

การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ EPS มอร์ตาร์เป็นวัสดุก่อสร้าง เพื่อบรรเทาปัญหาขยะโฟม

ศิริกัญญา เลาสุวรรณ^{1*} ญัตตะพงษ์ อีรานโน² เวชสุวรรณค์ หล้ากาศ³ ไกรสร ลักษณะศิริ⁴ เสริมศักดิ์ อาษา⁵

^{1*,2,3,4,5}ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, เชียงใหม่, ประเทศไทย

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ อีเมล : sirikanya_lao@cmru.ac.th

รับต้นฉบับ : 30 มิถุนายน 2567; รับบทความฉบับแก้ไข : 4 ตุลาคม 2567; ตอบรับบทความ : 7 ตุลาคม 2567

เผยแพร่ออนไลน์ : 27 มิถุนายน 2568

บทคัดย่อ

โฟมเป็นวัสดุที่มีการใช้งานอย่างหลากหลายเนื่องจากมีคุณลักษณะเด่นหลายประการ เช่น มีน้ำหนักเบา รองรับแรงกระแทกได้ดี และมีคุณสมบัติกันความร้อน อย่างไรก็ตาม การทิ้งขยะโฟมหรือการกำจัดโดยวิธีที่ไม่เหมาะสม อาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาความเป็นไปได้ของวิธีการกำจัดขยะโฟม โดยการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ในการละลายโฟมเพื่อให้กลายเป็นตัวยัดประสาน จากนั้นนำตัวยัดประสานผสมกับทราย โดยใช้โฟมในอัตราส่วนร้อยละ 5 7 9 11 13 15 และ 17 ของน้ำหนักทราย เพื่อนำมาขึ้นรูปเป็น EPS มอร์ตาร์ ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในโครงการนี้มี 2 ประเภท ได้แก่ แอซีโตนและไดคลอโรมีเทน จากผลการทดสอบพบว่า EPS มอร์ตาร์มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1,200 ถึง 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 40 ถึง 120 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และค่ากำลังรับแรงดัดอยู่ในช่วง 10 ถึง 65 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมอร์ตาร์ที่ได้จากการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แอซีโตนในอัตราส่วนโฟมร้อยละ 13 ของน้ำหนักทรายมีคุณสมบัติและต้นทุนการผลิตที่ดีที่สุด ดังนั้นวัสดุ EPS มอร์ตาร์ที่พัฒนาจากการวิจัยนี้จึงมีศักยภาพที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในวัสดุก่อสร้างได้อย่างหลากหลาย

คำสำคัญ : ตัวทำละลายอินทรีย์แอซีโตน ค่ากำลังรับแรงอัด ตัวทำละลายอินทรีย์ไดคลอโรมีเทน ค่ากำลังรับแรงดัด การรีไซเคิลโฟม

Assessing the Feasibility of Using EPS Mortar as a Construction Material for Mitigating Foam Waste

Sirikanya Laosuwan^{1*} Nutapong Hirano² Wechsawan Lakas³ Kraisorn Lucksiri⁴ Sermak Arsa⁵

^{1*,2,3,4,5} *Department of Industrial Technology, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, Thailand*

*Corresponding Author. E-mail address: sirikanya_lao@cmru.ac.th

Received: 30 June 2024; Revised: 4 October 2024; Accepted: 7 October 2024

Published online: 27 June 2025

Abstract

Foam is a versatile material due to its advantageous properties, such as being lightweight, impact-resistant, and providing thermal insulation. However, improper disposal or management of foam waste can lead to environmental issues. This research thus explores the possibility of disposing of foam waste by dissolving it in organic solvents, transforming it into a binder. The binder is then mixed with sand at foam-to-sand ratios of 5, 7, 9, 11, 13, 15, and 17 percent foam by weight to create EPS mortar. Two types of organic solvents, acetone and dichloromethane, were used in the study. The test results show that the EPS mortar had density values ranging from 1,200 to 1,600 kilograms per cubic meter, compressive strength ranging from 40 to 120 kilograms per square centimeter, and flexural strength ranging from 10 to 65 kilograms per square centimeter. The mortar made with acetone as the organic solvent, at a 13 percent foam ratio by weight, demonstrated the optimal balance of properties and production cost. Therefore, the EPS mortar developed in this research has potential for use in various construction applications.

Keywords: Acetone solution, Compressive strength, Dichloromethane solution, Flexural strength, Foam recycling

1) บทนำ

โฟมเป็นวัสดุที่ผลิตมาจากเม็ดพลาสติกโดยผ่านการใช้สารที่ทำให้ขยายตัว ทำให้เกิดการพองตัวขึ้น และมีคุณสมบัติที่สามารถตัดและขึ้นรูปได้ง่าย มีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่น มีความต้านทานความร้อน และมีความทนทานต่อแรงกระแทก ซึ่งในปัจจุบันมีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรม ยกตัวอย่างเช่น ใช้เป็นวัสดุกันกระแทกสำหรับอุปกรณ์ ใช้เป็นวัสดุกันกระแทกในหมวกนิรภัย หรือใช้เป็นวัสดุฉนวนในงานก่อสร้าง เป็นต้น ถึงแม้โฟมจะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย แต่เมื่อการใช้ประโยชน์เสร็จสิ้น โฟมจะกลายเป็นขยะที่อันตรายต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก เพราะการย่อยสลายของโฟมตามธรรมชาติจะใช้เวลาอย่างมาก ด้วยเหตุนี้ขยะโฟมจึงเป็นหนึ่งในปัญหาที่ทั่วโลกกำลังประสบอยู่ ณ ตอนนี้ จากบทความของการใช้พลาสติกในยุโรปได้ระบุไว้ว่า ในปี พ.ศ. 2560 มีความต้องการในการใช้โฟมมากถึง 2.65 ล้านตันและสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้เพียงร้อยละ 31.1 ของการใช้โฟมทั้งหมด [1] ในทำนองเดียวกันประเทศไทยมีความต้องการการใช้โฟมในเชิงอุตสาหกรรมมากขึ้นและส่งผลกระทบต่อปัญหาขยะประเภทโฟมมากขึ้นตาม โดยในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาพบปัญหาขยะพลาสติกและโฟมถึง 2 ล้านตันของปริมาณขยะทั้งหมด และได้มีการรีไซเคิลเพียง 0.5 ล้านตัน นอกจากนั้นกลายเป็นขยะออกสู่สิ่งแวดล้อม [2]

เมื่อโฟมที่ถูกใช้ประโยชน์เสร็จสิ้นและกลายเป็นขยะโฟม ขยะโฟมเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ด้วยกันเอง เนื่องจากโฟมคือพลาสติกสังเคราะห์ที่ผลิตมาจากพอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) เมื่อขยะโฟมลงสู่แม่น้ำและทะเลจะเกิดผลเสียให้แม่น้ำหรือทะเลเน่าเสีย นอกจากส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้วยังส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำทุกชนิดไม่สามารถอาศัยอยู่ได้ จากผลการสำรวจขององค์การอนุรักษ์ทางทะเลในปี พ.ศ. 2562 พบขยะพลาสติกและขยะโฟมเฉลี่ยถึง 558 ชิ้น ต่อระยะทาง 100 เมตรตามแนวชายฝั่งทะเลในประเทศไทย [3] ไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อแม่น้ำเท่านั้น หากขยะโฟมเหล่านี้ถูกเผาไหม้จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ชั้นบรรยากาศซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน นอกจากนี้เมื่อขยะโฟมสัมผัสกับไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศจะสามารถผลิตโอโซนในระดับพื้นดิน ซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจและหากมีการสะสมในปริมาณมากจะทำให้เกิดความผิดปกติต่อร่างกาย ในท้ายที่สุดอาจเกิดเป็นมะเร็งได้ [4], [5] ดังนั้นโฟมเหล่านี้ถึงแม้จะมีประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมแต่

