



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุ mortars จากโฟม EPS ผลิตจากกรรมวิธีผสมร้อน

The properties of EPS mortar materials produced by hot mixing process

ศิริกัญญา เลาสุวรรณ* เวชสวรรค์ หล้าภาส ญตะพงษ์ ฮีราโน พรเทพพรณ อาสาสรรพกิจ เสริมศักดิ์ พงษ์เมษา
ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Sirikanya Laosuwan* Wechsawan Lakas Nutapong Hirano Praopun Asasuppakit Sermsak Pongmesa

Department of Industrial Technology, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiangmai 50300

* Corresponding author.

E-mail: sirikanya_lao@cmru.ac.th; Telephone: 0 61386 6981

วันที่รับบทความ 17 มิถุนายน 2567; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 27 ตุลาคม 2567; วันที่ตอบรับบทความ 14 ธันวาคม 2567

บทคัดย่อ

สถานการณ์ขยะโฟมในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานการณ์โควิด 19 ที่ผ่านมามีได้ก่อให้เกิดการสะสมของขยะโฟมเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและผู้คน ด้วยเหตุนี้การนำโฟมมารีไซเคิลจึงเป็นกระบวนการกำจัดขยะโฟมที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ในงานวิจัยนี้ได้ทำการรีไซเคิลขยะโฟมด้วยหลักการนำความร้อนมาทำการหลอมละลายโดยใช้ตัวกลางเป็นน้ำมันพืชที่อุณหภูมิ 180 องศา แล้วนำมาผสมกับทรายเพื่อหล่อขึ้นรูป โดยใช้อัตราส่วนในการผสมของมวลโฟมต่อมวลทรายคิดเป็นร้อยละ 17, 21, 25, 29, 33, 38, 42, 46 และ 50 และทิ้งให้ก้อนตัวอย่างเซตตัวเป็นเวลา 28 วัน จากนั้นจึงทดสอบหาความหนาแน่น, ค่ากำลังรับแรงดัด, ค่ากำลังรับแรงอัด และร้อยละการดูดซึมน้ำในช่วง 24 ชั่วโมง พบว่า ค่าความหนาแน่นและค่าการดูดซึมน้ำมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของโฟม ณ อัตราส่วนโฟมที่ร้อยละ 50 ค่าความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 1,393 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และร้อยละการดูดซึมน้ำในช่วง 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.98 ในขณะที่ค่ากำลังรับแรงดัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมของโฟม ณ อัตราส่วนโฟมที่ร้อยละ 50 ค่ากำลังรับแรงดัดจะมีค่าเท่ากับ 32.45 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ส่วนค่ากำลังรับแรงอัดจะมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนโฟมร้อยละ 46 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 120 กิโลกรัมต่อตารางเมตร จากผลการทดลองนี้สามารถกล่าวได้ว่าวัสดุโฟมผสมนี้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับอิฐมวลเบาและสูงกว่าอิฐมวลเบาซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างพื้นฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย จึงเป็นทางเลือกในอนาคตสำหรับการรีไซเคิลขยะที่ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

คำสำคัญ

การรีไซเคิลโฟม พลังงานความร้อน ค่าความหนาแน่นแห้ง ค่ากำลังรับแรงอัด ค่ากำลังรับแรงดัด การดูดซึมน้ำ

Abstract

The current situation with foam waste is on an upward trend due to increased usage, particularly during the COVID-19 pandemic, which led to an accumulation of foam waste. This has caused significant environmental and human health impacts. Consequently, recycling foam has become an environmentally friendly method for foam waste disposal. This study explores recycling foam waste using a thermal melting process, using 180°C vegetable oil as a conductor. The melted foam was then combined with sand at foam-to-sand mass ratios of 17%, 21%, 25%, 29%, 33%, 38%, 42%, 46%, and 50% and the samples were left to set for 28 days. The resulting samples were tested for density, flexural strength, compressive strength, and 24-hour water absorption. The results showed that density and water absorption decreased as the foam content increased. At a 50% foam ratio, the density was 1,393 kilograms per cubic meter, and the 24-hour water absorption rate was 1.98%. Conversely, flexural strength increased with higher foam content, reaching 32.45 kilograms per square meter at a 50% foam ratio. The highest compressive strength was observed at a 46% foam ratio, measuring 120

kilograms per square meter. These results suggest that the foam-sand composite exhibits properties similar to traditional clay bricks and even exceeds those of lightweight concrete blocks, indicating its potential as a viable alternative in future waste recycling efforts for sustainable construction materials.

Keywords

foam recycling; thermolysis; dry density; compressive strength; flexural strength; absorption

1. คำนำ

ขยะโฟมเป็นหนึ่งในปัญหาที่ต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วนในปัจจุบัน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณประชากร การเพิ่มขึ้นของความต้องการใช้การบรรจุภัณฑ์ และการจัดการขยะที่ไม่มีประสิทธิภาพ เป็นต้น ไม่เพียงเท่านั้น ในปี 2019 เกิดเหตุการณ์ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ที่สามารถติดต่อผ่านสิ่งของและการสัมผัสของผู้ติดเชื้อ ส่งผลให้การทำงานในเวลาจำเป็นต้องทำงานในสถานที่พักของตัวเองเพื่อหลีกเลี่ยงการติดเชื้อไวรัส ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้การอุปโภคบริโภคถูกบังคับให้จัดส่งผ่านระบบออนไลน์ทำให้ความต้องการในการใช้กล่องโฟมเป็นบรรจุภัณฑ์ใส่อาหารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การสั่งซื้ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ประโยชน์ในการทำงาน ณ ที่พักอาศัยมีอัตราการเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน [1] ทำให้ขยะที่มาจากกล่องโฟมและขยะที่มาจากโฟมกันกระแทกมีปริมาณเพิ่มขึ้น การแก้ไขปัญหาการเพิ่มขึ้นของขยะโฟมถูกหยิบยกขึ้นมาเป็นหัวข้อที่สำคัญอีกครั้ง การแก้ปัญหาที่ง่ายและไม่มีการรบกวนการขับเคลื่อนคือการนำกลับมาใช้ซ้ำ ประชาชนส่วนใหญ่จะใช้วิธีนี้เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ง่าย ถึงแม้จะเป็นวิธีที่ง่ายและไม่มีความซับซ้อนมาก วิธีนี้ก็กลับส่งผลเสียต่อร่างกายของเราเอง โดยมีความเสี่ยงต่อการได้รับสารพิษ [2] เนื่องจากโฟมมีส่วนประกอบของสารโพลิสไตรีนซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในร่างกายของมนุษย์และทำให้ระบบในร่างกายทำงานผิดปกติ [3]

การแก้ปัญหาขยะโฟมที่เพิ่มขึ้นนี้ ในปัจจุบันหน่วยงานหรือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นได้ดำเนินการจัดการกำจัดขยะเหล่านี้ออกเป็น 2 วิธี คือ 1. วิธีการฝังกลบขยะโฟม 2. วิธีการเผาขยะโฟม ถึงแม้จะเป็นวิธีที่กำจัดขยะโฟมได้รวดเร็วและปริมาณมาก แต่ผลกระทบที่เกิดขึ้นของทั้ง 2 วิธีนั้นจะส่งผลเสียต่อทั้งสิ่งแวดล้อมและผู้คน โดยวิธีฝังกลบจำเป็นต้องใช้พื้นที่มากกว่าขยะปกติถึง 3 เท่าและใช้เวลาย่อยสลายยาวนานถึง 450 ปี ซึ่งวิธีการฝังกลบจะส่งผลให้ดินมีสถานะ

