพื่อชดเชยข้อด้อยนี้

ในบริบทของวัสดุทางเลือก Lim et al. (2024) ได้ทดลองนำยางครัมป์มาผสมในบล็อกดินอัดประสานแบบอินเตอร์ล็อก (Interlocking Compressed Earth Bricks: ICEBs) ซึ่งเป็นวัสดุเพื่อความยั่งยืน ผลการทดลองพบว่า ยางครัมป์ช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านแรงกระแทกของบล็อกได้อย่างชัดเจน แต่หากใช้เกินร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนัก จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลง

นอกจากยางครัมป์แล้ว วัสดุประสานอย่างโพลียูรีเทน (Polyurethane: PU) ยังถูกนำมาศึกษาร่วมเพื่อเพิ่มสมรรถนะของวัสดุผสม Haruna et al. (2025) รายงานว่า การเติม PU ในอัตรา 3–9% ในคอนกรีตสามารถเพิ่มความแข็งแรงทั้งด้านการอัด ดึง และตัดได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม หากใช้ในสัดส่วนสูงหรือในวัสดุที่มีความพรุนมาก อาจก่อให้เกิดช่องว่างภายในหรือการแตกร้าวหลังการขึ้นรูปได้ สอดคล้องกับข้อค้นพบที่ว่า พันธะเคมีของ PU กับวัสดุบางประเภท เช่น ปูนหรือดินลูกรัง อาจไม่เสถียรเมื่อไม่มีสารช่วยประสานเพิ่มเติม

สำหรับงานในประเทศไทย ญัฐพงศ์ นิธิอุทัย และคณะ (2553) ได้ศึกษาการใช้ยางครัมป์ร่วมกับ PU ในการผลิตแผ่นยางและเฟอร์นิเจอร์ พบว่า อัตราส่วน PU ที่เหมาะสมคือร้อยละ 35 โดยน้ำหนักของยางครัมป์ ซึ่งช่วยให้วัสดุขึ้นรูปได้ดี มีความแข็งแรง และยังช่วยลดต้นทุนการผลิต งานวิจัยนี้จึงน่าสนใจในฐานะที่เป็นการชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของ PU ในการยึดประสานวัสดุรีไซเคิล โดยมีการเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ใช้ น้ำ เป็นตัวประสาน เพื่อวัดผลด้านสมรรถนะเชิงกลอย่างชัดเจน

จากการทบทวนงานวิจัยข้างต้น จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่ยังเน้นการใช้ยางครัมป์ในคอนกรีตหรือวัสดุโครงสร้างทั่วไป ขณะที่การประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เพื่อภูมิทัศน์ เช่น บล็อกประสาน ยังไม่ค่อยปรากฏชัด โดยเฉพาะงานที่คำนึงถึงสมรรถนะเฉพาะด้าน เช่น ความหนาแน่นต่ำควบคู่กับค่าความต้านแรงอัดที่เหมาะสม งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายในการพัฒนาและประเมินบล็อกประสานจากยางครัมป์ที่ออกแบบมาเพื่อการใช้งานในภูมิทัศน์ โดยเน้นการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 3411-2565 และการประเมินความเหมาะสมจากผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุและเทคโนโลยีภูมิทัศน์

4. วิธีการศึกษา

4.1 การพัฒนาอัตราส่วนผสมของบล็อกประสาน

1) การจัดเตรียมวัตถุดิบ

(1) ยางครัมป์ ขนาด 40 เมช

(2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

(3) ดินลูกรังที่ผ่านการทำให้ละเอียด และสามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ได้

(4) น้ำประปาสะอาด

(5) Polyurethane

2) การผสมวัสดุดิบ

(1) ผสมปูนซีเมนต์ ดินลูกรัง และยางครัมป์ในอัตราส่วนทั้ง 13 อัตราส่วน (ตารางที่ 1)

(2) เติมน้ำประปาสะอาด 50% ของปริมาตรปูนซีเมนต์ที่ใช้ และทำการผสมให้วัสดุดิบทั้งหมดเข้ากัน เพียงพอสำหรับการขึ้นรูป

(3) สำหรับสูตรที่ใช้ Polyurethane เป็นตัวประสาน ให้ใส่ปริมาณ Polyurethane 35% ของยางครัมป์โดยน้ำหนัก และทำการผสมให้วัสดุดิบทั้งหมดเข้ากันเพียงพอสำหรับการขึ้นรูป