เมื่อกลายเป็นขยะก็สามารถสร้างผลกระทบให้กับสิ่งแวดล้อมได้มากเช่นเดียวกัน

แนวทางการแก้ไขปัญหาขยะโฟมในปัจจุบันมีการดำเนินการทั้งหมด 3 วิธีคือ การเผา การฝังกลบ และการรีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ วิธีที่หนึ่งคือการเผาวัสดุโฟมเป็นวิธีที่ช่วยกำจัดขยะได้รวดเร็วและกำจัดได้ในปริมาณที่มาก อย่างไรก็ตามผลกระทบที่ตามมาจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการเผาจะทำให้เกิดสารปนเปื้อนในบรรยากาศ ยกตัวอย่างเช่น สารไดออกซินที่ได้มาจากการเผา หรือไมโครพลาสติกที่ลอยในบรรยากาศ [6] ซึ่งล้วนแต่เป็นผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต ในปัจจุบันการเผาขยะมูลฝอยรวมทั้งขยะโฟมอย่างมีประสิทธิภาพสามารถทำได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่เนื่องจากความรู้ความเข้าใจในหลักการเผาและการควบคุมมลพิษของประชาชนยังไม่มากพอจากการสำรวจและทบทวนวรรณกรรมของ Ramadan et al. [7] พบว่าความเข้าใจในการเผาขยะของประชาชนยังไม่มีความเข้าใจมากนัก ทั้งความร่วมมือจากภาครัฐและเอกชนที่เข้ามาจับตลาดน้อย ในความเป็นจริงการเผาขยะที่ประสิทธิภาพคือการเผาโดยมีโรงงานควบคุมมลพิษและการใช้กระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) หลอมเหลวขยะพลาสติกในสภาวะปิดเพื่อให้กลับคืนสภาวะเดิมที่เป็นวัตถุดิบดิบ [8] ทั้งนี้ในการเผาอย่างมีประสิทธิภาพในสถานที่ควบคุมมลพิษจะต้องมีกระบวนการคัดแยกขยะเสียก่อนเนื่องจากกระบวนการเผาบางชนิดจะไม่เหมาะสมสำหรับขยะบางชนิด [9] อย่างไรก็ตามโดยภาพรวมแล้วกระบวนการเผาขยะยังเป็นกระบวนการที่ปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมากในการควบคุมมลพิษหรือการก่อตั้งโรงงานสำหรับการเผาขยะจะต้องมีการควบคุมมลพิษอย่างจริงจังและมีต้นทุนที่สูงมากไม่สามารถเข้าถึงได้ในหลาย ๆ พื้นที่ วิธีที่สองคือการฝังกลบ วิธีนี้ถึงแม้ว่าจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยเมื่อเทียบกับการเผาขยะ แต่กระบวนการและขั้นตอนในการฝังกลบขยะมีความยุ่งยากเนื่องจากการนำขยะมาฝังกลบจำเป็นต้องใช้พื้นที่โล่งที่มีขนาดใหญ่โดยปกติการเลือกพื้นที่ใช้ในการฝังกลบขยะจะพิจารณาในด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และสุขภาพของชุมชน ดังนั้นการเลือกพื้นที่จึงมีกระบวนการที่ซับซ้อนและใช้เวลานาน [10] ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยี Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) ร่วมกับ Geographical Information System (GIS) เพื่อประเมินและคัดกรองพื้นที่สำหรับการจัดทำหลุมฝังกลบ โดยพิจารณาปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม ชุมชน และขนาดของพื้นที่ ทั้งนี้วิธีดังกล่าวจะช่วยในเรื่องการประหยัดเวลาในการคัดเลือกและคำนึง

ถึงผลกระทบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อมน้อย [11] อย่างไรก็ตาม ผลกระทบหลังจากที่ฝังขยะลงในบ่อขยะยังมีผลตามมา ยกตัวอย่าง เช่น การซึมของน้ำที่มาจากบ่อฝังกลบขยะ น้ำที่ซึมผ่านออกมาจากบ่อขยะเป็นน้ำเสียที่มีค่า pH และ Chemical Oxygen Demand (COD) สูง นอกจากนี้บางแหล่งอาจมีการปนเปื้อนของสารพิษที่อยู่ในขยะรวมอีกด้วย [12] ดังนั้นในภายภาคหน้าจะส่งผลเสียต่อดินในพื้นที่ ไม่สามารถนำดินไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมได้ ในปัจจุบันมีงานวิจัยการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการฝังกลบขยะหลากหลายวิธี ในปี ค.ศ. 2016 Cucchiella et al. [13] ได้ทำการเปลี่ยนขยะในบ่อฝังกลบบางส่วนมาใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยทำเป็นพลังงานไฟฟ้าใช้ในโรงงานด้วยวิธีการเผา อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จำเป็นต้องคัดแยกขยะที่สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ ผลลัพธ์ที่ได้สามารถลดปริมาณขยะในบ่อฝังกลบได้ร้อยละ 21–25 ข้อเสียของวิธีนี้คือ ใช้ระยะเวลานานในการคัดแยกขยะ นอกจากนี้การแก้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมของบ่อฝังกลบสามารถทำได้โดยการแยกบ่อฝังกลบตามประเภทของขยะ โดยใช้วิธีการแยกบ่ออินทรีย์และอนินทรีย์แยกจากกัน เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ที่ต่างกัน เนื่องจากบ่อที่เป็นประเภทอินทรีย์วัตถุดิบสามารถนำกลับไปทำเป็นปุ๋ยหมักช่วยทางการเกษตร บ่อประเภทอินทรีย์วัตถุดิบสามารถกำจัดด้วยการเติมจุลินทรีย์เพื่อย่อยสลาย หรือบ่อฝังกลบประเภทอันตรายซึ่งเป็นที่เก็บของวัตถุอันตราย วิธีนี้ยังสามารถลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากขยะสู่สิ่งแวดล้อมได้ [14], [15] นอกจากนี้การแยกบ่อที่เป็นประเภทของขยะโพลีเมอร์ที่มีปริมาณมากสามารถกำจัดได้โดยการเลี้ยงหนอนนก ซึ่งหนอนนกสามารถย่อยสลายโพลีเมอร์ได้เนื่องจากกระเพาะของหนอนนกมีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายขยะประเภทโพลีเมอร์ได้ [16] แต่วิธีการแยกบ่อขยะยังมีข้อเสียอยู่เนื่องจากวิธีการฝังกลบขยะถึงแม้ว่าจะส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลงแต่จำเป็นต้องใช้พื้นที่จำนวนมากและการดูแลรักษามีความซับซ้อน ไม่เพียงเท่านั้น ต้นทุนในสร้างบ่อฝังกลบยังมีต้นทุนที่สูงอีกด้วย วิธีที่สามคือการรีไซเคิลขยะโพลีเมอร์ให้นำกลับมาใช้ใหม่ ในปัจจุบันมีกระบวนการทั้งหมด 2 กระบวนการหลักคือการรีไซเคิลทางกลและการรีไซเคิลทางเคมี โดยการรีไซเคิลทางกลจะเป็นการใช้ความร้อนประมาณ 100–200 องศาเซลเซียส และแรงดันสูงถึง 30–200 บาร์ เพื่อเปลี่ยนสถานะโพลีเมอร์จากของแข็งให้เป็นของเหลว จากนั้นลดอุณหภูมิลงเพื่อเปลี่ยนกลับไปเป็นเม็ดพอลิเมอร์เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป [17], [18] แต่เนื่องจากกระบวนการนี้จำเป็นต้องใช้ต้นทุนที่สูงในการสร้างห้องปิดและเครื่องมือที่ซับซ้อนดังนั้นวิธีนี้จึงจัดว่าเป็นการ

