

คอนกรีตต้นทุนต่ำที่ผสมขยะอีพีเอสโฟมทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนสำหรับงานก่อสร้าง Concrete of low cost mixed with wasted EPS foam replaced some fine aggregate for construction

จรัล รัตนโชตินันท์

สาขาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

Jaran Ratanachotinun

Department of Civil and Construction Management Engineering,

Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

*Jaran07@yahoo.com

Received : December 8, 2023

Revised : February 29, 2024

Accepted : March 8, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตต้นทุนต่ำที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนสำหรับงานก่อสร้างโดยนำอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วมาผสมกับส่วนผสมแบบปกติ การเปรียบเทียบกับคอนกรีตแบบปกติที่ไม่มีส่วนผสมของอีพีเอสโฟม และการประเมินต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว การทดสอบความสามารถรับกำลังแรงอัดระหว่างคอนกรีตแบบปกติและคอนกรีตที่ผสมขวดน้ำพลาสติกทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนในอัตราส่วนร้อยละ 0.03 0.05 0.07 0.1 0.2 และ 0.3 ค่อน้ำหนักมวลรวมละเอียดและช่วงอายุการบ่มของคอนกรีตที่อายุ 7 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อค่าการรับกำลังแรงอัดที่ลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตแบบปกติ สัดส่วนของอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วที่เหมาะสม คือ ระดับไม่เกินร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดและมีค่าเฉลี่ยรับกำลังแรงอัดประมาณ 220 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของคอนกรีตปกติลดลงที่ระดับเฉลี่ยร้อยละ 1 ถึง 3 ต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วโดยประมาณ 2,001 บาทต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับอีพีเอสโฟมที่ระดับร้อยละ 0.1 ซึ่งลดลงจากต้นทุนของคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 2

คำสำคัญ: คอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟม, ต้นทุนคอนกรีต, อีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว

Abstract

The purpose of this research is to study the efficiency of concrete of low cost that mixed with used ESP foam replaced some fine aggregate for construction, comparing with typical concrete and assessment for cost of concrete mixed with used ESP foam. The testing of compressive strength compared with typical concrete and concrete which mixed with EPS foam in rate of 0.03%, 0.05%, 0.07%, 0.1%, 0.2%, and 0.3% by weight of fine

aggregates and the curing age of 7,14 and 28 days. The results have shown that increased EPS foam the lower the strength compare to typical concrete. The proper percentage of EPS foam is no more than 0.1 % by weight, average strength of 220 kg/cm² and average density of concrete is 1%-3% lower than density of typical concrete. The cost of concrete is around 2,001 baths per cubic meter which is 2% lower than typical concrete.

