



สมบัติทางกายภาพและทางกลของมอร์ตาร์ผสมขยะทะเลเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์

วันโชค เครือหงษ์^{1*} สามารถ นิพันธ์รัมย์¹ ปรัชญา ยอดดำรงค์¹ ศตวรรษ หฤหรรษ์พงษ์¹
และ ประชุม คำพุ่ม²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ เขตพื้นที่อุเทนถวาย,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

² ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: wunchock_kr@rmutto.ac.th

วันที่รับบทความ: 19 สิงหาคม 2567; วันที่ทบทวนบทความ: 9 พฤษภาคม 2568; วันที่ตอบรับบทความ: 30 พฤษภาคม 2568

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 19 สิงหาคม 2568

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้นำเสนอสมบัติทางกายภาพและทางกลของมอร์ตาร์ผสมขยะทะเลเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ โดยทำการเก็บขยะริมทะเลและคัดเลือกเฉพาะขวดพลาสติกมาทำการบดด้วยเครื่องบด สำหรับอัตราส่วนผสมซีเมนต์มอร์ตาร์ต่อหินปูนในอัตราส่วน 1: 4 โดยน้ำหนัก ผสมขยะพลาสติกบดในอัตราร้อยละ 3 6 และ 9 โดยน้ำหนักทั้งหมด และใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 จากนั้นทดสอบหน่วยน้ำหนัก การดูดซึมน้ำ ความพรุน กำลังอัด การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาพบว่า หน่วยน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมพลาสติกบดมีค่าลดลงด้วยการแทนที่เพิ่มขึ้นของขยะพลาสติกบด การใช้ขยะพลาสติกบดผสมในซีเมนต์มอร์ตาร์ส่งผลให้การดูดซึมน้ำและความพรุนเพิ่มด้วยการแทนที่เพิ่มขึ้นของปริมาณขยะพลาสติก การใช้ขยะพลาสติกบดร้อยละ 6 ของน้ำหนักทั้งหมดผสมในซีเมนต์มอร์ตาร์และหินปูนสามารถพัฒนาขึ้นรูปกระถางต้นไม้ การใช้ประโยชน์จากขยะพลาสติกจากทะเลพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืน เป็นการสร้างเศรษฐกิจหมุนเวียนและช่วยลดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: ขยะทะเล; พลาสติก; โครงสร้างระดับจุลภาค; เศรษฐกิจหมุนเวียน

Physical and Mechanical Properties of Mortar Containing Marine Waste for Product Development

Wunchock Kroehong^{1*}, Samart Nipunram¹, Pruchaya Yoddumrong¹,
Sattawat Haruehansapong¹ and Prachoom Khamput²

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Uthenthawai Campus,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok

² Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

* Corresponding author, E-mail: wunchock_kr@rmutto.ac.th

Received: 19 August 2024; Revised 9 May 2025; Accepted: 30 May 2025

Online Published: 19 August 2025

Abstract: This paper presents the physical and mechanical properties of mortar mixed with marine waste for product development. Marine debris was collected from coastal areas, and only plastic bottles were selected and crushed using a grinding machine. The cement-to-stone dust ratio was fixed at 1:4 by weight, with crushed plastic waste added at 3%, 6%, and 9% by total weight. The water-to-cement ratio was maintained at 0.4. The unit weight, water absorption, porosity, compressive strength, and microstructural analysis using a Scanning Electron Microscope (SEM) were tested. The most suitable mixture ratio was then used to form a prototype product. The study found that the unit weight of cement mortar decreased as the replacement level of crushed plastic waste increased. The incorporation of crushed plastic waste also led to higher water absorption and porosity with increasing plastic content. Using 6% crushed plastic waste by total weight in the cement mortar and stone dust mixture proved suitable for producing plant pots. This utilization of marine plastic waste to develop sustainable products promotes a circular economy and helps mitigate environmental impacts.