รีไซเคิลที่มีขนาดใหญ่และมีต้นทุนสูงพอในการรีไซเคิล ส่วนอีกกระบวนการคือ การรีไซเคิลทางเคมีจะทำให้ขยะโพลีเมอร์กลับคืนสู่สภาพเดิมที่อยู่ในสถานะของเหลว อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลทางเคมี [19] ซึ่งมีหลากหลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น วิธีไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เป็นวิธีการนำขยะโพลีเมอร์กับไอน้ำที่ประกอบด้วยสารเอมีน ณ อุณหภูมิ 150–320 องศาเซลเซียสในสถานะปิด จะได้โพลีเมอร์ในรูปของของเหลวโดยไม่มีการทำลายโมเลกุลของโพลีเมอร์ [20] หรือวิธีไพโรไลซิส กระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนที่ไม่สมบูรณ์ในภาวะที่ปราศจากออกซิเจน หรือมีออกซิเจนน้อยที่สุด โดยความร้อนทำให้พันธะที่เชื่อมกันระหว่างโมเลกุลเกิดการแตกตัว [21] เป็นต้น

นอกจากการนำโพลีเมอร์กลับคืนสู่สภาพเดิมที่อยู่ในสถานะของเหลวเพื่อนำมารีไซเคิลแล้วนั้น ทางด้านวิศวกรรมมีการนำขยะโพลีเมอร์รีไซเคิลหลากหลายวิธีเนื่องจากโพลีเมอร์มีคุณสมบัติการรับแรงได้ดี และมีคุณสมบัติการยืดหยุ่นซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในทางวิศวกรรม เช่น การนำเม็ดโพลีเมอร์มาผสมกับคอนกรีตเพื่อปรับปรุงคอนกรีตให้มีความแข็งแรงและแรงอัดเพิ่มขึ้น [22] เนื่องจากโพลีเมอร์มีคุณสมบัติรับแรงอัดและแรงดัดได้ดี แม้กระทั่งการนำขยะโพลีเมอร์มาเคลือบผิวถนนโดยการนำโพลีเมอร์มาละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ แอซีโตนทำให้ผิวถนนมีความยืดหยุ่นสูงขึ้น [23] อย่างไรก็ตาม นอกจากขยะโพลีเมอร์ที่นำมารีไซเคิลจะเป็นการนำขยะโพลีเมอร์เข้ามาเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุแล้วยังนำขยะโพลีเมอร์มาเป็นวัสดุในงานก่อสร้างได้เช่นกัน โดยการนำขยะโพลีเมอร์มาหลอมในอุณหภูมิที่ต่ำเป็นเวลานานทำให้โพลีเมอร์หลอมละลายและแข็งตัวเป็นวัสดุมวลรวมทดแทนทรายหรือกรวดในงานก่อสร้าง [24] ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของกรรมวิธีในการรีไซเคิลขยะโพลีเมอร์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์

งานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นไปยังแนวคิดที่จะศึกษาตัวทำละลายอินทรีย์ที่สามารถทำละลายโพลีเมอร์ที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้ โดยที่ตัวทำละลายอินทรีย์จะเข้าไปทำลายสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์และทำให้อากาศที่อยู่ในโพลีเมอร์ออกมาได้ง่ายจนทำให้โพลีเมอร์กลายเป็นของเหลว โดยตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ได้แก่ แอซีโตน และไดคลอโรมีเทน เนื่องจากตัวทำละลายอินทรีย์ทั้งสองสามารถละลายโพลีเมอร์ให้เปลี่ยนสภาพจากของแข็งให้กลายเป็นของเหลวได้อย่างรวดเร็ว เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวยึดประสานที่สามารถแทรกตัวไปในช่องว่างให้แก่ทรายที่ไม่มีคุณสมบัติในการยึดเกาะกัน และจะเกิดการแข็งตัวของตัวยึดประสานในภายหลัง โดยในงานวิจัยจะมุ่งเน้นศึกษาพฤติกรรมของวัสดุ EPS มอร์ตาร์ที่นำตัวยึด

ประสานมาผสมกับทราย เพื่อหาคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมด้านต่าง ๆ อีกทั้งยังเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาขยะจากโฟม

2) วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

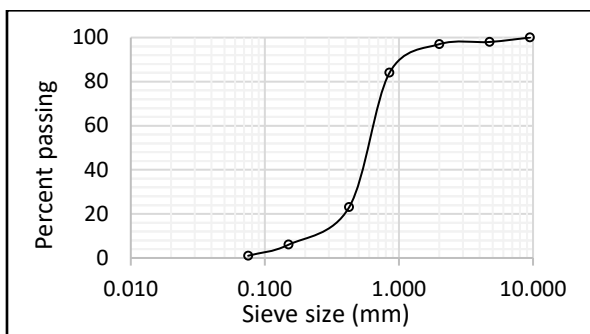
1. เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมที่ได้จากการทดสอบทั้งค่าความหนาแน่น, ค่ากำลังรับแรงอัด และค่ากำลังรับแรงดัดของ EPS มอร์ตาร์ ที่อัตราส่วนโฟมเปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ และที่ตัวทำละลายอินทรีย์ 2 ประเภทคือ แอซีโตนและไดคลอโรมีเทน

2. ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ EPS มอร์ตาร์เป็นวัสดุรับแรง เพื่อให้ในงานก่อสร้างและบรรเทาปัญหาขยะจากโฟม

3) วิธีดำเนินการวิจัย

3.1) วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1) ทราย ในงานวิจัยนี้ได้เลือกทรายประเภท SP (poorly grade sand) ตามมาตรฐาน USCS (unified soil classification system) [25] ซึ่งเป็นวัสดุเม็ดหยาบ ทรายประเภทนี้เป็นทรายที่มีช่องว่างระหว่างเม็ดดินมากกว่าทรายประเภท SW (well grade sand) เนื่องจากขนาดของเม็ดดินมีขนาดที่ใกล้เคียงกันเป็นส่วนใหญ่ เป็นผลทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดดินไม่ถูกเติมด้วยขนาดเม็ดดินที่เล็กกว่า เพื่อให้วัสดุเชื่อมประสานสามารถแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดทรายได้มาก โดยแสดงกราฟการจำแนกขนาดของทรายเป็นดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 : การทดสอบเพื่อหาขนาดคละของทราย

3.1.2) โฟมประเภท EPS (Expandable Polystyrene Foam) ซึ่งเป็นโฟมพอลิสไตรีนที่ใช้แก๊สเพนเทน (C_5H_{12}) เป็นสารที่ทำให้ขยายตัว ดังนั้นองค์ประกอบของโฟมประเภทนี้จึงมีอากาศอยู่ร้อยละ 98 และมีพอลิสไตรีนเพียงร้อยละ 2 เนื่องจากโฟมประเภทนี้มีคุณสมบัติในการรับน้ำหนักได้ดี มีน้ำหนักเบา มีความเป็นฉนวน และมีความหนาแน่นเท่ากับ 200 kg/m^3 จึงถูกนำมาใช้ในงานเชิง