Keywords: Concrete mixed with EPS foam, Concrete cost, Used EPS foam

1. บทนำ

การศึกษาวัสดุก่อสร้างให้มีความสามารถในการใช้งานและการออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพด้านวิศวกรรมโยธาได้พัฒนาอย่างต่อเนื่อง วัสดุก่อสร้างที่พัฒนาขึ้นมีผลกระทบต่อต้นทุนสูงขึ้นและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมหรือวัสดุก่อสร้างสีเขียวโดยประสิทธิภาพในด้านวิศวกรรมยังอยู่ในมาตรฐานเป็นแนวทางที่มีความน่าสนใจอย่างมาก คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญในการออกแบบและก่อสร้างสำหรับงานวิศวกรรมโยธา องค์ประกอบหรือมวลรวมที่ผสมในคอนกรีตทั้งทรายและหินเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีต้นทุน ถ้าหากลดต้นทุนวัสดุดังกล่าวและใช้วัสดุอื่นทดแทนก็จะช่วยให้ต้นทุนของคอนกรีตลดลงและส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของกลุ่มเป้าหมายที่ต้องการคอนกรีตต้นทุนต่ำ แนวทางการนำวัสดุไม้อัดหรือขยะอิพีสโฟมมาเป็นส่วนผสมสร้างเป็นคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ การใช้งานอิพีสโฟมในประเทศไทยได้รับความนิยมอย่างมากและกลายเป็นขยะอิพีสโฟม อ้างอิงข้อมูลกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [1] สำหรับประเทศไทยมีการนำพลาสติกและโฟมใช้เพิ่มขึ้นในรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ มากขึ้น จากข้อมูลสถิติการใช้งาน พบว่าปี 2560 มีการบริโภคถุงพลาสติกหิ้ว จำนวน 45,000 ล้านใบต่อปี และโฟมบรรจุอาหาร จำนวน 6,758 ล้านใบต่อปี ข้อมูลจากสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร [2] เป็นข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครเรื่องค่าธรรมเนียมการจัดการสิ่งปฏิกูล พ.ศ.2562 ได้กำหนดอัตราค่าเก็บขนและกำจัดขยะโดยรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 600 บาทต่อลูกบาศก์เมตรต่อครั้ง จากเหตุผลดังกล่าวส่งผลกระทบต่อต้นทุนการกำจัดขยะโฟมที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แนวทางการกำจัดขยะอิพีสโฟมโดยใช้ทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนผสมในคอนกรีตก่อสร้างสามารถช่วยลดต้นทุนการจัดเก็บและกำจัดขยะโดยเฉพาะในชุมชนที่พักอาศัยของประเทศไทย งานวิจัยที่เกี่ยวกับด้านพัฒนาวัสดุก่อสร้างอาคารและการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ในงานก่อสร้าง การศึกษาอิฐมวลเบาที่มีรูกลวงเพื่อการลดความร้อนถ่ายเทเข้าสู่อาคาร [3] เป็นการวิจัยอิฐมวลเบาที่มีการเจาะรูกลมกลวงบริเวณกึ่งกลางอิฐเพื่อช่วยเพิ่มความเป็นฉนวนกันความร้อนส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานภายในอาคารที่พักอาศัย การใช้เศษโฟมมาทำวัสดุผสมหยาบมวลเบาในงานคอนกรีต [4] ได้นำโฟมที่เหลือใช้มาย่อยให้ได้ขนาดตามต้องการผสมกับปูนซีเมนต์ขึ้นรูปเป็นวัสดุผสมโฟมซีเมนต์ โดยตัวอย่างทดสอบนี้เป็นคอนกรีตมอร์ต้าที่ไม่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบหรือหิน ผลการทดสอบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของมอร์ต้า คือ อัตราส่วนของปูนซีเมนต์:ทราย:โฟม คือ 1:0.5:3 โดยปริมาตรอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 ให้ค่ากำลังแรงอัดที่ 28 วันเท่ากับ 4.52 เมกะปาสกาลหรือ 46.09 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อนำโฟมซีเมนต์มาผสมคอนกรีตโดยใช้สัดส่วนผสม 1:2.2:5.3 โดยปริมาตรและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7 ทดสอบกำลังแรงอัดที่อายุ 28 วันของคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์สามารถรับแรงอัดสูงสุดได้ 6.41 เมกะปาสกาลหรือ 65.36 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โมดูลัสการแตกหัก เท่ากับ 1.42 เมกะปาสกาลหรือ 14.48 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การวิจัยอิทธิพลของขนาดเม็ดโฟมโพลีสไตรีนต่อคุณภาพของคอนกรีตมวลเบา [5] ได้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณและขนาดเม็ดโฟมโพลีสไตรีนต่อสมบัติด้านความหนาแน่น กำลังแรงอัด และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา ผลการศึกษาพบว่า การผสมเม็ดโฟมขนาดเล็กจะทำให้กำลังแรงอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เม็ดโฟมขนาดใหญ่ การใช้เม็ดโฟมขนาดต่างกันส่งผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย กำลังแรงอัดและความหนาแน่นของคอนกรีตจะลดต่ำลงตาม