3) การขึ้นรูป

นำส่วนผสมที่ได้ในแต่ละสูตรเทลงในแม่พิมพ์บล็อกประสาน โดยใช้แม่พิมพ์ที่ออกแบบมาสำหรับขนาดกว้าง 12.5 cm. ยาว 25 cm. สูง 10 cm. และทำการกดเครื่องอัดบล็อกเพื่ออัดส่วนผสมให้เกิดความแน่นหนา โดยทำสูตรละ 3 ก้อน

4) การบ่ม

หลังจากขึ้นรูปบล็อกเสร็จ ให้ทำการบ่มโดยรดน้ำให้ความชื้น เพื่อให้ปูนซีเมนต์เซตตัวอย่างเต็มที่ คลุมบล็อกด้วยผ้าใบหรือแผ่นพลาสติก 28 วัน

5) การทดสอบทางวิศวกรรม

หลังจากการบ่มเสร็จสิ้น ผลิตภัณฑ์จะถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพโดยการทดสอบ ได้แก่ การชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่น และการวัดความแข็งแรงในการรับแรงอัด แล้วหาค่าเฉลี่ยในแต่ละสูตร เพื่อเทียบกับข้อกำหนดตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 3411-2565

6) สรุปผลชิ้นงานที่นำมาพัฒนา

สรุปผลตัวอย่างผลิตภัณฑ์ โดยเลือกจากผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้ยางครัมป์ในสัดส่วนที่มากที่สุด แต่ยังสามารถรับแรงอัดได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม เพื่อทำการประเมินความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์บล็อกประสานสำหรับงานภูมิทัศน์ (ภาพที่ 1 – 3)



ภาพที่ 1 กระบวนการร่อนดินลูกรังผ่านตะแกรงเบอร์ 4



ภาพที่ 2 การขึ้นรูปบล็อกประสานในเครื่องอัดบล็อก



ภาพที่ 3 การทดสอบการรับแรงอัด

4.2 การพัฒนาอัตราส่วนผสมของบล็อกประสาน

1) กำหนดกลุ่มเป้าหมายผู้เชี่ยวชาญ

คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างผู้เชี่ยวชาญจำนวน 10 คน ประกอบด้วย อาจารย์ด้านเทคโนโลยีภูมิทัศน์และภูมิสถาปัตยกรรม 2 คน ผู้รับเหมางานภูมิทัศน์ 3 คน นักพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ 3 คน ผู้ขายวัสดุภูมิทัศน์ 2 คน

2) ดำเนินการสัมภาษณ์และเก็บข้อมูล

ใช้แบบสอบถามถึงโครงสร้าง เพื่อประเมินผลิตภัณฑ์ใน 7 ด้าน ได้แก่ การออกแบบ พื้นผิว ความทันสมัย ความเหมาะสมกับการใช้งาน ความหลากหลายของการใช้งาน ความปลอดภัย และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยให้ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนในระดับ 1-5 คะแนน พร้อมแสดงความคิดเห็นเพิ่มเติมในแต่ละหัวข้อ ซึ่งผู้เชี่ยวชาญจะได้รับต้นแบบบล็อกประสานจาก 2 สูตรหลัก ได้แก่ สูตรที่ 1 (ควบคุม) และสูตรที่ 4 เพื่อใช้ในการประเมิน โดยเลือกจากสูตรที่สามารถขึ้นรูปได้และมีสมรรถนะเด่น

3) วิเคราะห์ผลการประเมิน

คำนวณค่าเฉลี่ยคะแนนของแต่ละด้าน และวิเคราะห์ข้อดีและข้อด้อยของผลิตภัณฑ์จากผลคะแนนและข้อเสนอแนะ