อุตสาหกรรม อีกทั้งยังเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์เพื่อรองรับการกระแทกอย่างแพร่หลายดังคุณสมบัติที่กล่าวมา อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ประโยชน์เสร็จสิ้นแล้วโฟมประเภทนี้ต้องใช้พื้นที่มากในการบริหารจัดการ ดังรูปที่ 2 งานวิจัยนี้จึงใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติโฟมและปริมาณขยะที่มากขึ้นเพื่อกำจัดขยะและใช้ประโยชน์ในการรีไซเคิล



รูปที่ 2 : โฟม EPS ที่ใช้งานแล้ว

3.1.3) ตัวทำละลายอินทรีย์ เนื่องจากวัสดุโฟมเป็นพอลิสไตรีนประเภทไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นในการทำละลายจะต้องใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วต่ำ [26], [27] งานวิจัยนี้ได้เลือกตัวทำละลายอินทรีย์ประเภทแอซีโตนและไดคลอโรมีเทนที่สามารถทำละลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้ในระยะเวลาอันสั้น เมื่อเทียบกับตัวทำละลายอินทรีย์ประเภทอื่น [28] เช่น เบนซิน โทลูอีน ดังรูปที่ 3 และคุณสมบัติดังตารางที่ 1



รูปที่ 3 : ตัวทำละลายอินทรีย์แอซีโตนและไดคลอโรมีเทน

ตารางที่ 1 : คุณสมบัติของตัวทำละลายอินทรีย์

Property	Acetone	Dichloromethane
Chemical formula	C_3H_6O	CH_2Cl_2
Boiling point ($^{\circ}C$)	56	40
Melting point ($^{\circ}C$)	-94.7	-96.7
Density (kg/m^3)	784	1326.6
Molar mass (g/mol)	58.08	84.93

3.2) ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัย คือแอซีโตนและไดคลอโรมีเทน (L) โฟมที่ใช้ในงานวิจัยเป็นโฟมประเภท EPS (F) โดยการเตรียมส่วนผสมจะใช้อัตราส่วนผสมของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อโฟมที่อัตราส่วน (L:F) เท่ากับ 3.5 : 1 โดยคิดอัตราส่วนโดยน้ำหนัก ซึ่งอัตราส่วนนี้เป็นอัตราส่วนที่เพียงพอที่จะทำให้ตัวทำละลายอินทรีย์สามารถละลายโฟม เปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวได้หมดดังรูปที่ 4 หลังจากละลายโฟมจนเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวแล้ว จึงนำตัวยึดประสานผสมเข้ากับทรายประเภท SP ดังรูปที่ 5 ในอัตราส่วนร้อยละ 5, 7, 9, 11, 13, 15 และ 17 ของน้ำหนักทราย แสดงอัตราส่วนผสมได้ดังตารางที่ 2 และ 3 การผสมจะผสมจนตัวยึดประสานและทรายเข้ากันดี จากนั้นจึงเทลงแบบการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบมอร์ตาร์ [29] ที่มีขนาดของแบบการทดสอบ (กว้าง×สูง×ยาว) คือ 40×40×160 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 6 ขั้นตอนการเตรียมก่อนตัวอย่างนี้จะทำที่อุณหภูมิห้อง ภายใต้พื้นที่ที่เป็นระบบปิด โดยมี fume hood หรืออุปกรณ์ดูดไอระเหยที่เกิดขึ้น โดยในงานวิจัยนี้จะเรียกว่าวัสดุที่ผสมระหว่างตัวยึดประสานกับทรายว่า EPS มอร์ตาร์ แล้วนำมาทำการหาคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมต่อไป



รูปที่ 4 : ละลายโฟมในตัวทำละลายอินทรีย์



รูปที่ 5 : ผสมตัวยึดประสานกับทราย



รูปที่ 6 : ก่อนตัวอย่างตามแบบการทดสอบมาตรฐาน ขนาด 40×40×160 มม.

ตารางที่ 2 : อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของตัวอย่าง
กรณีใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แอซีโตน

No. Mixture	Foam (%) (by weight)	Sand (g)	Foam (g)	Acetone (g)
1	5	1200	60	210
2	7	1200	84	294
3	9	1200	108	378
4	11	1200	132	462
5	13	1200	156	546
6	15	1200	180	630
7	17	1200	204	714

ตารางที่ 3 : อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของตัวอย่าง
กรณีใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ไดคลอโรมีเทน

No. Mixture	Foam (%) (by weight)	Sand (g)	Foam (g)	Dichloro methane (g)
1	5	1200	60	210
2	7	1200	84	294
3	9	1200	108	378
4	11	1200	132	462
5	13	1200	156	546
6	15	1200	180	630
7	17	1200	204	714

3.3) การวิเคราะห์การทดสอบ

การทดสอบหาค่าความหนาแน่น ค่ากำลังรับแรงดัด และค่ากำลังรับแรงอัด จะนำวัสดุ EPS มอร์ตาร์หล่อในแบบการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบมอร์ตาร์ เริ่มต้นผสมตัวอย่างโดยใช้อัตราส่วนตามตารางที่ 2 เมื่อผสมทรายเข้ากับตัวยึดประสานให้เข้ากันแล้วนำมาเข้าแบบที่เตรียมไว้ จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาจึงนำตัวอย่างออกจาก

แบบและฝังให้แห้งจนครบกำหนดเวลา 28 วัน โดยจำนวนการทดสอบ EPS มอร์ตาร์ ในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวอย่างจำนวน 6 ตัวอย่างต่อ 1 อัตราส่วนผสม จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดมาทดสอบหาค่าความหนาแน่น ค่ากำลังรับแรงดัด และค่ากำลังรับแรงอัด ตามมาตรฐาน BS EN 196-1: 1995; Methods of testing cement-Part 1: Determination of strength [29] ด้วยเครื่องกดเพื่อหาค่ากำลังรับแรงดัด ยี่ห้อ ELE และเครื่องกดเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัด รุ่น YES-300 ทั้ง 2 การทดสอบกระทำที่ strain rate เท่ากับ 1.2 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 7 เมื่อก่อนตัวอย่าง EPS มอร์ตาร์ เกิดวิบัติหลังผ่านการทดสอบเป็นที่เรียบร้อย จะมีลักษณะดังรูปที่ 8



รูปที่ 7 : เครื่องมือทดสอบค่ากำลังรับแรงดัดและค่ากำลังรับแรงอัดของ EPS มอร์ตาร์



รูปที่ 8 : ก่อนตัวอย่าง EPS มอร์ตาร์ หลังการทดสอบหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ

โดยสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีดังนี้

ค่าความหนาแน่น

$$D = \frac{m}{V} \quad (1)$$

เมื่อ D คือ ค่าความหนาแน่น

m คือ น้ำหนักของวัสดุ

V คือ ปริมาตร

ค่ากำลังรับแรงดัด

$$R_f = \max \sigma_f = \frac{\max M}{W} \quad (2)$$

เมื่อ R_f คือ ค่ากำลังรับแรงดัด

σ_f คือ ค่าความเค้นดัด

M คือ ค่าโมเมนต์ดัด

W คือ โมดูลัสภาคตัด

ค่ากำลังรับแรงอัด

$$R_c = \max \sigma_c = \frac{F_c}{1600} \quad (3)$$

เมื่อ R_c คือ ค่ากำลังรับแรงอัด

σ_c คือ ค่าความเค้นอัด

F_c คือ ค่าแรงอัดสูงสุด

1600 คือ หน้าตัดในการกดอัด (ขนาด 40 มิลลิเมตร × 40 มิลลิเมตร)