Keywords: Marine waste; Plastic; Microstructure; Circular economy



1. บทนำ

ปริมาณขยะพลาสติกทั่วโลกเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในทศวรรษที่ผ่านมา จากการศึกษาพบว่า โลกผลิตขยะพลาสติกมากถึง 350 ล้านตันต่อปี สำหรับประเทศไทยมีขยะพลาสติกประมาณ 2 ล้านตันต่อปีหรือประมาณร้อยละ 12 ของปริมาณขยะทั้งหมด การนำขยะพลาสติกกลับไปใช้ประโยชน์เฉลี่ยประมาณปีละ 0.5 ล้านตัน ส่วนที่เหลือ 1.5 ล้านตัน การกำจัดโดยวิธีการฝังกลบใช้เวลาย่อยสลายเป็นร้อยปีซึ่งใช้พื้นที่ในการฝังกลบปริมาณมากอย่างไรก็ตามจะมีขยะพลาสติกไม่ได้ถูกจัดเก็บอย่างถูกต้อง เป็นขยะลอยในแม่น้ำ ลำคลอง บางส่วนไหลลงสู่ทะเลก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางทะเล จากข้อมูลของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง พบว่าขยะทะเล 3 อันดับแรก ได้แก่ ขวดพลาสติก ถุงพลาสติก และขวดแก้วร้อยละ 22.00, 19.42 และ 10.96 ตามลำดับ ขยะทะเลโดยเฉพาะขยะพลาสติกมีผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลในหลายด้านดังต่อไปนี้ ผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเล โดยขยะพลาสติกสามารถเข้าไปแทรกแซงและทำลายที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตทางทะเล เช่น ปะการัง หอยทะเล และไขดหิน [1] ขยะพลาสติกที่แตกตัวเป็นไมโครพลาสติก สามารถถูกกินโดยแพลงก์ตอนและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ซึ่งจะเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารและสะสมในตัวสัตว์ ทำให้มีการสะสมสารพิษในระบบนิเวศทางทะเล ผลกระทบต่อสัตว์มีผลต่อการปนเปื้อนของสัตว์ทะเล โดยทำให้สัตว์บางชนิดไม่สามารถวางไข่ได้และผลกระทบต่อคนด้านการท่องเที่ยวในพื้นที่ชายฝั่งที่มีขยะทะเลปริมาณมาก [2] และไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในอาหารทะเลสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์และมีผลกระทบต่อสุขภาพ [3] การจัดการขยะพลาสติกใน

ประเทศไทยด้วยนโยบาย 3Rs คือการลดการใช้พลาสติก การใช้พลาสติกซ้ำ และการรีไซเคิลพลาสติก [4] เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีนักวิจัยการใช้ประโยชน์ขยะพลาสติก

บรรณกร ชันตา และคณะ [5] ศึกษากำลังและความต้านทานการขัดสีของคอนกรีตที่ใช้เศษขยะพลาสติกโดยใช้ขยะพลาสติก PVC PP และ PET แทนที่มวลรวมละเอียดร้อยละ 10 20 และ 30 โดยปริมาตร พบว่ามีกำลังอัด กำลังดัดและกำลังดึงแบบผ่าซีกต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ และเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยมวลรวมเศษพลาสติกมากขึ้นทำให้กำลังอัด กำลังดัดและกำลังดึงแบบผ่าซีกยิ่งลดต่ำลง Prachoom Khamput และ คณะ [6] การใช้ขยะพลาสติกเป็นส่วนผสมในคอนกรีตสำหรับทำกระถางต้นไม้พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมใช้ขยะพลาสติกร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเศษขยะพลาสติกของโรงงาน ช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกที่ต้องนำไปกำจัดทิ้ง และลดการก่อกมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และในปี 2024 งานวิจัยของ Prachoom Khamput และ คณะ [7] ศึกษาพัฒนาบล็อกประสานจากเศษขวดน้ำพลาสติกผสมหินฝุ่นโดยนำพลาสติกที่ย่อยแทนที่มวลรวมร้อยละ 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยปริมาตรมวลรวม พบว่าการแทนที่ทรายด้วยพลาสติกที่ย่อยร้อยละ 2 โดยปริมาตรกำลังอัดมากกว่า 40 เมกะปาสคาลผ่านเกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

การศึกษาการใช้ประโยชน์ขยะทะเลมีการศึกษาขยะทะเลเพื่อประยุกต์ใช้กับงานแอสฟัลต์คอนกรีตโดยนำขยะทะเลมาย่อยให้มีขนาดเล็กและนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 30 และค้ำบนตะแกรงเบอร์ 50 แล้วนำพลาสติกและเศษแก้วซึ่งเป็นขยะทะเลผสมวัสดุมวล



รวมละเอียดในแอสฟัลต์คอนกรีตพบว่าคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวงและสามารถนำมาใช้เป็นทางเลือกในการลดปริมาณขยะทะเลในงานทางวิศวกรรมได้อีกทางหนึ่งด้วย [8] และในปี 2567 มีนักวิจัย Soares et al. [9] ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้บล็อกคอนกรีตที่ผลิตจากขยะพลาสติกทางทะเลสำหรับใช้งานในการก่อสร้าง โดยใช้พลาสติกร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนักพบว่าบล็อกที่มีส่วนผสมของพลาสติกร้อยละ 5 มีความแข็งแรงในการรับแรงอัดที่ดีและมีน้ำหนักเบาเหมาะสมสำหรับการก่อสร้างบ้านชั้นเดียว

จากงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่เป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของผสมมอร์ตาร์หรือคอนกรีตผสมขยะพลาสติก แต่การศึกษามอร์ตาร์ผสมขยะพลาสติกเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ยังมีน้อยมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำ ความพรุน หน่วยน้ำหนัก กำลังอัด และวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาคของมอร์ตาร์ผสมขยะพลาสติกจากทะเลเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์กระถางต้นไม้ที่ชุมชนสามารถขึ้นรูปได้ง่ายและวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเพื่อให้ชุมชนทราบสามารถจำหน่าย อย่างไรก็ตาม แผนกลยุทธ์การจัดการขยะพลาสติก พ.ศ. 2561 – 2573 โดยมุ่งเน้นการลดการใช้พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว การส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิง และการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมมาใช้ในการจัดการขยะพลาสติก เพื่อสร้างความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรและลดผลกระทบทางลบต่อสิ่งแวดล้อม

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ

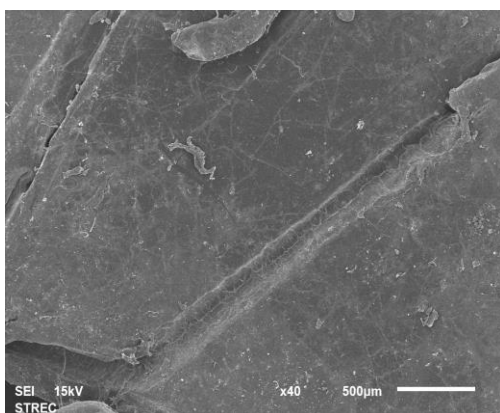
1. ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกตามมาตรฐานคุณภาพ มอก.2594-2556
2. หินฝุ่นมีขนาด 3-4 มิลลิเมตร จากเหมืองหิน จังหวัดสระบุรี
3. ขยะทะเล ร่วมเก็บขยะทะเลกิจกรรมรักษ์ทะเลวันสิ่งแวดล้อมโลก จ. ชลบุรี แสดงดังรูปที่ 1 ขยะทะเลที่เก็บแล้วคัดเลือกเฉพาะเป็นขวดพลาสติกประเภท Polyethylene Terephthalate (PET) มาล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วย่อยลดขนาดด้วยเครื่องบดพลาสติก โดยขยะส่วนที่เหลือทางหน่วยงานท้องถิ่นนำไปกำจัดต่อแสดงในรูปที่ 2 ขยะทะเลที่ผ่านการย่อย เมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายขยายมีลักษณะผิวเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) มีขนาด 3-4 มิลลิเมตร



รูปที่ 1 ขยะทะเลที่เก็บมาบดย่อย



(ก) ขยะทะเลที่ผ่านการย่อย



(ข) ภาพถ่ายขยายขยะทะเล
รูปที่ 2 ขยะทะเลที่ผ่านการย่อย

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของหินฝุ่นและขยะทะเลพบว่าความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนักและโมดูลัสความละเอียดของหินฝุ่นเท่ากับ 2.69 1,654 และ 3.63 ตามลำดับ สำหรับขยะทะเลมีความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนักและโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 1.31 562 และ 2.87 ตามลำดับ

2.2 อัตราส่วนผสม

ตารางที่ 2 อัตราส่วนของตัวอย่างโดยน้ำหนัก โดยผสมปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกต่อหินฝุ่นในอัตราส่วน 1 ต่อ 4 โดยน้ำหนักและผสมขยะทะเลในอัตราส่วนร้อยละ 3 6 และ 9 โดยน้ำหนักทั้งหมดของส่วนผสม [7] กำหนดอัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 ที่มีความชื้นเหลวสามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แบบการกระทุ้งอัดแน่น

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพของหินฝุ่นและขยะทะเล

Properties	Specific Gravity	Unit Weight (kg/m ³)	Fineness Modulus
Stone Dust	2.69	1,654	3.63
Marine Plastic	1.31	562	2.87

ตารางที่ 2 อัตราส่วนของตัวอย่าง

Mix	Cement (g)	Stone dust (g)	Plastic (g)	W/C
CT	1000	4000	0	0.4
3MP	1000	4000	150	0.4
6MP	1000	4000	300	0.4
9MP	1000	4000	450	0.4

2.3 การทดสอบ

2.3.1 หน่วยน้ำหนักการดูดซึมน้ำและความพรุน

ตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด $100 \times 100 \times 100$ มิลลิเมตร หลังจากบ่มตัวอย่างที่อายุ 28 วัน การทดสอบหน่วยน้ำหนักทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C138 การดูดซึมน้ำและความพรุนทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 642

2.3.2 กำลังอัด

หล่อตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด $100 \times 100 \times 100$ มิลลิเมตร บ่มตัวอย่างในสภาวะอุณหภูมิห้อง ทดสอบกำลังอัดที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C109