4) สรุปข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนา

ตารางที่ 1 อัตราส่วนการผสมปูนซีเมนต์ ดินลูกรัง ยางครีမ်ป์ และตัวประสาน

สูตรที่	อัตราส่วนผสม			
	ปูน	ดินลูกรัง	ยางครีမ်ป์	ตัวประสาน
1	1 (13.97%)	6 (83.8%)	-	น้ำเปล่า (2.23%)
2	2 (24.04%)	5 (60.1%)	1 (12.02%)	น้ำเปล่า (3.85%)
3	2 (23.95%)	5 (59.88%)	1 (11.98%)	POLYURETHANE (4.19%)
4	1 (24.04%)	2 (48.08%)	1 (24.04%)	น้ำเปล่า (3.85%)
5	1 (22.99%)	2 (45.98%)	1 (22.99%)	POLYURETHANE (8.05%)
6	1 (13.97%)	5 (69.83%)	1 (13.97%)	น้ำเปล่า (2.23%)
7	1 (13.61%)	5 (68.03%)	1 (13.61%)	POLYURETHANE (4.76%)
8	1 (13.97%)	4 (55.87%)	2 (27.93%)	น้ำเปล่า (2.23%)
9	1 (12.99%)	4 (51.95%)	2 (25.97%)	POLYURETHANE (9.09%)
10	3 (35.38%)	2 (23.58%)	3 (35.38%)	น้ำเปล่า (5.66%)
11	3 (33.15%)	2 (22.1%)	3 (33.15%)	POLYURETHANE (11.6%)
12	3 (28.63%)	3 (28.63%)	4 (38.17%)	น้ำเปล่า (4.58%)
13	3 (26.32%)	3 (26.53%)	4 (35.09%)	POLYURETHANE (12.28%)

หมายเหตุ: สัดส่วนโดยปริมาตร

5. ผลการศึกษา

จากการทดลองขึ้นรูปบล็อกประสานจำนวน 13 สูตร พบว่าสามารถขึ้นรูปได้สำเร็จ 8 สูตร ขณะที่สูตรที่ 5, 7, 9, 11 และ 13 ไม่สามารถขึ้นรูปได้ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 4 - 5) เนื่องจากการผสมโพลิยูรีเทน (PU) ร่วมกับยางครีบบีในสัดส่วนสูง ทำให้ส่วนผสมมีความหนืดและเหนียวเกินไป ส่งผลให้การกระจายตัวภายในแม่พิมพ์ไม่สม่ำเสมอ ไม่สามารถอัดแน่นและสร้างเนื้อวัสดุที่ต่อเนื่องได้เพียงพอ ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของ PU ที่แม้มีแรงยึดเกาะสูง แต่เมื่อใช้มากเกินไปจะลดการไหลตัวของส่วนผสมและทำให้การขึ้นรูปประสบความล้มเหลว

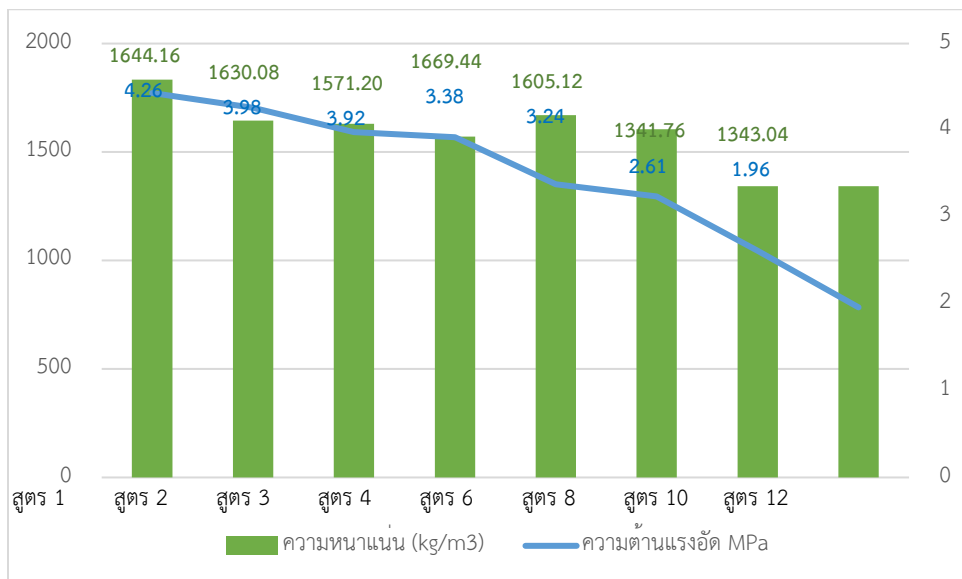
สำหรับสูตรที่ขึ้นรูปได้ การทดสอบทางกายภาพพบว่า สูตรควบคุม (สูตรที่ 1) มีน้ำหนักเฉลี่ย 5.728 กิโลกรัม และความหนาแน่น 1832.96 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อแทนที่วัสดุมวลรวมด้วยยางครีบบีในสูตรที่ 2-4, 6 และ 8 จะพบแนวโน้มการลดลงทั้งของน้ำหนักและความหนาแน่นอย่างต่อเนื่อง เช่น สูตรที่ 4 มีความหนาแน่นเพียง 1571.20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ลดลงราว 14% จากสูตรควบคุม ซึ่งสะท้อนถึงคุณสมบัติของยางครีบบีที่มีความหนาแน่นต่ำและไม่ดูดซึมน้ำ ช่วยให้อลูมิเนียมหนักเบา เหมาะสมกับการใช้งานในงานภูมิทัศน์ที่ไม่ต้องรับแรงมากนัก