4) ผลการวิจัยและอภิปรายผล

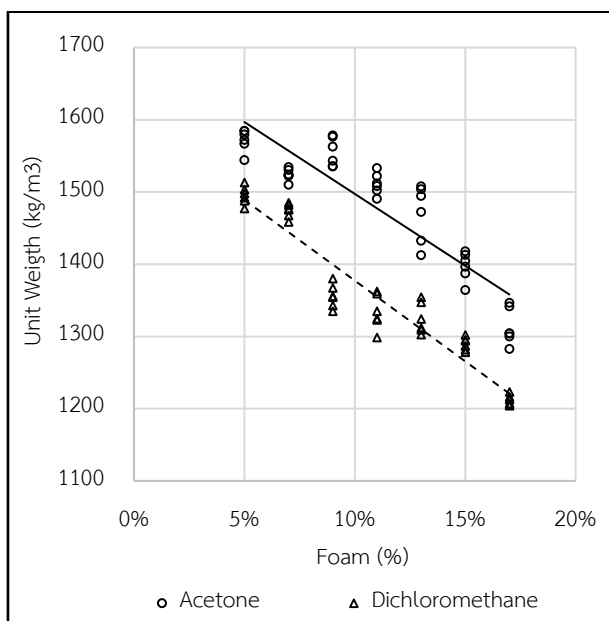
งานวิจัยนี้แสดงพฤติกรรมของโฟมที่ถูกตัวทำลายอินทรีย์ทั้งแอซีโตน และไดคลอโรมีเทน ให้อยู่ในสถานะของเหลวโดยนำมาใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานเข้ากับทรายประเภท SP เนื่องจากพฤติกรรมของตัวยึดประสานสามารถเข้าไปแทนที่ในช่องว่างของทรายประเภท SP ซึ่งเป็นทรายที่มีช่องว่างจำนวนมาก ดังนั้นเมื่อโฟมแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างและจับตัวกับอนุภาคของทรายแล้ว ก่อนตัวอย่างจะเริ่มแข็งตัว ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงศึกษาพฤติกรรมของก้อนตัวอย่าง EPS มอร์ตาร์ที่แข็งตัวจากการแทรกของโฟมในอนุภาคทรายโดยงานวิจัยจะแบ่งการศึกษาพฤติกรรมของก้อนตัวอย่างออกเป็น 3 หัวข้อได้แก่ 1. ค่าความหนาแน่น 2. ค่ากำลังรับแรงดัด และ 3. ค่ากำลังรับแรงอัด

4.1) ความหนาแน่นของ EPS มอร์ตาร์

ผลสรุปของการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของ EPS มอร์ตาร์แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณตัวยึดประสานเข้าไปในตัวอย่างค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มที่ลดลงเนื่องจากการแทรกตัวของโฟม ยังมีปริมาณตัวยึดประสานแทรกตัวเข้าไปในก้อนตัวอย่างมากขึ้นค่าความหนาแน่นจะลดลง และเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นระหว่างตัวทำลายอินทรีย์ที่ใช้ทำลายโฟมทั้ง 2 ตัวทำลายอินทรีย์ให้ผลสรุปตามรูปที่ 9 ซึ่งเกิดจากการผสมระหว่างทรายที่เป็นวัสดุเม็ดหยาบกับตัวยึดประสานที่ได้จากการใช้ตัวทำลายอินทรีย์ที่แตกต่างกันส่งผลให้พฤติกรรมของการจับตัวเชื่อมกับเม็ดทรายมีลักษณะต่างกัน ค่าความหนาแน่นที่ได้จึงแตกต่างกัน

รูปที่ 10-15 เป็นภาพตัดขวางของ EPS มอร์ตาร์ด้วย เครื่อง digital microscope ที่กำลังขยาย 2000 เท่า เพื่อแสดงพฤติกรรม การจับตัวของตัวยึดประสานกับทราย โดยตัวยึดประสานที่ได้จากการ ทำละลายของแอซีโตน มีการแทรกตัวอัดแน่นเพื่ออุดช่องว่าง ที่เป็นอากาศระหว่างเม็ดทรายได้ดี พร้อมทั้งยึดเกาะให้เม็ดทราย ที่ไม่มีความเชื่อมแน่นให้กลายเป็นก้อนแข็ง ดังรูปที่ 10-12 ในขณะที่ตัวยึดประสานที่ได้จากการทำละลายของไดคลอโรมีเทน จะเข้าไปแทรกในช่องว่างระหว่างเม็ดทรายในลักษณะที่เคลือบ รอบผิวทรายพร้อมทำการยึดเกาะ ดังรูปที่ 13-15 เป็นผลทำให้ ค่าความหนาแน่นของ EPS มอร์ตาร์จากแอซีโตนมีค่าสูงกว่า

ค่าความหนาแน่นของการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์แอซีโตน มีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากรณีตัวทำละลายอินทรีย์ไดคลอโรมีเทน แต่พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณโฟมที่เปอร์เซ็นต์มากขึ้น ตัวยึดประสานจะเข้าไป จับตัวกับเม็ดทรายพร้อมกับแทนที่เม็ดทราย จึงทำให้ค่าความ หนาแน่นที่ได้มีค่าแนวโน้มที่ต่ำลง โดยค่าความหนาแน่นที่มากที่สุดเท่ากับ 1571.70 kg/m^3 (ที่อัตราส่วนผสม 5% โดยน้ำหนัก) และค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุดเท่ากับ 1312.95 kg/m^3 (ที่อัตราส่วนผสม 17% โดยน้ำหนัก) และตัวทำละลายอินทรีย์ไดคลอโรมีเทน มีค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นที่มากที่สุดเท่ากับ 1495.23 kg/m^3 (ที่อัตราส่วนผสม 5% โดยน้ำหนัก) และค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด เท่ากับ 1211.34 kg/m^3 (ที่อัตราส่วนผสม 17% โดยน้ำหนัก)



รูปที่ 9 : ค่าความหนาแน่นต่อเปอร์เซ็นต์โฟมที่ละลายด้วยแอซีโตน และไดคลอโรมีเทน

4.2) ค่ากำลังรับแรงดัดของ EPS มอร์ตาร์

การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงดัดที่ 28 วัน ค่ากำลังรับแรงดัด จะเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์โฟมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากตัวยึดประสานที่ แทรกตัวภายในช่องว่างระหว่างเม็ดทรายยังคงแสดงพฤติกรรมของ ความยืดหยุ่นของโฟมก่อนที่จะนำมาขึ้นรูป ดังนั้นความสามารถ รับแรงดัดของ EPS มอร์ตาร์จึงมีค่าสูงขึ้น โดยผลการทดสอบค่า กำลังรับแรงดัด โฟมที่ถูกละลายโดยแอซีโตนมีค่ากำลังรับแรงดัด เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 61.52 kg/cm^2 (ที่อัตราส่วนผสม 17% โดย น้ำหนัก)และโฟมที่ถูกละลายโดยไดคลอโรมีเทนมีค่ากำลังรับแรง ดัดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 54.34 kg/cm^2 (ที่อัตราส่วนผสม 17% โดยน้ำหนัก)



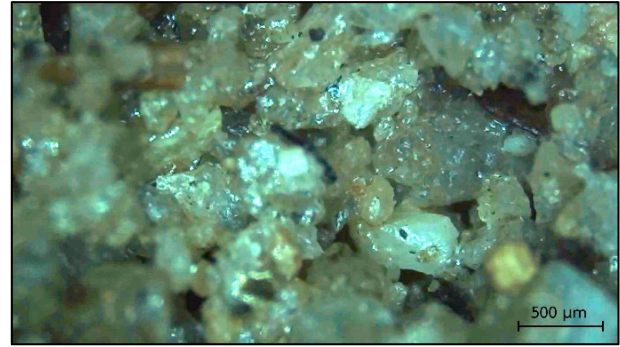
รูปที่ 10 : ภาพตัดขวางของ EPS มอร์ตาร์โดยตัวทำละลายอินทรีย์ แอซีโตน ที่ปริมาณโฟม 5%