เป็นพิษ พื้นที่ในบริเวณนั้นและพื้นที่ใกล้เคียงจะไม่สามารถใช้การอุปโภคบริโภคได้อีกหลายร้อยปี เนื่องจากพื้นดินส่วนนั้นจะมีส่วนประกอบของนาโนพลาสติกที่มาจากการสลายตัวของขยะโฟม [4] ไม่เพียงพื้นดินที่ใช้งานไม่ได้หากสารพิษเหล่านี้เกิดการปนเปื้อนลงสู่ น้ำใต้ดินจะส่งผลให้น้ำมีความเป็นพิษและไม่สามารถใช้น้ำเหล่านี้ในการอุปโภคบริโภคได้ [5] วิธีที่สองคือการเผาขยะโฟม วิธีนี้สามารถลดปริมาณขยะโฟมได้รวดเร็วและใช้ทั้งเวลา งบประมาณที่น้อย แต่ผลเสียของวิธีดังกล่าวกลับมีมากกว่าข้อดี เนื่องจากการเผาจะทำให้เกิดสารปนเปื้อนในบรรยากาศ เช่น สารไดออกซินที่ได้มาจากการเผา หรือ ไมโครพลาสติกที่ลอยในบรรยากาศ [6] นอกจากนี้หากวัสดุโฟมสัมผัสกับไนโตรเจนออกไซด์ในอากาศจะสามารถผลิตโอโซนในระดับพื้นดิน ซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศที่เป็นอันตรายต่อทางเดินหายใจและยังส่งผลต่อเส้นประสาทในร่างกายของมนุษย์ [7] อย่างไรก็ตามการแก้ไขปัญหาการเพิ่มขึ้นของขยะโฟมที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและผู้คนได้น้อยที่สุดคือวิธีการรีไซเคิลขยะโฟม

การรีไซเคิลขยะโฟมเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาการเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ในปี 2560 มีการใช้ประโยชน์จากวัสดุโฟมมากถึง 2.65 ล้านตัน ส่งผลให้เกิดเป็นขยะโฟมหลังจากการใช้ประโยชน์เสร็จสิ้นแล้ว โดยขยะโฟมที่เกิดขึ้นนี้สามารถรีไซเคิลได้เพียง 31.1% ของขยะโฟมทั้งหมดในทำนองเดียวกัน ประเทศไทยมีการใช้ประโยชน์จากพลาสติกและวัสดุโฟมรวมกันประมาณ 2.3 ล้านตัน เมื่อใช้งานเสร็จสิ้นแล้วจะกลายเป็นขยะในเวลาต่อมา ขยะเหล่านี้สามารถรีไซเคิลได้เพียง 21.7% ของขยะทั้งหมด [8] ในอดีตที่ผ่านมาได้มีความพยายามแก้ไขปัญหาโดยการนำขยะโฟมเหล่านี้ไปรีไซเคิลกระบวนการรีไซเคิลสามารถจำแนกออกเป็น 3 กระบวนการ คือ 1. การรีไซเคิลขยะโฟมโดยการใช้สารเคมี 2. การรีไซเคิลขยะโฟมโดยทางกล 3. การรีไซเคิลโดยใช้หลักเทอร์โมเคมี [9] การรีไซเคิลโดยใช้กระบวนการทางกล ใช้หลักการการให้ความ

ร้อนแก๊สไฮโดรเจนพร้อมทั้งใช้แรงดันอากาศควบคู่กันทำให้ไฮโดรเจนเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวส่งผลให้อากาศที่อยู่ในวัสดุโฟมระเหยออกไปจนเหลือแค่โฟมเหลว จากนั้นลดอุณหภูมิลงเพื่อให้โฟมกลับมาสู่เม็ดโฟมที่เป็นรูปดั้งเดิมของวัสดุโฟม [10,11] อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรเฉพาะซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง ไม่เพียงเท่านั้นกระบวนการยังใช้เวลาที่ค่อนข้างนาน กระบวนการที่สองใช้หลักการเทอร์โมเคมี กระบวนการนี้มีความคล้ายคลึงกับกระบวนการที่ 1 แต่ใช้หลักการความร้อนเข้าไปทำลายโมเลกุลของโฟม โดยนำไฮโดรเจนเข้าไปในเครื่องจักรที่เป็นลักษณะปิด จากนั้นให้ความร้อนแก๊สไฮโดรเจนที่อุณหภูมิสูงทำให้ไฮโดรเจนเหล่านี้เกิดการย่อยสลาย วิธีนี้เรียกว่า วิธีไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) [12] ทั้งนี้อุปสรรคของวิธีนี้คือค่าใช้จ่ายในการย่อยรีไซเคิลด้วยวิธีนี้ค่อนข้างจะสูงจะทำได้ก็ต่อเมื่อมีโรงงานหรือมีเครื่องจักรเฉพาะ จากทั้ง 2 วิธีที่ผ่านมาเป็นวิธีที่มีข้อเสียคือค่าใช้จ่ายในการรีไซเคิลค่อนข้างสูงและไม่สามารถใช้ได้โดยทั่วไป ดังนั้นวิธีที่ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อยคือกระบวนการรีไซเคิลโดยวิธีทางเคมี เนื่องจากวัสดุโฟมถูกผลิตขึ้นด้วยกระบวนการทางเคมี หากจะย่อยสลายหรือเปลี่ยนรูปร่างให้คืนสู่สภาวะเดิมสามารถใช้หลักการทางเคมีเข้ามาเปลี่ยนสภาวะได้ โดยสารเคมีบางชนิดสามารถทำลายพันธะทางเคมีของวัสดุโฟมในสภาวะของแข็งให้กลับมาเป็นของเหลวได้โดยสารละลายที่สามารถทำลายพันธะของโฟมได้คือสารละลายประเภท โทลูอีน (toluene) น้ำมันสน เมทิลอะซิเตท (Methyl Acetate) ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งสารละลายเหล่านี้จะแปรสภาพไฮโดรเจนของแข็งให้กลายเป็นของเหลวเพื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่น [13] โฟมที่ถูกละลายโดยสารเคมีจะยังคงสภาพของคุณสมบัติของวัสดุโฟมอยู่ โดยมีความยืดหยุ่น และน้ำหนักเบา ด้วยเหตุนี้ในงานทางวิศวกรรมเองได้นำการรีไซเคิลวัสดุโฟมโดยวิธีนี้มาใช้ประโยชน์โดยการใช้สารละลายอินทรีย์แอซิโตนละลายโฟมให้อยู่ในสภาวะของเหลวจากนั้นนำไปใช้เคลือบวัสดุงานทางทำให้ผิวถนนมีความยืดหยุ่นสูงขึ้น [14] หรือนำมาปรับปรุงวัสดุชั้นผิวทาง[15] ไม่เพียงเท่านั้น การนำเม็ดโฟมที่ถูกละลายแล้วมาผสมกับคอนกรีตเพื่อปรับปรุงคอนกรีตให้มีกำลังรับแรงดัดและแรงอัดเพิ่มขึ้น[16,17] นอกจากนี้ยังมีการนำไฮโดรเจนมาหลอมในอุณหภูมิที่ต่ำเป็นเวลานานทำให้โฟมหลอมละลายและแข็งตัวให้เป็นวัสดุมวลรวมเม็ดหยาบเพื่อทดแทนทรายหรือ