การเพิ่มขึ้นของปริมาณเม็ดโพลีโพรพิลีนที่ใช้และคอนกรีตที่ผสมเม็ดโพลีโพรพิลีนจะมีค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม การพัฒนาความสามารถรับกำลังอัดของคอนกรีตโพลีโพรพิลีนผสมเม็ดเชรามิก [6] เป็นการศึกษาคอนกรีตโพลีโพรพิลีนที่ทดสอบโดยการผสมเม็ดเชรามิกเพื่อประเมินความสามารถรับกำลังอัด คอนกรีตโพลีโพรพิลีนไม่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบหรือหิน ผลการทดลองค่าการรับกำลังอัดโดยเฉลี่ยระหว่าง 5.1-62.22 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับสัดส่วนผสมของคอนกรีตโพลีโพรพิลีนกับเม็ดเชรามิก การศึกษาความเป็นฉนวนกันความร้อนของอิฐบล็อกและปูนฉาบโดยการผสมอีพีเอสโพลีโพรพิลีนที่ใช้แล้ว [7] ได้นำอีพีเอสโพลีโพรพิลีนมาทดลองผสมในอิฐบล็อกและปูนฉาบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกันความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การผสมอีพีเอสโพลีโพรพิลีนในอิฐบล็อกและปูนฉาบสำหรับก่อสร้างอาคารทั่วไปจะช่วยลดความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นการช่วยกำจัดขยะอีพีเอสโพลีโพรพิลีนที่ใช้แล้ว การพัฒนาคอนกรีตที่ผสมพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวม [8] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของคอนกรีตที่ผสมขี้เถ้าปาล์มที่ใช้แล้วหรือพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนสำหรับงานก่อสร้างในอัตราส่วน 5% 10% 15% 20% 25% และ 30% ต่อน้ำหนักมวลรวมหยาบ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า คอนกรีตที่ผสมพลาสติคที่ใช้แล้วโดยทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อค่าการรับกำลังอัดที่ลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตแบบปกติที่ไม่มีส่วนผสมของพลาสติค สัดส่วนของขี้เถ้าปาล์มที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนที่เหมาะสม คือ สัดส่วนผสมของพลาสติคในคอนกรีตที่ระดับไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักมวลรวมหยาบ และให้ค่าเฉลี่ยรับกำลังอัดประมาณ 217.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมขี้เถ้าปาล์มที่ใช้แล้วโดยประมาณ 1,938 บาทต่อลูกบาศก์เมตร โดยต้นทุนลดลงจากคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 5 การรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรยังมีความเหมาะสมสำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อการรับน้ำหนัก การศึกษาคอมโพสิตซีเมนต์และคอนกรีต ผลของพารามิเตอร์การบ่มต่อการบ่ม CO₂ ของบล็อกคอนกรีตที่มีมวลรวมรีไซเคิลรวดเร็ว [9] ทำการศึกษาล็อกคอนกรีตที่มีมวลรวมรีไซเคิลสำหรับงานก่อสร้าง การศึกษาสมบัติเชิงกลความทนทานและการประเมินวัฏจักรชีวิตของบล็อกอาคารคอนกรีตที่รวมมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล [10] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้คอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล (RCAs) เพื่อผลิตคอนกรีตสำหรับงานการก่อสร้างอาคาร การวิเคราะห์วัสดุก่อสร้างและอาคารการวิจัยเชิงทดลองของบล็อกคอนกรีตปูพื้นด้วยอิฐบดและกระเบื้องรวม [11] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปด้วยวัสดุทดแทนธรรมชาติมากกว่า 50% ด้วยวัสดุรีไซเคิลที่ทำจากดินเหนียวและกระเบื้องหลังคา การศึกษาพลังงานทดแทนการใช้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรใหม่เป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้ก่อสร้างอาคาร [12] การศึกษาการรีไซเคิลของเสียสำหรับการใช้งานที่มีมูลค่าเพิ่มในบล็อกคอนกรีต [13] การใช้ของเสียประเภทต่าง ๆ เช่น คอนกรีตรีไซเคิล อิฐบด อิฐโซดาไลน์ แก้วหลอด แก้วคาโทเดอเรีย ขางครัม เศษเชรามิกและกระเบื้องเป็นฉนวน มาเพิ่มความเป็นฉนวนกันความร้อนของบล็อกคอนกรีต และจากงานวิจัยการพัฒนาคอนกรีตสีเขียวผสมอีพีเอสโพลีโพรพิลีนที่ใช้แล้วสำหรับงานก่อสร้าง [14] เป็นการทดสอบคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโพลีโพรพิลีนซึ่งมีสัดส่วนปริมาตรของอีพีเอสโพลีโพรพิลีนที่ถูกย่อยเป็นเม็ดและนำมาผสมในคอนกรีตร้อยละ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด โดยสัดส่วนของมวลรวมละเอียดยังคงเดิมไม่มีการลดปริมาณลง ผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการรับกำลังกดของตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโพลีโพรพิลีนที่สัดส่วนร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด มีค่าเท่ากับ 218 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยสัดส่วนผสมอีพีเอสโพลีโพรพิลีนที่มากกว่าร้อยละ 0.3 ขึ้นไปจะให้ค่าการรับกำลังกดที่ต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรซึ่งเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมสำหรับการออกแบบงานโครงสร้างในงานวิศวกรรมโยธา จากงานวิจัยที่ผ่านมาเห็นว่ายังไม่มีการพัฒนาคอนกรีตโดยการผสมอีพีเอสโพลีโพรพิลีนโดยทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนและยังคงที่สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรซึ่งจะสามารถลดต้นทุนของคอนกรีตจากการลดปริมาณมวลรวมละเอียดจึงเป็นที่มาของงานวิจัย งานวิจัยนี้ศึกษาความสามารถรับน้ำหนักของคอนกรีตต้นทุนต่ำที่ผสมอีพีเอสโพลีโพรพิลีนที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนสำหรับการงานก่อสร้าง โดยนำอีพีเอสโพลีโพรพิลีนที่ใช้แล้วมาย่อยอย่างง่ายเพื่อผสมในคอนกรีตและลดปริมาณมวลรวมละเอียดหรือทรายโดยคงความสามารถรับน้ำหนักโครงสร้างตามหลักออกแบบด้านวิศวกรรมโยธา การเปรียบเทียบกับคอนกรีตแบบปกติที่ไม่ได้ผสมอีพีเอสโพลีโพรพิลีน การ