รูปที่ 11 : ภาพตัดขวางของ EPS มอร์ตาร์โดยตัวทำละลายอินทรีย์ แอซีโตน ที่ปริมาณโฟม 13%



รูปที่ 12 : ภาพตัดขวางของ EPS มอร์ตาร์โดยตัวทำละลายอินทรีย์
แอซีโตน ที่ปริมาณโฟม 17%



รูปที่ 15 : ภาพตัดขวางของ EPS มอร์ตาร์โดยตัวทำละลายอินทรีย์
ไดคลอโรมีเทน ที่ปริมาณโฟม 17%

ค่ากำลังรับแรงดัดของ EPS มอร์ตาร์ เนื่องจากการละลายของตัวทำละลายอินทรีย์ 2 ชนิดมีความแตกต่างกัน โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกใช้อัตราส่วน 5–13% ค่ากำลังรับแรงดัดของโฟมที่ถูกละลายโดยแอซีโตนในจะมีค่าต่ำกว่าโฟมที่ถูกละลายโดยไดคลอโรมีเทน ช่วงที่สองใช้อัตราส่วน 13–17% ค่ากำลังรับแรงดัดมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่าโฟมที่ใช้ไดคลอโรมีเทนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ [30] ดังแสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 13 : ภาพตัดขวางของ EPS มอร์ตาร์โดยตัวทำละลายอินทรีย์
ไดคลอโรมีเทน ที่ปริมาณโฟม 5%

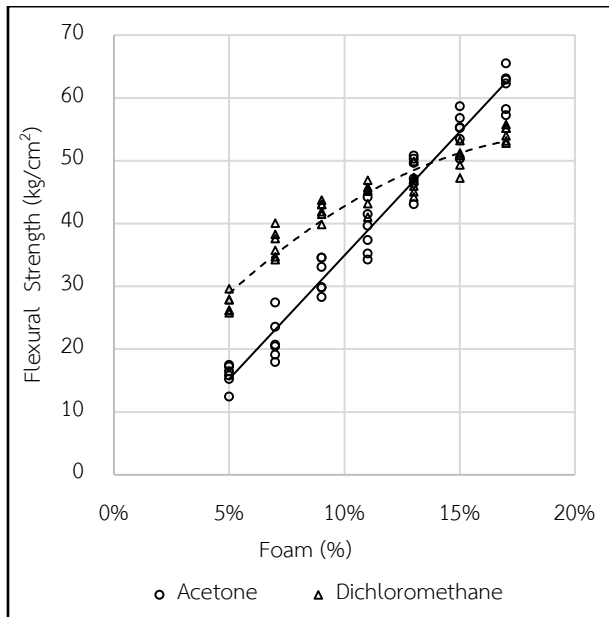


รูปที่ 14 : ภาพตัดขวางของ EPS มอร์ตาร์โดยตัวทำละลายอินทรีย์
ไดคลอโรมีเทน ที่ปริมาณโฟม 13%

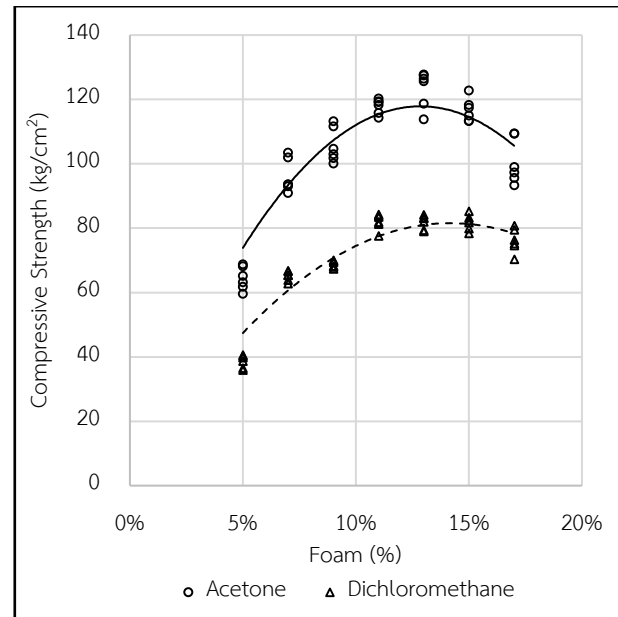
เนื่องจาก EPS มอร์ตาร์กรณีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นแอซีโตนที่เปอร์เซ็นต์โฟมน้อย การจับตัวกันเป็นก้อนของตัวยึดประสานจะทำให้เกิดการกระจายของตัวเชื่อมประสานไม่ทั่วถึงดี เป็นผลทำให้วัสดุที่มีทรายเป็นหลักไม่สามารถรับแรงดัดได้มาก ดังรูปที่ 10 แต่เมื่อมีเปอร์เซ็นต์ของโฟมที่มากพอ ทำให้ตัวยึดประสานมีลักษณะเป็นก้อนที่จับตัวกันกับทรายได้อย่างแน่นหนา ดังรูปที่ 11 และ 12 จึงทำให้ EPS มอร์ตาร์รับกำลังแรงดัดได้สูงขึ้นมาก ตรงข้ามกับ EPS มอร์ตาร์กรณีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นไดคลอโรมีเทนที่มีความสามารถในการกระจายตัวเคลือบเม็ดทรายได้ดี ทำให้ EPS มอร์ตาร์ที่ได้สามารถรับแรงดัดได้มากกว่าในช่วงแรก ดังรูปที่ 13 แต่เมื่อปริมาณตัวยึดประสานมากขึ้น ถึงแม้กำลังรับแรงดัดที่ได้จะสูงขึ้น แต่การยึดเกาะเม็ดทรายที่เกิดขึ้นจะไม่แน่นหนาเท่า ดังรูปที่ 14 และ 15 จึงได้ค่ากำลังรับแรงดัดที่ต่ำกว่ากรณีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นแอซีโตน

4.3) ค่ากำลังรับแรงอัดของ EPS มอร์ตาร์

การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน ค่ากำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณโฟมที่เพิ่มขึ้นและจะเริ่มลดลง โฟมที่ถูกละลายโดยแอซีโตนจะมีค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยสูงที่สุดในอัตราส่วนโฟม 13% โดยน้ำหนักซึ่งให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ 123.25 kg/cm² และค่ากำลังรับแรงอัดของโฟมที่ถูกละลายโดยไดคลอโรมีเทนจะมีค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยสูงที่สุดในอัตราส่วนโฟม 15% โดยน้ำหนักซึ่งให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ 81.82 kg/cm²



รูปที่ 16 : ค่ากำลังรับแรงดัดต่อเปอร์เซ็นต์โฟมที่ละลายด้วยแอซีโตอนและไดคลอโรมีเทน



รูปที่ 17 : ค่ากำลังรับแรงอัดต่อเปอร์เซ็นต์โฟมที่ละลายด้วยแอซีโตอนและไดคลอโรมีเทน