กรวดในงานก่อสร้าง [18] แม้กระทั่งมีการนำโฟมไปเป็นส่วนผสมของสีน้ำมัน [19] ดังนั้นการรีไซเคิลไฮโดรเจนเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในทางวิศวกรรมจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณไฮโดรเจน ถึงแม้ว่าความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากการรีไซเคิลไฮโดรเจนจะมีเพิ่มขึ้นแต่งานก่อสร้างมีขนาดใหญ่ดังนั้นปริมาณในการใช้รีไซเคิลจะมากขึ้น อีกกระบวนการหนึ่งของการรีไซเคิลโดยใช้งบประมาณที่น้อยที่สุดคือกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนที่ไม่สมบูรณ์ในภาวะที่ปราศจากออกซิเจนหรือมีออกซิเจนน้อยที่สุด โดยความร้อนทำให้พันธะที่เชื่อมกันระหว่างโมเลกุลเกิดการแตกตัว [20] ในกระบวนการนี้ต้องการเพียงตัวกลางนำความร้อนเพื่อให้ไฮโดรเจนเกิดการแตกตัวของโมเลกุลซึ่งตัวกลางนำความร้อนนี้สามารถนำน้ำมันพืชมาเป็นตัวกลางได้โดยมีผลสรุปจากงานวิจัยที่ญี่ปุ่นซึ่งหาแนวทางการรีไซเคิลกล่องโฟมที่ใส่ปลาเพื่อนำไปยังร้านค้า ได้นำน้ำมันพืชมาเป็นตัวกลางและให้ความร้อนผ่านน้ำมันพืชทำให้กล่องโฟมละลายถูกละลายโดยอยู่ในสภาวะเป็นของเหลว [21]

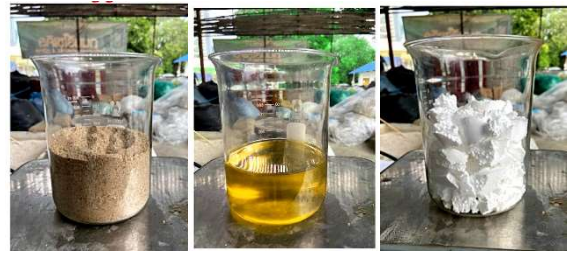
จากการศึกษาการรีไซเคิลไฮโดรเจนข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการรีไซเคิลโดยใช้ความร้อนผ่านตัวกลางทำให้โมเลกุลภายในไฮโดรเจนเกิดการแตกตัวและกลายเป็นสภาวะของเหลวซึ่งตัวกลางดังกล่าวในงานวิจัยนี้จะใช้น้ำมันพืชตามท้องตลาด เมื่อทำให้โฟมอยู่ในสภาวะของเหลวแล้วจึงนำไปผสมกับวัสดุเม็ดหยาบ โดยโฟมที่เป็นสภาวะของเหลวจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานให้กับวัสดุเม็ดหยาบรวมกันอยู่ในสถานะของแข็ง จากนั้นจะศึกษาพฤติกรรมทางวิศวกรรมของส่วนผสมนี้โดยมุ่งเน้นไปที่ค่าความหนาแน่น ค่ากำลังรับแรงดัด ค่ากำลังรับแรงอัด และร้อยละการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง อีกทั้งงานวิจัยนี้ยังคาดหวังให้เป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาไฮโดรเจน

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

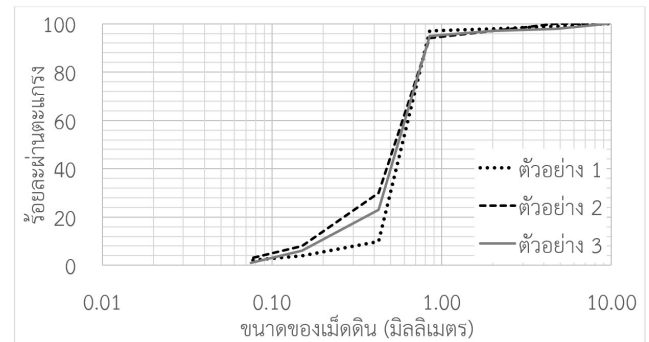
2.1 วัสดุในงานวิจัย

ในงานวิจัย ได้ทำการแบ่งวัสดุที่ใช้ในการผสมออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนเม็ดหยาบ และส่วนที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสาน ดังรูปที่ 1 ซึ่งส่วนที่เป็นเม็ดหยาบได้ทำการเลือกใช้

ทราย ประเภทขนาดคละไม่ดี (Poorly grade sand; SP) ตามมาตรฐาน USCS (Unified Soil Classification System) [22] มาเป็นวัสดุเม็ดหยาบ เนื่องจากทรายประเภทนี้มีขนาดของเม็ดดินที่มีความใกล้เคียงกันเป็นส่วนใหญ่ ดังกราฟแสดงการกระจายขนาดของเม็ดดินในรูปที่ 2 และโดยทั่วไป ทรายประเภท SP จะมีค่าอัตราส่วนของช่องว่างระหว่างเม็ดดินอยู่ที่ $0.30 - 0.75$ [23,24] ซึ่งเหมาะแก่การให้สารละลายโฟมแทรกเข้าไปยึดจับกับตัวทรายมากกว่าทรายที่มีขนาดคละดีที่มีขนาดเม็ดทรายที่หลากหลาย เป็นผลทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดทรายมีน้อย เป็นผลให้การแทรกตัวของโฟมทำได้น้อยกว่า ซึ่งทรายที่นำมาวิจัยมีค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity) เท่ากับ 3.16 ค่าสัมประสิทธิ์ความโค้ง (Coefficient of curvature) เท่ากับ 1.94 ค่า D_{50} อยู่ที่ $500 - 600 \mu\text{m}$ และร้อยละของเม็ดดินเหนียว = 0 และมีการกระจายขนาดของเม็ดดินดังแสดงในรูปที่ 2 โดยที่ขนาดเม็ดดินกว่าร้อยละ 75 มีขนาดอยู่ที่ $0.5 - 0.8$ มิลลิเมตร มาผสมกับส่วนที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสาน นั่นคือโฟมเหลวที่ใช้ น้ำมันพืชในการนำความร้อนเพื่อทำการหลอมละลาย โดยที่ชนิดของน้ำมันพืชที่ได้ทำการเลือกใช้ในงานวิจัยคือ น้ำมันถั่วเหลือง (Soybean Oil) ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่าย ราคาถูก และทำปฏิกิริยาทางความร้อนได้ดี มีคุณสมบัติในการทำละลายโฟมด้วยพลังงานความร้อน เพื่อให้สายพอลิเมอร์เกิดการแตกหักหรือขาด [25] และโฟมที่เลือกใช้คือ โฟม EPS (Expanded Polystyrene) ที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุรองรับกระแทก เนื่องจากโฟมชนิดนี้สามารถรับน้ำหนักและเป็นฉนวนกันน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำ และมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 15-500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรขึ้นอยู่กับการผลิต โดยส่วนใหญ่แล้วอัตราส่วนของโพลิสไตรีนจะอยู่ที่ร้อยละ 2 และเป็นอากาศในช่องว่างอีกร้อยละ 98 จึงเป็นเหตุที่ทำให้โฟมเป็นวัสดุที่การขยายตัวของปริมาตรได้มาก แต่มีน้ำหนักเบา จึงเป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากโฟมมีขนาดใหญ่ ต้องการพื้นที่ในการจัดเก็บมาก เป็นปัญหาต่อการขนย้ายและการกำจัด ซึ่งโฟมที่ถูกนำมาใช้ในการวิจัยเป็นของใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานเพื่อลดการปนเปื้อนของสิ่งอื่น โดยหากการใช้งานจริงเป็นการรีไซเคิลจากขยะโฟม ควรมีการทำความสะอาดสิ่งสกปรกก่อนการใช้งาน