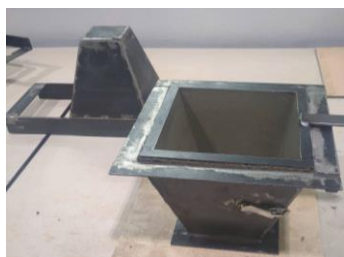
2.3.3 โครงสร้างระดับจุลภาค

การทดสอบโครงสร้างจุลภาคของมอร์ตาร์ที่อายุการบ่ม 28 วัน เพื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาคการยึดเกาะและรอยต่อของซีเมนต์เพสต์กับพลาสติกเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการทำวิจัย โดยนำตัวอย่างขนาดเล็กๆ ที่อยู่ตรงกลางของก้อนตัวอย่าง แล้วนำตัวอย่างหยุดปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยนำตัวอย่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงไปทดสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยวิธีกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscopy หรือ SEM)

โดยนำชิ้นตัวอย่างไปเคลือบผิวด้วยทองคำ และไปทดสอบถ่ายภาพขยายอนุภาคกำลังสูง

2.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

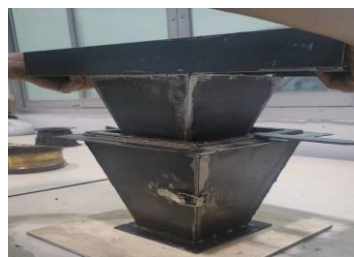
การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สำหรับในงานวิจัยนี้เป็นกระถางต้นไม้เพราะชุมชนสามารถทำได้ไม่ยุ่งยากต่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และสามารถนำไปจำหน่ายได้ โดยเลือกรูปแบบและขนาดของผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักไม่มากไม่ต้องใช้เครื่องจักรสามารถขึ้นรูปด้วยแรงงานคน สำหรับอัตราส่วนที่เหมาะสมทำการขึ้นรูปเป็นกระถางต้นไม้ทำการเลือกจากผลการทดลองรูปที่ 3 (ก) แสดงแบบหล่อกระถางต้นไม้ทำด้วยแผ่นเหล็กประกอบด้วย 2 ชั้นคือแบบภายนอกและแบบภายใน สำหรับขั้นตอนการขึ้นรูปผสมปูนซีเมนต์ หิน ฝุ่น และขยะทะเลเข้ากันให้ดี การขึ้นรูปกระถางต้นไม้ให้ทรายแบบหล่อขึ้นแล้วนำซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผสมเทใส่ในแบบหล่อแบ่งออกเป็น 3 ชั้น แล้วอัดแน่นด้วยการกระทุ้งด้วยไม้โดยรอบจนกระทั่งเต็มแบบหล่อแล้วปาดให้เรียบแสดงในรูปที่ 3 (ข) ส่วนการถอดแบบหล่อให้กลับด้านของกระถางต้นไม้โดยให้ด้านปากกระถางหงายขึ้นแล้วจึงถอดแบบหล่อแสดงในรูปที่ 3 (ค) นำกระถางต้นไม้บ่มในสภาวะอุณหภูมิห้อง



(ก) แบบหล่อกระถางต้นไม้



(ข) การอัดขึ้นรูปด้วยการกระทุ้ง



(ค) แบบหล่อกระถางต้นไม้

รูปที่ 3 การขึ้นรูปเป็นกระถางต้นไม้



3. ผลและการอภิปรายผล

3. หน่วยน้ำหนัก

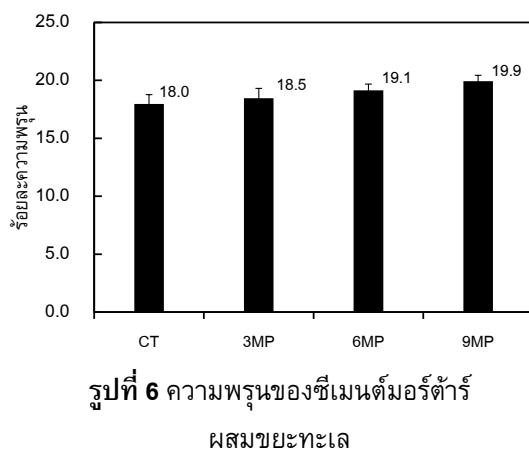
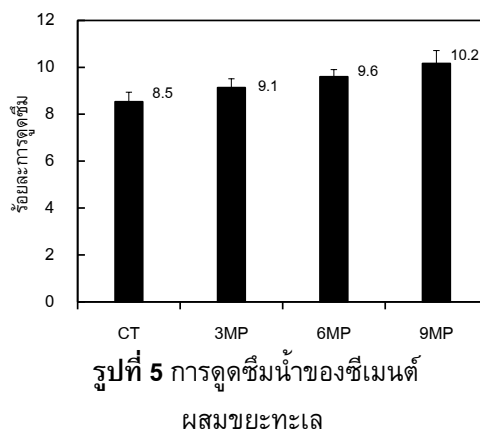
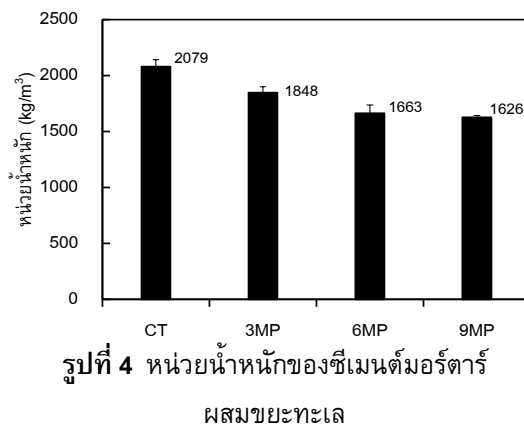
หน่วยน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมขยะทะเลแสดงในรูปที่ 4 พบว่าหน่วยน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ตาร์ CT 3MP 6MP และ 9MP มีค่าเท่ากับ 2,079 1,848 1,663 และ 1,626 กก./ม.³ ตามลำดับ การผสมขยะทะเลในซีเมนต์มอร์ตาร์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพลาสติกมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์นำไปสู่การลดลงของหน่วยน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมขยะทะเลสอดคล้องกับการศึกษาของ Kunthawatwong et al. [10]