ด้านความต้านแรงอัด พบว่าสูตรที่ 1 ให้ค่าแรงอัดสูงสุดที่ 4.43 MPa ขณะที่สูตรที่ 2-4 ยังคงให้ค่าแรงอัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 3411-2565 (≥ 3.45 MPa) โดยเฉพาะสูตรที่ 4 ซึ่งแม้จะมีน้ำหนักและความหนาแน่นลดลงมาก แต่ยังคงค่ากำลังอัดที่ 3.92 MPa แสดงถึงความสมดุลของอัตราส่วนผสมที่สามารถลดน้ำหนักผลิตภัณฑ์ได้โดยไม่สูญเสียสมรรถนะหลักเกินไป ในทางตรงกันข้าม สูตรที่มีสัดส่วนยางครีบบีสูง เช่น สูตรที่ 10 (2.61 MPa) และสูตรที่ 12 (1.96 MPa) ให้ค่ากำลังอัดต่ำกว่ามาตรฐาน ไม่เหมาะสมต่อการใช้งานจริง ซึ่งสามารถอธิบายได้จากความยืดหยุ่นและการยึดเกาะต่ำของยางครีบบีที่ทำให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อวัสดุและลดประสิทธิภาพในการถ่ายแรง

เมื่อพิจารณาด้านต้นทุนและการผลิตต่อวัน พบว่าสูตรที่ 1 มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีต้นทุนต่อก้อนเพียง 4.90 บาท และสามารถผลิตได้ 96 ก้อน/วัน ขณะที่สูตรที่ผสมยางครีบบีในระดับปานกลาง เช่น สูตรที่ 2-4 มีต้นทุนสูงชันอย่างชัดเจน โดยสูตรที่ 3 และ 4 มีต้นทุนสูงถึง 19.08 และ 14.95 บาทต่อก้อน และผลิตได้เพียง 14 และ 20 ก้อน/วัน ตามลำดับ ส่วนสูตรที่ 10 และ 12 แม้จะขึ้นรูปได้ แต่ไม่ผ่านเกณฑ์กำลังอัด อีกทั้งยังมีต้นทุนสูง (16.78 และ 14.50 บาทต่อก้อน) และให้ผลผลิตต่อวันต่ำสุด (10 และ 8 ก้อน) แสดงถึงข้อจำกัดของการใช้ยางครีบบีในสัดส่วนสูงเกินไป

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบบล็อกประสาน

สูตร	ผลการทดสอบ				ราคา ต้นทุน ต่อก้อน (บาท)	จำนวนการ ผลิต(ก้อนต่อ วัน)
	การขึ้นรูป	น้ำหนักเฉลี่ย (kg)	ความ หนาแน่น (kg/m ³)	ความต้าน แรงอัด MPa		
1	สามารถขึ้นรูปได้	5.728	1832.96	4.43	4.90	96
2	สามารถขึ้นรูปได้	5.138	1644.16	4.26	9.24	30
3	สามารถขึ้นรูปได้	5.094	1630.08	3.98	19.08	14
4	สามารถขึ้นรูปได้	4.910	1571.20	3.92	14.95	20
5	ไม่สามารถขึ้นรูปได้	-	-	-	-	-
6	สามารถขึ้นรูปได้	5.217	1669.44	3.38	7.78	29
7	ไม่สามารถขึ้นรูปได้	-	-	-	-	-
8	สามารถขึ้นรูปได้	5.016	1605.12	3.24	8.36	19
9	ไม่สามารถขึ้นรูปได้	-	-	-	-	-
10	สามารถขึ้นรูปได้	4.193	1341.76	2.61	16.78	10
11	ไม่สามารถขึ้นรูปได้	-	-	-	-	-
12	สามารถขึ้นรูปได้	4.197	1343.04	1.96	14.50	8
13	ไม่สามารถขึ้นรูปได้	-	-	-	-	-