รูปที่ 1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 2 การกระจายขนาดของเม็ดดินเทียบกับร้อยละผ่านตะแกรง

2.2 การออกแบบส่วนผสมของวัสดุและวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำโฟมเหลวจากการหลอมละลายโฟมด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ประเภทน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนจนสามารถทำการละลายโฟมก่อนให้กลายเป็นโฟมเหลว เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานให้กับทรายที่ไม่มีความสามารถในการเชื่อมแน่นยึดเกาะกัน (cohesion = 0) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้มีการเปรียบเทียบคุณสมบัติในเชิงวิศวกรรมทั้งทางด้านคุณสมบัติทางด้านหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศ การทดสอบการรับแรงดัด การทดสอบกำลังรับแรงอัด และการทดสอบการดูดซึมน้ำของวัสดุที่มีอัตราส่วนของทรายต่อน้ำมันพืชที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ด้วยอัตราส่วนคงที่ 3 : 1 และระหว่างน้ำมันพืชกับโฟมเริ่มต้นที่ 1 : 0.5 โดยพิจารณาอัตราส่วนของโฟมเมื่อละลายด้วยความร้อน มีปริมาณเพียงพอต่อการยึดเกาะตัวกันของทรายในอัตราส่วนเริ่มต้น จากนั้นจึงเพิ่มปริมาณโฟมไปจนถึงอัตราส่วนระหว่างน้ำมันพืชกับโฟมที่ 1 : 1.5 หรือปริมาณโฟมมากกว่าเริ่มต้น สามเท่า เป็นผลทำให้ร้อยละของมวลเนื้อโฟมเมื่อเทียบกับมวลทรายจะเริ่มต้นที่ 17 จนถึงร้อยละ 50 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของอัตราส่วนผสม

อัตราส่วน (โดยมวล)			ร้อยละของ โฟมต่อทราย (ร้อยละมวล ต่อมวล)
ทราย (S)	น้ำมันพืช (O)	โฟม (F)	
3	1	0.5	17
3	1	0.63	21
3	1	0.75	25
3	1	0.87	29
3	1	1	33
3	1	1.13	38
3	1	1.25	42
3	1	1.38	46
3	1	1.5	50

2.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

หลักในการผสมตัวอย่างในงานวิจัยจะใช้กรรมวิธีแบบการผสมร้อน (Hot Mix) ทำการผสมในขณะที่วัสดุเม็ดหยาบและตัวเชื่อมประสานมีความร้อนที่อุณหภูมิใกล้เคียงกัน เพื่อให้วัสดุทั้งสองชนิดสามารถผสมเข้ากันได้เป็นอย่างดี โดยทำการผสมตัวอย่างดังอัตราส่วนที่กำหนดในตารางที่ 1 ทำการควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันให้อยู่ที่ 200 ± 10 องศาเซลเซียส เพื่อให้ขี้เถ้าสามารถหลอมละลายได้ทั่วถึง เมื่อทำการละลายขี้เถ้าจนเป็นของเหลวดังรูปที่ 3 จึงนำมาผสมร้อนกับทรายที่ผ่านการคว่ำและควบคุมที่อุณหภูมิเดียวกันคือ 200 ± 10 องศาเซลเซียส แล้วเทวัสดุผสมลงในแบบหล่อมาตรฐาน ASTM C109 ขนาดกว้างxสูงxยาว เท่ากับ $4 \times 4 \times 16$ เซนติเมตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 4 และ 5 จากนั้นนำมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งถึงวันทดสอบที่อายุ 28 วัน ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศ การทดสอบการรับแรงดัด การทดสอบกำลังรับแรงอัด และการทดสอบการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3 หลอมละลายโฟม EPS ด้วยความร้อน



รูปที่ 4 แบบหล่อมาตรฐานขนาด 4x4x16 ซม.



รูปที่ 5 วัสดุผสมตามอัตราส่วนในแบบมาตรฐาน

2.4 การทดสอบ

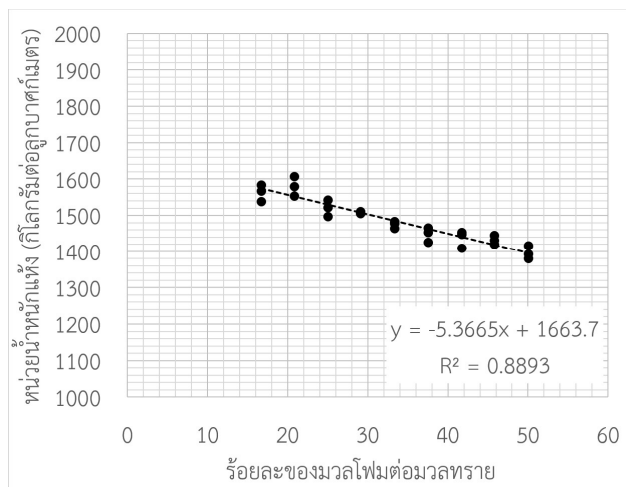
การทดสอบหาค่าคุณสมบัติด้านความหนาแน่นแห้งของวัสดุของ ASTM D7263-21 [26] การทดสอบค่ากำลังรับแรงดัดตามมาตรฐาน ASTM C293/C293M [27] การทดสอบกำลังรับแรงอัดจะใช้แบบการทดสอบตามมาตรฐานการ

ทดสอบมอร์ตาร์ ตามมาตรฐานของ British Standards Institution [28] และการวัดค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐานของ ASTM C67-11 [29]

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 คุณสมบัติทางด้านหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศของตัวอย่าง

หลังจากผสมตัวอย่างดังอัตราส่วนผสมในตารางที่ 1 แล้วทำการตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งถึงวันทดสอบที่อายุ 28 วัน จากนั้นจึงนำก้อนตัวอย่างในแต่ละอัตราส่วนผสมมาชั่งน้ำหนักเทียบกับปริมาตรของก้อนตัวอย่างในแต่ละก้อน เพื่อหาคุณสมบัติทางด้านหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศของตัวอย่างตาม ASTM D698-12 ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของมวลโพลีเมอร์ต่อมวลทรายต่อค่าหน่วยน้ำหนักแห้ง

ผลจากการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศของก้อนตัวอย่าง พบว่า เมื่อทำการละลายโพลีเมอร์ให้เป็นกาวโพลีเมอร์ กาวโพลีเมอร์จึงเข้าไปทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานโดยการเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างช่องว่างระหว่างเม็ดดินทรายแทนที่อากาศที่มีอยู่เดิม ทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งของก้อนตัวอย่างมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยผลของพฤติกรรมแบบนี้แสดงให้เห็นในช่วงร้อยละของมวลโพลีเมอร์ต่อมวลทรายในช่วงแรกที่มีปริมาณมวลโพลีเมอร์น้อยคือที่ ร้อยละ 17 ถึง 20 โดยที่ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณโพลีเมอร์ที่ใส่ไป ดังแสดงในรูปที่ 7 – 8 ซึ่งภาพตัดขวางของก้อนตัวอย่าง