3.2 การดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมขยะทะเลแสดงในรูปที่ 5 พบว่าซีเมนต์มอร์ตาร์ CT 3MP 6MP และ 9MP มีค่าการดูดซึมน้ำที่อายุการบ่ม 28 วันเท่ากับ 8.5 9.1 9.6 และ 10.2 ตามลำดับ การดูดซึมน้ำของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมขยะทะเลมีค่าเพิ่มขึ้นตามการแทนที่ด้วยขยะทะเล การเพิ่มขึ้นของการดูดซึมน้ำเนื่องจากขยะทะเลซึ่งเป็นพลาสติกจะมีรูปร่างเรียบทำให้การยึดเกาะที่ระหว่างพลาสติกและซีเมนต์นำไปสู่ปริมาณโพรงที่มากขึ้น [11] อีกประการหนึ่งพลาสติกจะมีรูปร่างแบนการแทนที่ในปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการทำงานได้ลดลงส่งผลให้มีความพรุนสูงและความสามารถในการดูดซึมน้ำของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมขยะทะเลมีค่าเพิ่มขึ้น [10]

3.3 ความพรุน

รูปที่ 6 ความพรุนของซีเมนต์ผสมขยะทะเลพบว่าความพรุนของซีเมนต์ควบคุมมีค่าเท่ากับ 18.0 และเมื่อผสมขยะทะเลร้อยละ 3 6 และ 9 ของน้ำหนักทั้งหมดมีค่าความพรุนเท่ากับ 18.5 19.1 และ 19.9 ตามลำดับ

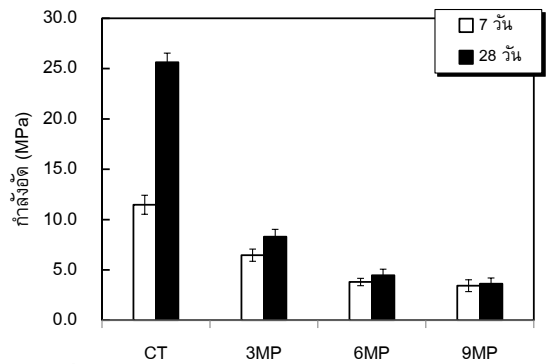




เนื่องจากการผสมพลาสติกในปริมาณมากส่งผลให้การยึดเกาะระหว่างพลาสติกและซีเมนต์เพสต์ต่ำนำไปสู่การเกิดช่องว่างในซีเมนต์เพสต์ทำให้ปริมาณความพรุนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Kunthawatwong et al. [10] ศึกษาพลาสติกจากขวดน้ำมาย่อยผสมในซีเมนต์มอร์ตาร์ทำให้ปริมาณความพรุนมีค่าเพิ่มขึ้น