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความหนาแน่นและความต้านแรงอัดของบล็อกประสานแต่ละสูตร



ภาพที่ 5 ต้นแบบผลิตภัณฑ์บล็อกประสานสำหรับงานภูมิทัศน์จากยางครัมป์ สูตรที่ 4

การประเมินความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์บล็อกประสานดำเนินการกับผู้เชี่ยวชาญจำนวน 10 คน ครอบคลุมกลุ่มอาจารย์ด้านเทคโนโลยีภูมิทัศน์และภูมิสถาปัตยกรรม ผู้รับเหมางานภูมิทัศน์ นักพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ และผู้เชี่ยวชาญวัสดุภูมิทัศน์ โดยใช้แบบสอบถามถึงโครงสร้าง ครอบคลุม 7 ด้าน ได้แก่ การออกแบบ พื้นผิว ความทันสมัย ความเหมาะสมกับการใช้งาน ความหลากหลายของการใช้งาน ความปลอดภัย และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ผู้เชี่ยวชาญได้รับต้นแบบบล็อกประสานจำนวน 2 สูตร คือ สูตรที่ 1 (ควบคุม) และ สูตรที่ 4 เพื่อใช้ในการประเมิน โดยสูตรที่ 1 เป็นสูตรมาตรฐานที่ไม่ผสมยางครัมป์ ใช้เพื่อเปรียบเทียบกับฐานควบคุม ส่วนสูตรที่ 4 ได้รับเลือกเพราะเป็นสูตรที่สามารถขึ้นรูปได้ น้ำหนักและความหนาแน่นลดลงจากสูตรควบคุมอย่างชัดเจน แต่ยังคงค่าความต้านแรงอัดให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 3411-2565 จึงสะท้อนสมรรถนะที่สมดุลระหว่างความเบาและความแข็งแรง เหมาะสมกับการใช้งานในงานภูมิทัศน์

จากผลการประเมิน (ภาพที่ 6) พบว่า ด้านที่ได้รับคะแนนสูงสุด คือ ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (4.9/5 คะแนน) และ ความปลอดภัย (4.4 คะแนน) สะท้อนถึงจุดแข็งในการใช้วัสดุรีไซเคิลที่ช่วยลดภาระต่อสิ่งแวดล้อม และสร้างความมั่นใจต่อผู้ใช้งาน ด้านความเหมาะสมกับการใช้งาน ได้คะแนนเฉลี่ย 3.7 คะแนน และ ความหลากหลายของการใช้งาน ได้ 3.4 คะแนน ผู้เชี่ยวชาญหลายท่านเห็นว่าผลิตภัณฑ์สามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงได้ เช่น การใช้ในพื้นที่จัดสวนหรือแนวขอบแปลง ด้านที่ควรพัฒนาเพิ่มเติม ได้แก่ พื้นผิว (2.7 คะแนน) โดยผู้เชี่ยวชาญแนะนำให้พัฒนาพื้นผิวให้เรียบเนียนขึ้นเพื่อเพิ่มคุณภาพและความสะดวกในการใช้งานจริง ขณะที่ ด้าน การออกแบบ (1.8 คะแนน) และ ความทันสมัย (1.8 คะแนน) ได้รับคะแนนต่ำสุด ผู้เชี่ยวชาญเสนอว่า ควรเพิ่มความโดดเด่นด้านรูปลักษณ์ เช่น การปรับปรุงทรง สี สีน หรือพื้นผิว เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สอดคล้องกับความต้องการของตลาดวัสดุก่อสร้างสมัยใหม่ที่เน้นความสวยงามและความร่วมสมัยมากขึ้น