ด้วยเครื่อง digital microscope ที่กำลังขยาย 2000 เท่า เพื่อแสดงพฤติกรรมของการจับตัวของโพลีเมอร์กับทราย

แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของโพลีเมอร์มากขึ้นจนปริมาตรโพลีเมอร์เกินปริมาตรช่องว่าง โพลีเมอร์จะเข้าไปแทนที่ในส่วนของวัสดุเม็ดหยาบ(ทราย) เป็นผลทำให้ความหนาแน่นของก้อนวัสดุมีค่าที่ลดลงในกราฟช่วงหลัง ตั้งแต่ร้อยละของมวลโพลีเมอร์ต่อมวลทรายที่ 20 ถึง 50 ดังแสดงในรูปที่ 8 – 9 เนื่องจากค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์ที่ถูกหลอมละลายเมื่อเทียบกับค่าความหนาแน่นของทรายแล้ว จะมีค่าประมาณ 0.7 เท่า[30,31] จึงเป็นผลทำให้ยังอัตราส่วนผสมมีโพลีเมอร์เป็นส่วนประกอบที่มากขึ้นค่าความหนาแน่นที่ได้จะยังมีค่าลดลงตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 6 โดยมีค่าความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของมวลโพลีเมอร์ต่อมวลทรายต่อค่าหน่วยน้ำหนักแห้ง ดังสมการ

$Y = [-5.3665X + 1663.7]$ และมีค่า R-square อยู่ที่ 0.8893



รูปที่ 7 ภาพตัดขวางของก้อนตัวอย่างที่มีปริมาณโพลีเมอร์ร้อยละ 17



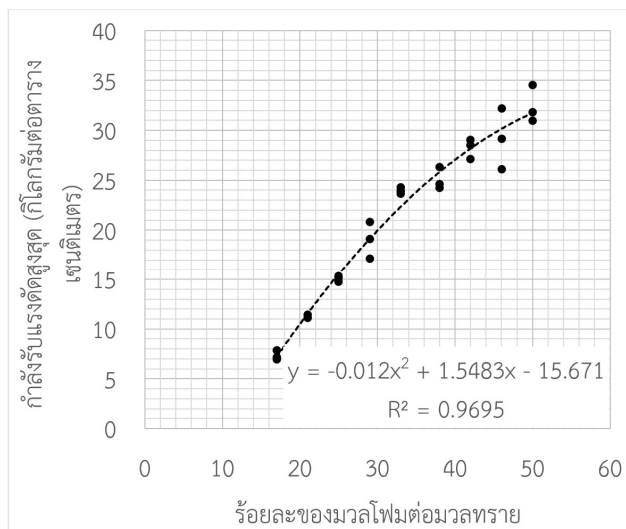
รูปที่ 8 ภาพตัดขวางของก้อนตัวอย่างที่มีปริมาณโพลีเมอร์ร้อยละ 20



รูปที่ 9 ภาพตัดขวางของก้อนตัวอย่างที่ปริมาณโพรยละเอียด 50

3.2 การทดสอบการรับแรงดัด

การทดสอบความสามารถในการรับแรงดัดของวัสดุ เป็นการทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับวัสดุ ในรูปทรงคานและการเปลี่ยนแปลงในช่วงสภาวะยืดหยุ่นของ วัสดุ ตามมาตรฐาน ASTM C293/C293M Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading) โดยทำการ ทดสอบที่ร้อยละของมวลโพรต่อมวลทรายที่แตกต่างกัน



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของมวลโพรต่อมวล ทรายต่อกำลังรับแรงดัดสูงสุด

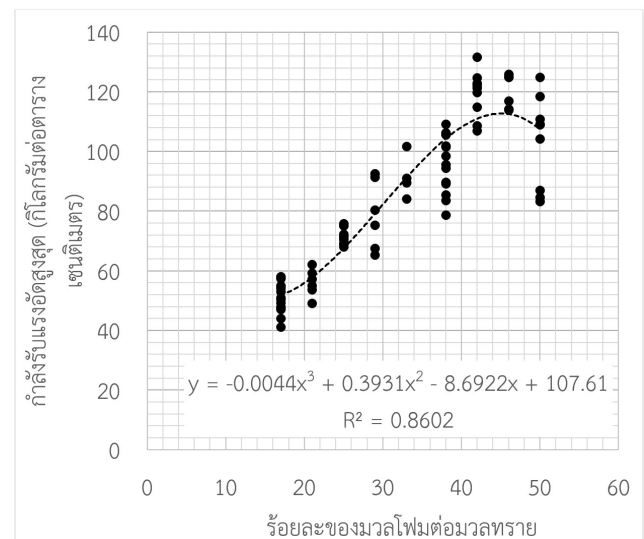
จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อร้อยละของมวลโพรต่อมวล ทรายมีค่าเพิ่มมากขึ้น ความสามารถในการรับแรงดัดจะเพิ่ม มากขึ้น เป็นผลทำให้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดที่ตัววัสดุทดสอบ จะรับได้ก่อนเกิดการวิบัติมีค่าสูงขึ้นตาม ดังแสดงในรูปที่ 10

และเมื่อพิจารณาจากภาพตัดขวางของก้อนตัวอย่างที่ปริมาณ โพรยละเอียด 50 ด้วยเครื่อง digital microscope ที่กำลังขยาย 2000 เท่า ดังรูปที่ 9 จะเห็นว่าวัสดุมีเนื้อโพรเคลือบและแทบ ไม่มีช่องว่างระหว่างเม็ดดิน อีกทั้งทรายบางส่วนยังถูกแทนที่ ด้วยโพรเหลว อัตราส่วนของโพรที่มากขึ้นนี้จึงส่งผลต่อการรับ แรงดัดของวัสดุ เนื่องจากพลาสติกโพรมีคุณสมบัติที่มีทั้งความ ยืดหยุ่นและคืนตัวได้ในสภาวะที่รับแรงดัด [32] ในขณะที่วัสดุ ทรายเป็นดินประเภทที่ไม่มีความเชื่อมแน่น ไม่สามารถยึดเกาะ กันได้ จึงไม่มีความสามารถในการรับแรงดัด เป็นผลให้เมื่อเพิ่ม ร้อยละของมวลโพรต่อมวลทรายที่มากขึ้น ค่าความสามารถใน การรับแรงดัดเพิ่มขึ้นตามความสัมพันธ์ที่ได้ ดังสมการ

$Y = [-0.012X^2 + 1.5483X - 15.671]$ และ มี ค่า R-square อยู่ที่ 0.9695

3.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

การทดสอบกำลังรับแรงอัดเป็นกระบวนการทดสอบทาง วิศวกรรมที่ใช้เพื่อวัดความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุ ต่อแรงอัด ซึ่งการทดสอบกำลังรับแรงอัดจะใช้มาตรฐาน BS EN 196-1 Standard เพื่อทดสอบวัสดุที่ออกแบบอัตรา ส่วนผสมดังตาราง 1 เพื่อวิเคราะห์หาค่าความสามารถในการ รับแรงอัดที่ร้อยละของมวลโพรต่อมวลทรายที่เปลี่ยนไป



รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของมวลโพรต่อมวล ทรายต่อกำลังรับแรงอัดสูงสุด