3.4 กำลังอัด

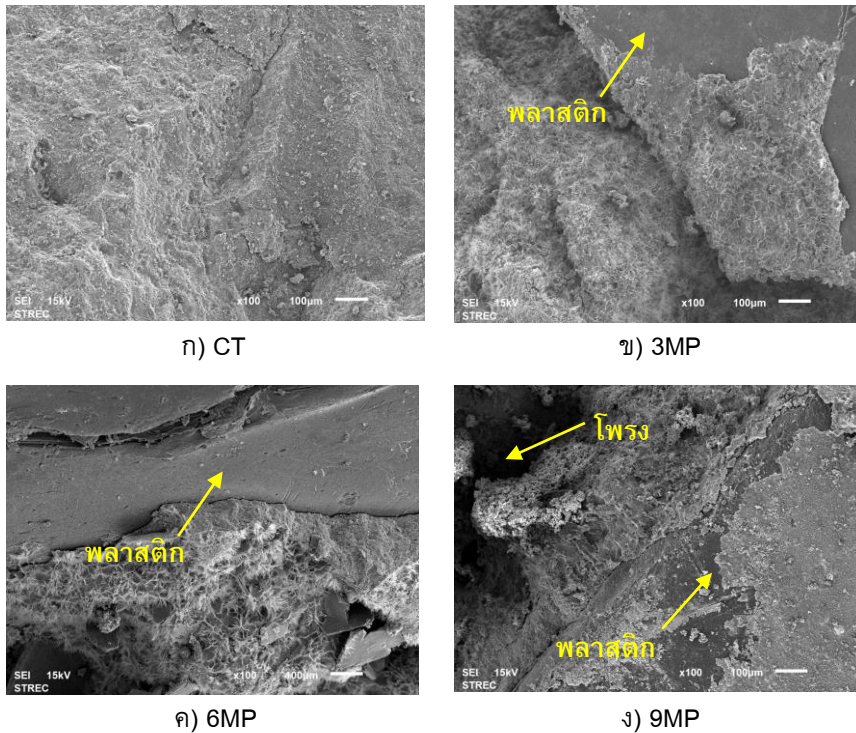
รูปที่ 7 กำลังอัดของซีเมนต์ผสมขยะทะเลพบว่าซีเมนต์มอร์ตาร์ควบคุมโดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์เมนต์ต่อหินผุ 1 ต่อ 4 มีกำลังอัดที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 11.5 และ 25.6 เมกะปาสคาล สำหรับกำลังซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมขยะทะเลกำลังอัดที่อายุ 7 วันของ 3MP 6MP และ 9MP เท่ากับ 6.5 3.8 และ 3.4 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ส่วนการบ่มที่อายุ 28 วัน ของ 3MP 6MP และ 9MP เท่ากับ 8.3 4.5 และ 3.6 เมกะปาสคาล ตามลำดับ กำลังอัดมีค่าลดลงด้วยการผสมขยะทะเลในปริมาณที่เพิ่มขึ้น การลดลงของกำลังอัดเนื่องจากการใช้ขยะทะเลซึ่งเป็นพลาสติกทำให้การยึดเหนี่ยวระหว่างพลาสติกและเพสต์มีค่าต่ำ [12, 13] และการใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ต่ำส่งผลให้ความสามารถในการทำงานได้ต่ำจึงจำเป็นต้องมีการกระทุ้งซีเมนต์มอร์ตาร์เพื่อลดช่องว่าง อย่างไรก็ตามมาตรฐาน ASTM C129 คอนกรีตบล็อกที่ไม่รับน้ำหนักกำหนดกำลังอัดไว้ต้องไม่น้อยกว่า 4.14 เมกะปาสคาล ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการใช้ขยะทะเลร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก สามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ได้



รูปที่ 7 กำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมขยะทะเล

3.5 โครงสร้างจุลภาค

รูปที่ 8 ภาพถ่ายขยายของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมขยะทะเลพบว่าซีเมนต์มอร์ตาร์ควบคุมมีความแน่น จากการสังเกตพบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) มีลักษณะเป็นแผ่นและแคลเซียมทรอกไซด์และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate; C-S-H) ทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานเป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญของปฏิกิริยาไฮเดรชันส่งผลต่อกำลังอัด แสดงในรูปที่ 8 (ก) สำหรับซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมขยะทะเลแสดงใน รูปที่ 8 (ข)-(ง) มีลักษณะความพรุนสูงกว่าคอนกรีตบล็อกควบคุม นอกจากนั้นพบผลิตภัณฑ์คล้ายกับเข็มเป็นส่วนของเอททริงไกต์ (Ettringite) เมื่อพิจารณาการยึดเกาะระหว่างพลาสติกขยะทะเลซึ่งมีผิวเรียบและซีเมนต์เห็นได้อย่างชัดเจนว่าจะมีรอยต่อของการยึดซึ่งเป็นปัจจัยหลักต่อกำลังอัดที่ลดลง และเมื่อพิจารณา รูปที่ 8 (ง) เป็นอัตราส่วนที่พลาสติกในปริมาณมากที่สุดจะพบว่าปริมาณโพรงที่ค่อนข้างมากและมีขนาดใหญ่ส่งผลให้การดูดซึมน้ำและความพรุนมีค่าเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันทำให้หน่วยน้ำหนักและกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์มีค่าลดลงสอดคล้องกับผลการทดสอบ