ประเมินต้นทุนการกำจัดขยะอิฟิเอสโพลีโพรไพลีนที่ใช้แล้วโดยการผสมในคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้าง คอนกรีตนี้ให้ความสำคัญด้านการกำจัดขยะอิฟิเอสโพลีโพรไพลีนที่ย่อยสลายยากมาใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตและยังมีความสามารถใช้งานก่อสร้างตามเกณฑ์มาตรฐาน และความหนาแน่นของคอนกรีตที่ลดลง

2. ขอบเขตงานวิจัย

2.1 ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การสร้างคอนกรีตตัวอย่างที่มีส่วนผสมของอิฟิเอสโพลีโพรไพลีนที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนสำหรับการทดสอบ กลุ่มตัวอย่างมีจำนวนทั้งหมด 84 ตัวอย่าง แบ่งตามสัดส่วนของอิฟิเอสโพลีโพรไพลีนร้อยละ 0, 0.03, 0.05, 0.07, 0.1, 0.2 และ 0.3 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด การแบ่งช่วงบ่มของคอนกรีตตัวอย่างมีระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

2.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การทดสอบประสิทธิภาพคอนกรีตที่มีส่วนผสมของอิฟิเอสโพลีโพรไพลีนที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วน การรับกำลังแรงอัด การศึกษาต้นทุนการกำจัดขยะจากอิฟิเอสโพลีโพรไพลีนและต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอิฟิเอสโพลีโพรไพลีนที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วน