จากการทดสอบการหาค่ากำลังรับแรงอัดของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากโฟมที่เปลี่ยนสถานะของแข็งเป็นของเหลวเข้าไปแทรกระหว่างเม็ดทราย [31] ความแตกต่างของค่ากำลังรับแรงอัดของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้งสอง เนื่องจากการแทรกตัวของตัวอัดประสานที่ถูกละลายด้วยแอซีโตอนสามารถแทรกและอุดตัวในช่องว่างระหว่างเม็ดทรายได้ดี เป็นผลให้ EPS มอร์ตาร์ที่ได้มีช่องว่างที่เป็นอากาศน้อย และเมื่อตัวอัดประสานมีการแข็งตัวกับเม็ดทรายเป็นก้อนอย่างแน่นหนา ดังรูปที่ 10-12 จึงทำให้สามารถรับแรงอัดได้สูง ค่ากำลังในการรับแรงอัดที่ได้จึงสูงกว่ากรณีของ EPS มอร์ตาร์จากตัวอัดประสานที่ถูกละลายด้วยไดคลอโรมีเทนที่มีลักษณะของการแทรกตัวของตัวอัดประสานเป็นแบบเคลือบรอบผิวเม็ดทราย ดังรูปที่ 13-15 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณโฟมมากเกินไป ค่ากำลังรับแรงอัดจะลดลง เนื่องจากการเพิ่มของปริมาณโฟมจะทำให้ความหนาแน่นของ EPS มอร์ตาร์ลดลง เม็ดทรายจะถูกแทนที่ด้วยโฟม ส่งผลให้คุณสมบัติทางด้านการรับแรงอัดมีค่าลดลง เป็นผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดของ EPS มอร์ตาร์ ที่ใช้แอซีโตอนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ มีค่าสูงกว่า EPS มอร์ตาร์ที่ใช้ไดคลอโรมีเทน ดังแสดงในรูปที่ 17

5) สรุปผล

จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อละลายโฟมให้เปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวด้วยแอซีโตอนหรือไดคลอโรมีเทน ตัวอัดประสานสามารถแทรกเข้าไปในเม็ดทรายประเภท SP ได้ดี และเกาะติดกันได้ดีเนื่องจากตัวอัดประสานมีคุณสมบัติการยึดเกาะคล้ายคลึงกับกาว แต่เนื่องจากการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่แตกต่างกันจึงให้ผลการทดสอบที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากพฤติกรรมการเชื่อมประสานของตัวอัดประสานหลังจากที่ตัวทำละลายอินทรีย์ได้ละลายโฟมไปแล้วมีลักษณะที่ต่างกัน จึงส่งผลให้การแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างได้ไม่เท่ากัน โดยมีผลสรุปคือ EPS มอร์ตาร์ที่ใช้แอซีโตอนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์จะมีความหนาแน่นน้อยที่สุดอยู่ที่ 1312.95 kg/m^3 (ที่อัตราส่วนผสม 17% โดยน้ำหนัก), ค่ากำลังรับแรงดัดที่มากที่สุดอยู่ที่ 61.52 kg/cm^2 (ที่อัตราส่วนผสม 17% โดยน้ำหนัก) และค่ากำลังรับแรงอัดที่มากที่สุดอยู่ที่ 123.25 kg/cm^2 (ที่อัตราส่วนผสม 13% โดยน้ำหนัก) และ EPS มอร์ตาร์ที่ใช้ไดคลอโรมีเทนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์มีความหนาแน่นน้อยที่สุดอยู่ที่ 1211.34 kg/m^3 (ที่อัตราส่วนผสม 17% โดยน้ำหนัก), ค่ากำลังรับแรงดัดที่มากที่สุดอยู่ที่ 54.34 kg/cm^2 (ที่อัตราส่วนผสม 17% โดยน้ำหนัก) และค่ากำลังรับแรงอัดที่มากที่สุดอยู่ที่ 81.82 kg/cm^2 (ที่อัตราส่วนผสม 15% โดยน้ำหนัก)

อย่างไรก็ตามการละลายโพลีเมอร์โดยตัวทำละลายอินทรีย์ทั้งสองได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูง โดยเฉพาะค่ากำลังรับแรงอัดของโพลีเมอร์ที่ถูกละลายด้วยเอซีโตนคิดเป็น 51.35 เปอร์เซ็นต์ของคอนกรีต (240 kg/cm^2) [32] นอกจากนี้ค่ากำลังรับแรงอัดของ EPS มอร์ตาร์ที่ได้ยังให้ค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐมวลเบาตามมาตรฐาน (50 kg/cm^2) [33] แต่มีค่าน้อยกว่าค่ากำลังรับแรงเฉื่อยของอิฐมวลเบาตามมาตรฐาน (173.35 kg/cm^2) [34] แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าความหนาแน่นของอิฐมวลเบามีค่าความหนาแน่นที่น้อยกว่า (มีค่าเท่ากับ 600 kg/m^3)

อย่างไรก็ตามนอกจากการนำไปใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้างในด้านอื่น ๆ ได้ ในกระบวนการใช้งานนั้นยังช่วยลดขยะประเภทโพลีเมอร์ที่เป็นสาเหตุให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมลงไปได้ ยกตัวอย่างในกรณีที่ต้องการสร้างวัสดุอิฐบล็อกที่เทียบเท่ากับอิฐมวลเบาตามมาตรฐาน ที่มีปริมาตรเท่ากับ 9,000 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อก่อน เมื่อใช้อัตราส่วนของตัวทำละลายอินทรีย์เอซีโตนที่ให้กำลังรับแรงสูงสุด ณ อัตราส่วนโพลีเมอร์ 13% โดยน้ำหนัก จะต้องใช้ปริมาณโพลีเมอร์ถึง 1.72 กิโลกรัม ต่อทราย 11.51 กิโลกรัม

ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตราคาของ EPS มอร์ตาร์กับอิฐมวลเบาแล้ว ราคาการผลิตของ EPS มอร์ตาร์จะมีราคาที่สูงกว่า ณ ปริมาณการผลิตที่เท่ากัน ซึ่งราคาของอิฐมวลเบาขนาด $20 \times 60 \times 7.5$ เซนติเมตร มีราคาประมาณ 25 บาท เทียบเท่ากับอิฐมวล 6 ก้อน ราคา 15 บาท โดยที่ EPS มอร์ตาร์ที่ถูกละลายด้วยเอซีโตนมีราคาต้นทุนประมาณ 60 บาท ส่วน EPS มอร์ตาร์ที่ถูกละลายด้วยไดคลอโรมีเทนจะมีต้นทุนประมาณ 80 บาท อย่างไรก็ตามหากมองในบริบทของการนำขยะมาใช้ประโยชน์การผลิต EPS มอร์ตาร์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับงานก่อสร้างที่นำขยะกลับมาใช้เพื่อทดแทนวัสดุในรูปแบบเดิม จากผลการหาค่ากำลังรับแรงอัด การหาค่ากำลังรับแรงดัด และต้นทุนการผลิตของ EPS มอร์ตาร์ที่ถูกละลายด้วยเอซีโตนและไดคลอโรมีเทน งานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่า การใช้ EPS มอร์ตาร์จากตัวทำละลายอินทรีย์เอซีโตน ณ อัตราส่วนโพลีเมอร์ 13% โดยน้ำหนัก เหมาะสมที่สุดทั้งด้านคุณสมบัติทางวิศวกรรม และต้นทุนการผลิต

กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนเป็นอย่างดีจากโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีบล็อกรีไซเคิลเพื่อลดขยะพลาสติกในชุมชนการท่องเที่ยวที่เป็น

มิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และบริษัท ASIA GREEN ROAD ที่ให้การสนับสนุน