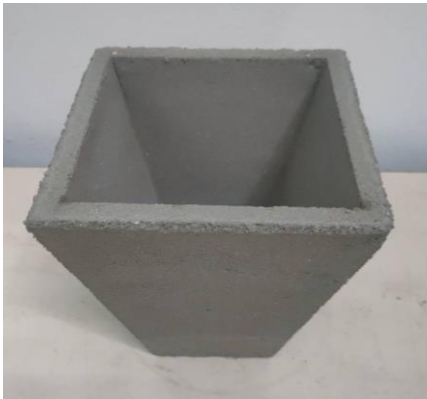


รูปที่ 8 ภาพถ่ายขยายของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมขยะทะเล

3.6 การขึ้นรูปกระถางต้นไม้

การวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบหน่วยน้ำหนัก การดูดซึมน้ำ ความพรุน กำลังอัด และโครงสร้างจุลภาค พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมขยะทะเล โดยใช้อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ต่อหินปูน 1:4 ผสมขยะทะเลร้อยละ 6 โดยน้ำหนักทั้งหมดของวัสดุผสม แสดงในรูปที่ 9 สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนราคาของกระถางต้นไม้ผสมพลาสติกทะเล กระถางต้นไม้ 1 กระถางจะมีน้ำหนัก 3.65 กิโลกรัม โดยใช้ปูนซีเมนต์ 0.686 กิโลกรัม หินปูน 2.74 กิโลกรัม และขยะทะเล 0.219 กิโลกรัม ส่วนค่าแรงงานมีค่าน้อยขยะทะเลและการขึ้นรูปกระถางต้นไม้ใช้แรงงานเพียง 1 คนได้

ส่วนระบบการผลิตขึ้นรูปเป็นแบบการกระทุ้งอัดแน่น โดยอัตราการผลิต 1 ชั่วโมงสามารถผลิตได้ 10 ชิ้นต่อ 1 แบบหล่อ ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ต้นทุนราคาของกระถางต้นไม้ผสมขยะทะเลพบว่าค่าวัสดุประมาณ 2 บาทต่อชิ้นค่าแรงประมาณ 5 บาทต่อชิ้นและงานวิจัยที่ผ่านมา [14] ต้นทุนน้ำประปาใช้ล้างพลาสติกและไฟฟ้าสำหรับย่อยพลาสติกทำผลิตภัณฑ์บล็อกปูพื้นซึ่งมีน้ำหนักต่อชิ้นใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ประมาณ 0.25 บาทต่อชิ้น รวมราคาต่อชิ้นประมาณ 7.25 บาทต่อชิ้น อย่างไรก็ตามการสนับสนุนให้ชุมชนใช้ขยะทะเลผสมซีเมนต์มอร์ตาร์พัฒนาเป็นกระถางต้นไม้สามารถสร้างเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) การออกแบบ



(ก) ภาพถ่ายด้านบน



(ข) ภาพถ่ายด้านข้าง

รูปที่ 9 ตัวอย่างกระถางต้นไม้ผสมขยะทะเล

ผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืน (Sustainable Design): สร้างระบบการจัดเก็บและรีไซเคิลที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดขยะพลาสติกในทะเล เช่น พื้นที่ชายฝั่งและแหล่งน้ำต่าง ๆ การจัดการขยะพลาสติกอย่างมีประสิทธิภาพ (Efficient Waste Management) พัฒนาระบบการจัดการขยะที่สามารถเก็บรวบรวมและจัดการขยะพลาสติกก่อนที่จะหลุดออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการจัดการขยะในเขตเมืองและพื้นที่ชายฝั่ง การฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม (Environmental Restoration): ดำเนินโครงการเก็บขยะพลาสติกจากทะเลและฟื้นฟูพื้นที่ทางทะเลที่ได้รับผลกระทบจากขยะพลาสติก เช่น การจัดตั้งกลุ่มอาสาสมัครเพื่อทำความสะอาดชายหาดและแหล่งน้ำ การนำหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนมาใช้ในการจัดการพลาสติกในทะเล จะช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกในทะเล ฟื้นฟูสภาพแวดล้อมทางทะเล และสร้างระบบการใช้ทรัพยากรที่ยั่งยืนมากขึ้น [15]

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ต้นทุนราคาของกระถางต้นไม้ผสมขยะทะเล

วัสดุต่อชิ้น [กก.(บาท)]			ค่าแรง ไฟฟ้า/ ราคาต่อชิ้น ประปา ต่อชิ้น		
ปูนซีเมนต์	หินฝุ่น	ขยะ			
0.69(2.2)	2.74(0.0625)	0.22(-)	5	0.25	7.25