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างวัสดุต่อการเปลี่ยนร้อยละของมวลโฟมต่อมวลทราย พบว่า เมื่อทำการเพิ่มค่าร้อยละของโฟมมากขึ้น ค่าความสามารถในการรับแรงอัดของวัสดุมีค่ามากขึ้นตาม แต่เมื่อเพิ่มจนถึงจุดจุดหนึ่ง ค่าความสามารถในการรับแรงอัดจะมีค่าลดลง ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ดังกล่าวทำให้สามารถพิจารณาผลการทดสอบและวิเคราะห์ได้โดยทำการแบ่งออกเป็น 2 ช่วงดังแสดงในรูปที่ 11 โดยที่ช่วงแรกคือเมื่อทำการเพิ่มร้อยละของมวลโฟมต่อมวลทราย ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนร้อยละของโฟมที่มากขึ้น ดังแสดงในช่วงร้อยละของมวลโฟมต่อมวลทรายที่ 17 - 46 แต่เมื่อร้อยละของมวลโฟมต่อมวลทรายเพิ่มจนถึงจุดๆหนึ่ง ค่าความสามารถในการรับแรงอัดจะมีค่าลดลง ดังแสดงในช่วงหลังที่ร้อยละของมวลโฟมต่อมวลทรายอยู่ที่ 46 - 50 เนื่องจากปริมาณร้อยละของโฟมที่มากเกินไปแทนที่มวลทรายซึ่งมีความสามารถในการรับแรงอัดที่มากกว่า ส่งผลทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดลดลง ซึ่งพฤติกรรมค่ากำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่เกิดขึ้นมีทิศทางของผลการทดสอบที่สอดคล้องกับวัสดุผสมที่มีส่วนผสมของโฟมที่ถูกทำลายด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ [33] โดยมีค่าความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของมวลโฟมต่อมวลทรายต่อกำลังรับแรงอัดสูงสุด ดังสมการ

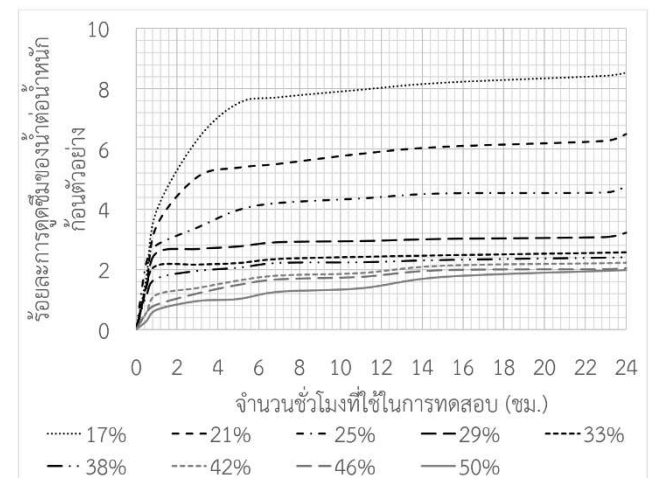
$$Y = [-0.0044X^3 + 0.3931X^2 - 8.6922X + 107.61]$$
 และ
มีค่า R-square อยู่ที่ 0.8602

3.4 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

ในการทดสอบการดูดซึมน้ำในก้อนตัวอย่าง จะเป็นการทดสอบก้อนตัวอย่างหลังครบระยะเวลา 28 วัน ก่อนที่จะนำไปทดสอบการรับกำลัง โดยเริ่มจากก้อนตัวอย่างในสภาวะแห้งแล้วทำการแช่ก้อนตัวอย่างในน้ำสะอาด โดยจะมีการวัดค่าการดูดซึมน้ำโดยละเอียดทุกๆชั่วโมง จนครบระยะเวลาทั้งหมด 24 ชั่วโมงเพื่อดูร้อยละการดูดซึมน้ำต่อจำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการทดสอบ และสรุปร้อยละการดูดซึมน้ำต่อน้ำหนักก่อนตัวอย่างที่เวลาครบ 24 ชั่วโมงต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละมวลโฟมต่อมวลทรายที่เกิดขึ้น

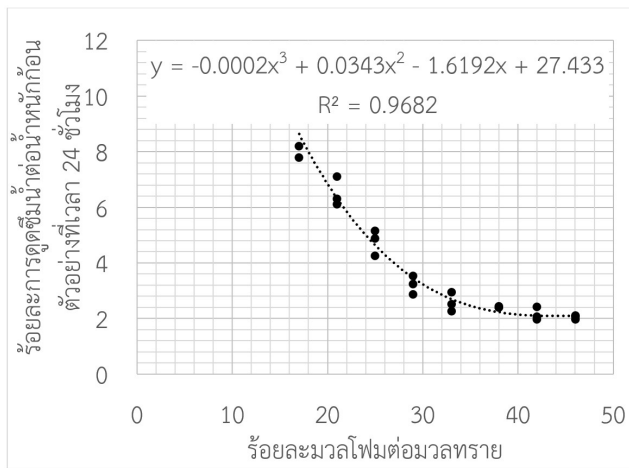
จากรูปที่ 12 เป็นการแสดงค่าเฉลี่ยของร้อยละการดูดซึมน้ำของน้ำโดยเทียบระหว่างน้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักก้อน

ตัวอย่าง โดยที่แต่ละเส้นกราฟแสดงถึงร้อยละของมวลโฟมต่อมวลทราย โดยที่ 17% 21% 25% 29% 33% 38% 42% 46% และ 50% หมายถึง ร้อยละของมวลโฟมต่อมวลทรายของก้อนตัวอย่างอยู่ที่ 17 21 25 29 33 38 42 46 และ 50 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบได้แสดงให้เห็นว่า ในช่วงระยะเวลา 2 ชั่วโมงแรก จะเริ่มเห็นความต่างของค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของน้ำเข้าสู่ก้อนตัวอย่างในแต่ละร้อยละของมวลโฟมต่อมวลทรายได้อย่างชัดเจน



รูปที่ 12 เปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำ ในช่วง 24 ชั่วโมง

ร้อยละการดูดซึมน้ำของน้ำเข้าสู่ก้อนตัวอย่างที่ 17 จะให้ค่าสูงสุด และที่ 50 จะให้ค่าต่ำที่สุด และเมื่อครบจำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการทดสอบ 24 ชั่วโมง ผลสุดท้ายของร้อยละการดูดซึมน้ำของน้ำเข้าสู่ก้อนตัวอย่างยังคงสอดคล้องกับในช่วง 2 ชั่วโมงแรก และเมื่อสรุปผลการทดสอบที่เวลาการทดสอบครบ 24 ชั่วโมง จะได้ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำต่อน้ำหนักของมวลโฟมต่อมวลทรายดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 ร้อยละของการดูดซึมน้ำก่อนนำหนักก่อนตัวอย่างที่เวลา 24 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณาค่าการดูดซึมน้ำที่ได้จากงานวิจัยนี้ พบว่ามีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาวัสดุที่มีโพลีเมอร์ในซีเมนต์มอร์ตาร์ [34] โดยที่ร้อยละของการดูดซึมน้ำก่อนนำหนักก่อนตัวอย่างที่เวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 13 นั้น ได้บ่งบอกถึงปริมาณของน้ำที่สามารถซึมเข้าก่อนตัวอย่างได้ จากรูปจะเห็นว่า ร้อยละมวลโพลีเมอร์ต่อมวลทรายที่ 17 มีการดูดซึมน้ำสูงที่สุด และจะมีอัตราการดูดซึมของน้ำที่ต่ำลงเมื่อเพิ่มมวลโพลีเมอร์ต่อมวลทราย เนื่องจากที่ร้อยละมวลโพลีเมอร์ต่อมวลทรายที่ 17 ก้อนตัวอย่างยังมีช่องว่างระหว่างเม็ดทรายเป็นจำนวนมาก ดังรูปที่ 7 ส่งผลทำให้น้ำสามารถถูกดูดซึมเข้าไปในช่องว่างได้มาก แต่ที่ร้อยละมวลโพลีเมอร์ต่อมวลทรายที่ 50 ช่องว่างระหว่างเม็ดทรายเต็มไปด้วยโพลีเมอร์ที่แทรกตัวเข้าไป ส่งผลทำให้เหลือช่องว่างน้อย การดูดซึมน้ำจึงมีค่าน้อยที่สุด โดยมีเส้นแนวโน้มแสดงอัตราการลดลงแบบโค้งของกราฟในช่วงแรกและคงที่ในช่วงหลัง ดังสมการ