ภาพที่ 6 ผลการประเมินความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน

6. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาบล็อกประสานแบบไม่รับน้ำหนักสำหรับงานภูมิทัศน์ โดยมีเป้าหมายเพื่อหาสูตรผสมที่ทำให้บล็อกมีน้ำหนักเบาจากการแทนที่วัสดุรวมด้วยยางครัมป์ ขณะเดียวกัน ยังคงค่ากำลังอัดให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 3411-2565 สำหรับบล็อกประสานไม่รับน้ำหนัก ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า สูตรที่ 4 (ปูนซีเมนต์ : ดินลูกรัง : ยางครัมป์ = 1 : 2 : 1, น้ำเปล่า) เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด โดยมีความหนาแน่นเพียง 1,571.20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ลดลงจากสูตรควบคุมราว 14% และยังคงค่ากำลังอัดที่ 3.92 MPa สูงกว่ามาตรฐานขั้นต่ำ (≥ 3.45 MPa) อย่างไรก็ตาม ต้นทุนต่อก้อนสูงถึง 14.95 บาท และสามารถผลิตได้เพียง 20 ก้อน/วัน ซึ่งแม้ไม่ประหยัดเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม แต่ถือว่าตอบสนององค์ประกอบข้อแรกในด้านการสร้างบล็อกประสานที่น้ำหนักเบา ที่ยังคงค่ากำลังอัดให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ในทางกลับกัน สูตรที่มีการเติมยางครัมป์ในปริมาณสูง เช่น สูตรที่ 10 และ 12 แม้ช่วยลดความหนาแน่นลงไปถึง 1,341–1,343 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่ค่ากำลังอัดลดต่ำกว่าเกณฑ์ (2.61 และ 1.96 MPa) และยังมีต้นทุนการผลิตสูง (16.78 และ 14.50 บาทต่อก้อน) พร้อมจำนวนการผลิตต่ำสุด (10 และ 8 ก้อน/วัน) สะท้อนให้เห็นข้อจำกัดเชิงเศรษฐศาสตร์และประสิทธิภาพการผลิตของการใช้ยางครัมป์ในสัดส่วนที่มากเกินไป ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับข้อค้นพบของ Khatib and Bayomy (1999) และ Azunna et al. (2024) ที่ระบุว่า เมื่อยางครัมป์มีสัดส่วนสูงเกินไปจะทำให้การยึดเกาะกับปูนซีเมนต์ไม่ดี เกิด void content สูง และนำไปสู่การลดทอนสมรรถนะทางกลจนไม่สามารถใช้งานได้จริง

นอกจากนี้ กลุ่มสูตรที่ใช้ โพลียูรีเทน (PU) เป็นตัวประสานก็สะท้อนข้อจำกัดที่ชัดเจนเช่นกัน แม้งานวิจัยก่อนหน้านี้ เช่น Haruna et al. (2025) ชี้ว่า PU สามารถเพิ่มสมรรถนะเชิงกลได้ แต่ผลการทดลองครั้งนี้พบว่าการใช้ PU ในสัดส่วน 35% ของน้ำหนักยางครัมป์ ทำให้หลายสูตรมีความหนืดสูงจนไม่สามารถขึ้นรูปได้ หรือหากขึ้นรูปได้ก็มีได้ให้ค่ากำลังอัดที่เหนือกว่าสูตรใช้น้ำเปล่า อีกทั้งยังมีต้นทุนเฉลี่ยสูงกว่า 3–4 เท่า จึงอาจสรุปได้ว่า

การใช้ PU ในบริบทของบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักสำหรับงานภูมิทัศน์ไม่เหมาะสมและไม่จำเป็น เพราะบทบาทหลักของยางครัมป์คือ การสร้างโพรงเพื่อลดน้ำหนัก ไม่ได้เน้นการยึดเกาะกับซีเมนต์โดยตรงเพื่อให้เห็นสูตรที่เหมาะสมและนำไปใช้ได้ จึงเสนอสูตรตั้งต้นสำหรับบล็อกประสานไม่รับน้ำหนัก คือ สัดส่วนปูนซีเมนต์ดินลูกรัง น้ำ 75-80% และยางครัมป์ 20-25% โดยปริมาตร โดยแนะนำให้ตั้งเป้าหมายที่ปูนซีเมนต์ 24% ดินลูกรัง 48-52% น้ำ 3-4% และยางครัมป์ 20-24% หากค่ากำลังอัดต่ำให้เพิ่มสัดส่วนปูนซีเมนต์ครั้งละ 2-3% เนื่องจากเป็นตัวประสานหลักและลดช่องว่างภายใน โดยคงสัดส่วนยางครัมป์ไม่เกิน 25% เมื่อประกอบพิจารณาผลประโยชน์ผู้เชี่ยวชาญ ที่สะท้อนว่ามีมิติด้านสุนทรียภาพยังไม่ตอบสนองต่อความต้องการของตลาด จึงควรพัฒนาแนวทางในด้านสุนทรียภาพภายใต้สัดส่วนที่ได้แนะนำ

7. ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรขยายการทดสอบคุณสมบัติด้านความทนทาน เช่น การดูดซึมน้ำ การสึกกร่อน และความต้านทานสภาพอากาศ เพื่อยืนยันศักยภาพของผลิตภัณฑ์ในการใช้งานจริงในงานภูมิทัศน์
- 2) ควรพิจารณาการพัฒนาต่อยอดโดยการแทนที่วัสดุบางส่วนด้วยวัสดุเหลือใช้อื่น เช่น แก้วฉีกหรือแก้วลอย และการออกแบบรูปลักษณ์และพื้นผิวให้สวยงามร่วมสมัย เพื่อเพิ่มความยั่งยืนและศักยภาพเชิงพาณิชย์ของผลิตภัณฑ์

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการยูว-วิสาหกิจเริ่มต้น (TED Youth Startup) ปี 2567 โปรแกรม Ideation โดยกองทุนพัฒนาผู้ประกอบการเทคโนโลยีและนวัตกรรม

9. เอกสารอ้างอิง

- ณัฐพงศ์ นิธิอุทัย, เอกวัฒน์ แซ่ลิ่ม, พรศิริ โต๊ะแอ, จักรพงษ์ รักษาพรหมณ์, อติยา โต๊ะสัน และวาทีณี ภาคอารีย์. (2553). *พัฒนาการใช้ประโยชน์จากยางครัมป์ (รายงานผลการวิจัย)*. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- พงษ์ธร แซ่อู. (2009). *เทคโนโลยีการรีไซเคิลยาง*.
http://mahidolrubber.org/lc_rtec/rubber_technology/2552_recycle_technology_rtec.pdf
- ศุภกิจ ศรีเรือง. (2019). *คู่มือการผลิตอิฐบล็อกประสาน*. https://e-cms.rmutl.ac.th/assets/upload/files/2019/11/20191121132000_96346.pdf
- สำนักงานที่ปรึกษาการเกษตรประจำสถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงจาการ์ตา. (2024). *รายงานสถานการณ์การค้าสินค้าเกษตร (Situation Report): ประจำเดือนพฤศจิกายน 2567*. สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. https://www.opsmoac.go.th/jakarta-situation_price-files-471891791811
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2022). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 3411-2565: คอนกรีตบล็อกประสานไม่รับน้ำหนัก*. กระทรวงอุตสาหกรรม.

- Azunna, S. U., Ede, A. N., Njoku, F. O., Opara, H. E., & Onyelowe, K. C. (2024). Review on the characteristic properties of crumb rubber concrete. *Cleaner Materials*, 12, 100237. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100237>
- Haruna, S. I., Mohammed, B. S., Liew, M. S., & Anwar, A. (2025). Sustainable polyurethane-based polymer concrete: Mechanical and non-destructive properties with machine learning technique. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 19, 41. <https://doi.org/10.1186/s40069-025-00803-2>
- Kara De Maeijer, P., Van den Bergh, W., & Rathod, H. (2021). Crumb rubber in concrete—The barriers for application in the construction industry. *Infrastructures*, 6(8), 116. <https://doi.org/10.3390/infrastructures6080116>
- Khatib, Z. K., & Bayomy, F. M. (1999). Rubberized Portland cement concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 11(3), 206–213. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1999\)11:3\(206](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1999)11:3(206)
- Lim, C. H., Mo, K. H., Tan, C. G., & Ling, T. C. (2024). Impact resistance assessment of interlocking compressed earth bricks (ICEB) incorporating crumb rubber. *Jurnal Teknologi (Science and Engineering)*, 86(1), 1–10. <https://doi.org/10.11113/jurnalteknologi.v86.20485>