4. สรุปผล

1. หน่วยน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมขยะทะเลลดลงด้วยการแทนที่เพิ่มขึ้นของขยะทะเลเนื่องจากความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์
2. การใช้ขยะทะเลผสมในซีเมนต์มอร์ตาร์ส่งผลให้การดูดซึมน้ำ และความพรุนเพิ่มด้วยการแทนที่เพิ่มขึ้นของปริมาณขยะทะเล
3. การใช้ขยะทะเลย่อยร้อยละ 6 ของน้ำหนักทั้งหมดผสมในซีเมนต์มอร์ตาร์และหินฝุ่นสามารถพัฒนาขึ้นรูปกระถางต้นไม้



4. การให้ชุมชนเก็บขยะทะเลสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถจำหน่ายได้เป็นการสร้างเศรษฐกิจหมุนเวียน เป็นกระถางต้นไม้ช่วยแก้ปัญหาขยะทะเลและปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้สร้างรายได้ให้กับชุมชนเป็นการส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียนให้กับชุมชน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก งบประมาณภายนอก เลขที่สัญญาทุน น.สกว 31/2566 คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาบันดุษฎีบัณฑิตกิตติมศักดิ์ เขตพื้นที่ อุเทนถวาย สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาที่อนุเคราะห์วัสดุและเครื่องมือในการดำเนินการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] M.R. Gregory, Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions, *Philosophical Transactions B*, 2009, 364(1526), 2013-2025.
- [2] S. Newman, E. Watkins, A. Farmer, P.t. Brink and J.-P. Schweitzer, *The economics of marine litter, Marine Anthropogenic Litter*, Springer, Cham, Switzerland, 2015.
- [3] K.D. Cox, G.A. Covernton, H.L. Davies, J.F. Dower, F. Juanes and S.E. Dudas, Human Consumption of Microplastics, *Environmental Science and Technology*, 2019, 53(12), 7068-7074.
- [4] N. Wichai-utcha and O. Chavalparit, 3Rs Policy and plastic waste management in Thailand, *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 2019, 21(1), 10-22.
- [5] B. Khanta, B. Kaewprachum, A. Kittanan and L. Prak, T. Chueasawat and T. Samranwanit, Strength and abrasion resistance of concrete using plastic waste as partially fine aggregate replacement, *The 27th National Civil Engineering Conference, Proceeding*, 2022, 1-6. (in Thai).
- [6] R. Khamput, K. Somna, T. Tochai and R. Somna, Using plastic waste from the curtain assembly plant as an ingredient in concrete for plant pots, *The 27th National Civil Engineering Conference, Proceeding*, 2022, 1-7. (in Thai).
- [7] P. Khamput, S. Haruehansapong, W. Sittigool, T. Prasertsri, P. Yoddumrong and P. Sanit-in, Development of paving interlocking block from plastic bottle wastes with dust stone, *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, 2024, 34(3), 1-13. (in Thai).
- [8] C. Yaibok, P. Suwanno and P. Jitpetchan, Properties of asphaltic concrete mixed with marine debris, *The 27th National Civil Engineering Conference, Proceeding*, 2022, 1-9. (in Thai).



- [9] H.L.C. Soares, P.K.G. Choueri and A.R. Santos, Feasibility study of the use of concrete blocks produced from plastic marine garbage for use in civil construction, *Environmental Science and Pollution Research*, 2024, 31(19), 28418-28427.
- [10] R. Kunthawatwong, L. Sylisomchanh, S. Pangdaeng, A. Wongsas, V. Sata, P. Sukontasukkul and P. Chindaprasit, Recycled non-biodegradable polyethylene terephthalate waste as fine aggregate in fly ash geopolymer and cement mortars, *Construction and Building Materials*, 2022, 328, 127084.
- [11] E.A. Ohemeng and S.O. Ekolu, Strength prediction model for cement mortar made with waste LDPE plastic as fine aggregate, *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 2019, 8(4), 228-243.
- [12] M. Hacini, A.S. Benosman, N. Kazi Tani, M. Mouli, Y. Senhadji, A. Badache and N. Latroch, Utilization and assessment of recycled polyethylene terephthalate strapping bands as lightweight aggregates in Eco-efficient composite mortars, *Construction and Building Materials*, 2021, 270, 121427.
- [13] M.J. Islam, M.S. Meherier and A.K.M.R. Islam, Effects of waste PET as coarse aggregate on the fresh and harden properties of concrete, *Construction and Building Materials*, 2016, 125, 946-951.
- [14] S. Suntararak, T. Sorson and P. Jeawram, The utilization of stone dust as cement substitution with mixed plastic to develop an environmentally friendly paving block product, *The 18th Ubon Ratchathani University Research Conference (UBRC): Green-Growth-Gate*, 2023, Proceeding, 180-188. (in Thai).
- [15] D. Marks, M.A. Miller and S. Vassanadumrongdee, Closing the loop or widening the gap? The unequal politics of Thailand's circular economy in addressing marine plastic pollution, *Journal of Cleaner Production*, 2023, 391, 136218.