REFERENCES

- [1] Plastics Europe, "Plastics - the Facts 2017," 2018. [Online]. Available: <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/10/2017-Plastics-the-facts.pdf>
- [2] P. Punyayong. "Plastic waste." (in Thai), ONEP.go.th. <https://www.onep.go.th/ขยะพลาสติก/> (accessed Jan. 14, 2022).
- [3] A. Magnin *et al.*, "Enzymatic recycling of thermoplastic polyurethanes: Synergistic effect of an esterase and an amidase and recovery of building blocks," *Waste Manag.*, vol. 85, pp. 141–150, Feb. 2019.
- [4] B. C. Levin and E. D. Kuligowski, "Combustion toxicology," in *Encyclopedia of Toxicology*, 2nd ed. New York, NY, USA: Academic Press, 2005, pp. 639–652.
- [5] Y. Yanagiba *et al.*, "Styrene trimer may increase thyroid hormone levels via down-regulation of the Aryl Hydrocarbon Receptor (AhR) target Gene UDP-Glucuronosyltransferase," *Environ. Health Perspect.*, vol. 116, no. 6, pp. 740–745, 2008.
- [6] Y. Wang, N. Lai, J. Zuo, G. Chen, and H. Du, "Characteristics and trends of research on waste-to-energy incineration: A bibliometric analysis, 1999–2015," *Renewable Sustain. Energy Rev.*, vol. 66, pp. 95–104, Dec. 2016.
- [7] B. S. Ramadan, I. Rachman, N. Ikhlas, S. B. Kurnuawan, M. F. Miftahadi, and T. Matsumoto, "A comprehensive review of domestic-open waste burning: recent trends, methodology comparison, and factors assessment," *J. Mat. Cycles Waste Manag.*, vol. 24, pp. 1633–1647, May 2022.
- [8] C. Mukherjee, J. Denney, E. G. Mbonimpa, J. Slagley, and R. Bhowmik, "A review on municipal solid waste-to-energy trends in the USA," *Renewable Sustain. Energy Rev.*, vol. 119, Mar. 2020, Art. no. 109512.
- [9] H. I. Abdel-Shafy and M. S. M. Mansour, "Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization," *Egyptian J. Petroleum*, vol. 27, no. 4, pp. 1275–1290, Dec. 2018.
- [10] R. Kikuchi and R. Gerardo, "More than a decade of conflict between hazardous waste management and public resistance: A case study of NIMBY syndrome in Souselas (Portugal)," *J. Hazardous Mater.*, vol. 172, no. 2–3, pp. 1681–1685, Dec. 2009.
- [11] G. D. Feo and S. D. Gisi, "Using MCDA and GIS for hazardous waste landfill siting considering land scarcity for waste disposal," *Waste Manag.*, vol. 34, no. 11, pp. 2225–2238, Nov. 2014.



- [12] M. A. Kamaruddin, M. S. Yusoff, L. M. Rui, A. M. Isa, M. H. Zawawi, and R. Alrozi, "An overview of municipal solid waste management and landfill leachate treatment: Malaysia and Asian perspectives," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 24, no. 35, pp. 26988–27020, 2017.
- [13] F. Cucchiella, M. Gastaldi, and I. D'Adamo, "Sustainable waste management: Waste to energy plant as an alternative to landfill," *Energy Convers. Manag.*, vol. 131, pp. 18–31, Jan. 2017.
- [14] R. B. Brennan, M. G. Healy, L. Morrison, S. Hynes, D. Norton, and E. Clifford, "Management of landfill leachate: The legacy of European Union Directives," *Waste Manag.*, vol. 55, pp. 355–363, Sep. 2016.
- [15] I. T. Osazee, "Landfill in a sustainable waste disposal," *Eur. J. Environ. Earth Sci.*, vol. 2, no. 4, pp. 67–74, 2021.
- [16] S. S. Yang *et al.*, "Progresses in polystyrene biodegradation and prospects for solutions to plastic waste pollution," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 150, 2018, Art. no. 012005.
- [17] K. M. Zia, H. N. Bhatti, and I. A. Bhatti, "Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review," *Reactive Functional Polym.*, vol. 67, no. 8, pp. 675–692, Aug. 2007.
- [18] A. J. Hulme and T. C. Goodhead, "Cost effective reprocessing of polyurethane by hot compression moulding," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 139, no. 1–3, pp. 322–326, Aug. 2003.
- [19] A. Kemonia and M. Piotrowska, "Polyurethane recycling and disposal: Methods and prospects," *Polymers*, vol. 12, no. 8, Aug. 2020, Art. no. 1752.
- [20] R. Gu, S. Konar, and M. Sain, "Preparation and characterization of sustainable polyurethane foams from soybean oils," *J. Amer. Oil Chemists' Soc.*, vol. 89, pp. 2103–2111, 2012.
- [21] S. D. Anuar Sharuddin, F. Abnisa, W. M. A. Wan Daud, and M. K. Aroua, "A review on pyrolysis of plastic wastes," *Energy Convers. Manag.*, vol. 115, pp. 308–326, May 2016.
- [22] R. Sri-Ravindrarajah and A. J. Tuck, "Properties of hardened concrete containing treated expanded polystyrene beads," *Cement Concrete Composites*, vol. 16, no. 4, pp. 273–277, 1994.
- [23] E. I. Gutierrez-Velasquez, S. N. Monteiro, and H. A. Colorado, "Characterization of expanded polystyrene waste as binder and coating material," *Case Stud. Construction Mater.*, vol. 16, Jun. 2022, Art. no. e00804.
- [24] A. Kan and R. Demirboga, "A new technique of processing for waste-expanded polystyrene foams as aggregates," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 209, no. 6, pp. 2994–3000, Mar. 2009.
- [25] *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*, ASTM C136-01, Aug. 2017. [Online]. Available: <https://store.astm.org/c0136-01.html>
- [26] J. Brandrup, E. H. Immergut, and E. A. Grulke. *Polymer Handbook*, 2nd ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 1975.
- [27] B. A. Miller-Chou and J. L. Koenig, "A review of polymer dissolution," *Prog. Polym. Sci.*, vol. 28, no. 8, pp. 1223–1270, Aug. 2003.
- [28] A. Mwasha, A. Armstrong-Richardson, and W. Wilson, "Management of polystyrene wastes using a supercritical solvent—propanone," *J. Assoc. Prof. Eng. Trinidad Tobago*, vol. 41, pp. 23–28, 2013.
- [29] *Methods of testing cement - Determination of strength*, BS EN 196-1:2016, May 2016. [Online]. Available: <https://knowledge.bsigroup.com/products/methods-of-testing-cement-determination-of-strength>
- [30] A. Milling, A. Mwasha, and H. Martin, "Exploring the full replacement of cement with expanded polystyrene (EPS) waste in mortars used for masonry construction," *Construct. Build. Mater.*, vol. 253, Aug. 2020. Art. no. 119158.
- [31] M. T. García, I. Gracia, G. Duque, A. D. Lucas, and J. F. Rodríguez, "Study of the solubility and stability of polystyrene wastes in a dissolution recycling process," *Waste Manag.*, vol. 29 no. 6, pp. 1814–1818, Jun. 2009.
- [32] V. Chovichian, "Properties of concrete," in *Concrete Technology*, 8th ed. Bangkok, Thailand: New Thaimit (in Thai), 1996, ch. 12, p. 149.
- [33] A. J. Bogas, J. Brito, and J. M. Figueiredo, "Mechanical characterization of concrete produced with recycled lightweight expanded clay aggregate concrete," *J. Cleaner Prod.*, vol. 89, pp. 187–195, Feb. 2015.
- [34] P. Joyklad and S. Areecharoen, "Mechanical properties of local cement-clay interlocking bricks in central part of Thailand," (in Thai), *SWU Eng. J.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–12, 2018.