$Y = [-0.0002x^3 + 0.0343x^2 - 1.6192x + 27.433]$ และ มีค่า R-square อยู่ที่ 0.9682

4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาด้วยการนำเอาโพลีเมอร์ชนิด EPS มาทำการหลอมละลายโดยใช้หลักการนำความร้อนตัวกลางที่เป็นน้ำมันพืช ผสมกับวัสดุเม็ดทรายประเภทขนาดละเอียด (SP) นำมาหล่อขึ้นรูปเป็นก้อนตัวอย่าง แล้วทดสอบคุณสมบัติเพื่อ

หาค่าคุณสมบัติด้านความหนาแน่นแห้งของวัสดุ ค่ากำลังรับแรงดัดและการทดสอบกำลังรับแรงอัดจะใช้แบบการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบมอร์ตาร์ และค่าการดูดซึมน้ำจากมาตรฐาน พบว่า ความหนาแน่นแห้งของวัสดุจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นในช่วงที่ร้อยละของมวลโพลีเมอร์น้อยอยู่ คือไม่เกินร้อยละ 20 เนื่องจากช่วงนี้โพลีเมอร์ยังสามารถแทรกไปในช่องว่างระหว่างเม็ดดินได้ แต่เมื่อร้อยละของโพลีเมอร์มากขึ้น โพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักเบาที่จะเข้าไปแทนที่เนื้อทราย เป็นผลทำให้ก้อนตัวอย่างมีค่าความหนาแน่นแห้งลดลงตามปริมาณร้อยละของโพลีเมอร์ที่เพิ่มมากขึ้น จนสุดท้าย ที่ร้อยละมวลโพลีเมอร์ต่อมวลทรายอยู่ที่ 50 ค่าความหนาแน่นแห้งของก้อนตัวอย่าง ขนาด 4x4x16 เซนติเมตรอยู่ที่ 1,393 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เมื่อพิจารณาถึงค่ากำลังรับแรงดัดและการทดสอบกำลังรับแรงอัด ซึ่งใช้การทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบมอร์ตาร์ พบว่า ความสามารถในการรับแรงดัดของวัสดุที่ใช้โพลีเมอร์ที่เกิดจากการหลอมละลายมาเป็นตัวเชื่อมประสานและกลับมาแข็งเป็นพลาสติกเมื่อเย็นตัวลงแล้วนั้น ความสามารถในการรับแรงดัดจะมีค่าสูงเพิ่มมากขึ้นตามร้อยละของมวลโพลีเมอร์ที่ใส่เข้าไป เนื่องจากพลาสติกโพลีเมอร์เข้าไปทำหน้าที่ยึดเกาะให้ทรายคงรูปได้อีกทั้งคุณสมบัติของพลาสติกโพลีเมอร์มีความยืดหยุ่นสูงกว่าวัสดุทรายที่เป็นเม็ดหยาบ จึงเป็นผลทำให้ที่ร้อยละของมวลโพลีเมอร์ต่อมวลทรายที่ 50 มีค่าเฉลี่ยความสามารถในการรับแรงดัดสูงสุดคือ 32.45 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และเมื่อพิจารณาถึงกำลังรับแรงอัดของวัสดุทดสอบจะมีค่ามากที่สุดอยู่ที่ร้อยละของมวลโพลีเมอร์ต่อมวลทราย เท่ากับ 46 ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 120.14 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อเพิ่มร้อยละของมวลโพลีเมอร์ต่อมวลทรายเป็น 50 ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดเฉลี่ยจะลดลงมา 14% เหลืออยู่ที่ 103.50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

แต่เมื่อทำการพิจารณาค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุทดสอบ ผลการดูดซึมน้ำของน้ำจะมีค่าลดลง ซึ่งแปรผกผันกับร้อยละของมวลโพลีเมอร์ต่อมวลทรายที่ใส่เพิ่มมากขึ้น กล่าวคือ ที่ร้อยละของมวลโพลีเมอร์ต่อมวลทรายเท่ากับ 50 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำก่อนนำหนักก่อนตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมงจะมีน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 1.98 ในขณะที่ร้อยละของมวลโพลีเมอร์ต่อมวลทรายที่น้อยที่สุดคือ 17 มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำก่อนนำหนัก

ก่อนตัวอย่างที่ระยะเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมงเท่ากับร้อยละ 8.53

จากผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆทางด้านวิศวกรรม จะเห็นว่า วัสดุในงานวิจัยที่มีแนวคิดในการนำโฟมมาทำการรีไซเคิลเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานให้กับทรายในการคงสภาพนั้น มีคุณสมบัติในการรับแรงดัด แรงอัด วัสดุที่มีความสามารถในการซึมน้ำต่ำ และยังมีน้ำหนักที่เบาขึ้นเมื่อปริมาณของโฟมในวัสดุเพิ่มมากขึ้นด้วย และเมื่อเทียบค่าความสามารถในการรับแรงดัดกับมาตรฐานของวัสดุประเภทอิฐที่นิยมใช้ในงานก่อสร้าง คือ อิฐมวลเบาและอิฐมอญ พบว่าอิฐมวลเบาที่มีค่ากำลังรับแรงดัดอยู่ที่ 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร [35] เมื่อเทียบกับวัสดุในงานวิจัยชิ้นนี้ ที่อัตราส่วนโฟมร้อยละ 46 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 120 กิโลกรัมต่อตารางเมตร สามารถรับแรงดัดได้มากกว่าถึง 2.4 เท่าของอิฐมวลเบา แต่เมื่อเทียบกับมาตรฐานของอิฐมอญ ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงดัดอยู่ที่ 173.35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร [36] วัสดุในงานวิจัยชิ้นนี้มีค่ากำลังรับแรงดัดอยู่ที่ 0.7 เท่าของอิฐมอญ จึงกล่าวได้ว่าวัสดุที่ได้จากงานวิจัยนี้ นอกจากจะสามารถนำมาช่วยลดปัญหาเรื่องการกำจัดขยะโฟมที่ยากต่อการย่อยสลายแล้วนั้น ยังสามารถนำมาพัฒนานำไปใช้งานในด้านวิศวกรรมได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนเป็นอย่างดีจากโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีบล็อกรีไซเคิลเพื่อลดขยะพลาสติกในชุมชนการท่องเที่ยวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และบริษัท ASIA GREEN ROAD ที่ให้การสนับสนุน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ganguly, RK, Chakraborty SK. Plastic waste management during and post Covid19 pandemic: Challenges and strategies towards circular economy. *Heliyon*. 2024; 10(4): 1-15.
- [2] Rodseeda C, Chatsantiprapa K. Risk from Consuming Food from Polystyrene Foam Package. *KKU Research Journal*. 2010; 10(2): 39-48.
- [3] Yanagiba Y, Ito Y, Yamanoshita O, Zhang S, Watanabe G, Taya K, et al. Styrene trimer may increase thyroid hormone levels via down-regulation of the Aryl Hydrocarbon Receptor (AhR) target gene UDP-Glucuronosyltransferase. *Environmental Health Perspectives*. 2008; 116(6): 740-745.
- [4] Perez-Reveron R, Alvarez-Mendez SJ, Gonzalez-Salamo J, Socas-Hernandez C, Diaz-Pena FJ, Hernandez-Sanchez C, et al. Nanoplastics in the soil environment: Analytical method, occurrence, fate and ecological implications. *Environmental Pollution*. 2023; 317: 1-15.
- [5] Kamaruddin MA, Yusoff MS, Rui LM, Isa AM, Zawawi MH, Alrozi R. An overview of municipal solid waste management and landfill leachate treatment: Malaysia and Asian perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017; 24(35): 26988-27020.
- [6] Wang Y, Nan L, Jian Z, Guanyi C. Characteristics and trends of research on waste-to-energy incineration: A bibliometric analysis, 1999–2015. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016; 66: 95-104.
- [7] Levin BC, Kuligowski E. Combustion toxicology. *Encyclopedia of Toxicology (Second Edition)*. P. Wexler. New York: Elsevier. 2005. Available from: <https://www.nist.gov/publications/combustion-toxicology/> [Accessed 29th May 2024]
- [8] Plastics Europe association of plastics manufacturers. *Plastics - the Facts 2017*. Belgium. 2018. Available from: <https://plastics-europe.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2017/> [Accessed 27th June 2023].
- [9] Magnin A, Pollet E, Perrin R, Ullmann C, Persillon C, Phalip V, et al. Enzymatic recycling of thermoplastic polyurethanes: Synergistic effect of an esterase and an amidase and recovery of building blocks. *Waste Manage*. 2019; 85: 141-150.

- [10] Zia KM, Bhatti HN, Ahmad Bhatti I. Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review. *Reactive and Functional Polymers*. 2007; 67(8): 675-692.
- [11] Hulme AJ, Goodhead TC. Cost effective reprocessing of polyurethane by hot compression moulding. *Journal of Materials Processing Technology*. 2003; 139(1-3): 322-326.
- [12] Gu R, Konar S, Sain M. Preparation and Characterization of Sustainable Polyurethane Foams from Soybean Oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2012; 89(11): 2103-2111.
- [13] Roopa D, Balasundaram N, Karthik V. Experimentation on reuse of waste Styrofoam as an adhesive material. In: AIP Conference Proceedings. *International Conference on Minerals, Materials and Manufacturing Methods (ICMMMM), 19th March 2022, India: Coimbatore; 2023; 2861(1)*.
- [14] Gutierrez-Velasquez EI, Monteiro SN, Colorado HA. Characterization of expanded polystyrene waste as binder and coating material. *Case Studies in Construction Materials*. 2022; 16: 1-13
- [15] Yildiz K, Kinaci H, Atakan M. Modification of Asphalt Binder with Waste Expanded Polystyrene (EPS) Foam. *Celal Bayar University Journal of Science*. 2021; 17(3): 245-252.
- [16] Sri Ravindrarajah R, Tuck AJ. Properties of hardened concrete containing treated expanded polystyrene beads. *Cement and Concrete Composites*. 1994; 16(4): 273-277.
- [17] Hermawan A, Ohuchi T, Fujimoto N. Manufacture of strand board bonded with disposal expanded polystyrene as binder. *Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University*. 2010; 55(1): 107-110.
- [18] Kan A, Demirboğa R. A new technique of processing for waste-expanded polystyrene foams as aggregates. *Journal of Materials Processing Technology*. 2009; 209(6): 2994-3000.
- [19] Osemeahon SA, Barminas JT, Jang AL. Development of waste polystyrene as a binder for emulsion paint formulation I: Effect of polystyrene concentration. *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*. 2013; 2(8): 30-35.
- [20] Sharuddin SDA, Abnisa D, Ashri Wan Daud WM, Aroua MK. A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*. 2016; 115: 308-326.
- [21] Ishida T. Removal of fish odors form styrofoam packaging to improve recycling potential using Hansen solubility parameters. *Recycling*. 2020; 5(4): 1-9.
- [22] American Society for Testing and Materials. *ASTM C 136 – 01:2001 Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International; 2001.
- [23] Swiss Standard SN 670 010 b. Geotechdata: characteristic coefficients of soils. Association of swiss road and traffic engineers. Available from: <https://geotechdata.info/parameter/soil-porosity> [Accessed 29th May 2024].
- [24] Das BM. *Advanced Soil Mechanics*. London & New York: Taylor & Francis Group. (eds.); 2008.
- [25] Siddique R, Khatib J, Kaur I. Use of recycled plastic in concrete: A review. *Waste Management*. 2008; 28(10): 1835-1852.
- [26] American Society for Testing and Materials. *ASTM D7 2 6 3 - 2 1 . Standard Test Methods for Laboratory Determination of Density and Unit Weight of Soil Specimens*. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International; 2021.
- [27] American Society for Testing and Materials. *ASTM C293/C293M-16 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading)*. West

- Conshohocken, PA, USA: ASTM International; 2021.
- [28] British Standards Institution. *BS EN 196-1:1995 Methods of testing cement-Part 1: Determination of strength*. London: Bechtel Ltd.; 2002.
- [29] American Society for Testing and Materials. *ASTM C67-11 Standard Test Method for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile*. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International; 2021.
- [30] Beijing Xilin Buke Network Technology. *Chemical Book: Polystyrene*. Available from: https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB4146768.htm [Accessed 29th May 2024]
- [31] Vitz E, Moore JW, Shorb J, Prat-Resina X, Wendorff, Hahn A. *Libretexts Chemistry*. Available from: https://chem.libretexts.org/Ancillary_Materials/Exemplars_and_Case_Studies/Exemplars/Geology/Density_of_Rocks_and_Soils [Accessed 29th May 2024]
- [32] Doroudiani S, Kortschot MT. Polystyrene foams. II. Structure–impact properties relationships. *Journal of Applied Polymer Science*. 2003; 90(5): 1421–1426.
- [33] Deursen V, Suwan T, Laosuwan S, Wongmatar P. Development of polymeric binder from expanded polystyrene (EPS) foam waste as construction materials. In: Bambang N, Taufik Yap YH, Nobutaka I, Sonja K, Edy S, Yana C, Farah F (eds.) *4th International Conference on Resources and Environment Sciences, June 10-12, 2022, Chulalongkorn University, Bangkok*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; 2023. 1146(1); P. 1-7.
- [34] Wibowo AP. Water absorption of styrofoam concrete. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017; 12(16): 4782-4785.
- [35] กระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรฐานอุตสาหกรรม ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (มอก. 1505-2541). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม; 2552.
- [36] กระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรฐานอุตสาหกรรม หลักเกณฑ์เฉพาะในการตรวจสอบเพื่อการอนุญาตสำหรับผลิตภัณฑ์อิฐก่อสร้างสามัญ (มอก.77-2545). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม; 2554.