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะรวม ความถ่วงจำเพาะปรากฏ และการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด มีการใช้ตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ระดับ 110 องศาเซลเซียส โดยอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบของ ASTM C127 Standard test method for density, relative density (specific gravity), absorption aggregate และ ASTM C128 Standard test method for density, relative density (specific Gravity), and absorption of fine aggregate การวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะรวมและความถ่วงจำเพาะปรากฏมีหลักการทดสอบแบบสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งและการดูดซึมน้ำของมวลรวมเป็นการหาค่าดูดซึมน้ำเข้าสู่ตัวเนื้อมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด การวิเคราะห์ขนาดละเอียดของมวลรวมมีขนาดตะแกรงสำหรับวิเคราะห์ที่เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C 136

3.2 การออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ผสมอิฟิเอสโพลีโพรไพลีนที่ใช้แล้วอ้างอิงจากอุทกฤษฎี วิจารณ์ภาค [15] โดยคำนวณส่วนผสมตามมาตรฐาน ACI (American Concrete Institute) กำหนดให้คอนกรีตแบบปกติมีกำลังอัด 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีปริมาตร ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน และหิน 4 ส่วน เมื่อคำนวณส่วนผสมคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร จะได้สัดส่วนต้นแบบสำหรับการทดสอบ คือ ปูนซีเมนต์ เท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทรายเท่ากับ 624 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หินเท่ากับ 1,296 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และน้ำเท่ากับ 180 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร งานวิจัยนี้กำหนดอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (Water cement ratio) เท่ากับ 0.6 ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้ในงานคอนกรีตก่อสร้าง การสร้างตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมอิฟิเอสโพลีโพรไพลีนจะมีสัดส่วนปริมาตรของอิฟิเอสโพลีโพรไพลีนที่ถูกลบออกเป็นเม็ดและนำมาผสมในคอนกรีตร้อยละ 0, 0.03, 0.05, 0.07, 0.1, 0.2 และ 0.3 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด โดยมีการลดปริมาณมวลรวมละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1 การผสมอิฟิเอสโพลีโพรไพลีนจะต้องผสมแบ่งเป็นส่วนเพื่อให้สามารถกระจายได้ทั่วในคอนกรีต

ตารางที่ 1 สัดส่วนของวัสดุผสมในคอนกรีตปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตรสำหรับใช้ทดสอบกำลังอัด

ปูนซีเมนต์ (kg)	ทราย (kg)	หิน (kg)	น้ำ (kg)	EPS (%ของน้ำหนักทราย)	EPS (kg)
300	624	1296	180	0	0.000
300	606	1296	180	0.03	0.187
300	595	1296	180	0.05	0.312
300	583	1296	180	0.07	0.437
300	566	1296	180	0.1	0.624
300	507	1296	180	0.2	1.248
300	449	1296	180	0.3	1.872

4. การดำเนินการวิจัย

4.1 การเตรียมวัสดุเพื่อสร้างตัวอย่างคอนกรีตและเครื่องมือสำหรับการวิจัย มีรายละเอียดดังนี้ วัสดุสำคัญสำหรับสร้างคอนกรีตตัวอย่าง คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Portland Cement Type 1) ทรายที่ฟิไอ มาตรฐาน มอก. 15 มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดโดยเป็นวัสดุก่อสร้างที่หาได้ทั่วไปในประเทศไทย น้ำประปาสำหรับผสมโดยมีคุณภาพตามมาตรฐานการประปาครหลวง อีพีเอสโฟมมาจากผลิตภัณฑ์ตัวป้องกันการกระแทกในการขนส่งสินค้าซึ่งทำการย่อยด้วยแรงงานคน ให้อยู่ในรูปแบบทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.0-3.0 มิลลิเมตร เครื่องมือหลักในการวิจัย คือ แบบหล่อคอนกรีตตัวอย่างทรงลูกบาศก์ 15*15*15 เซนติเมตร และเครื่องทดสอบ Compressive Testing Machine ยี่ห้อ ELE รุ่น 1796D0001 รายละเอียดสามารถแสดงได้ในรูปที่ 1



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 1 เครื่องทดสอบและอีพีเอสโฟมสำหรับงานวิจัย (ก) อีพีเอสโฟมขนาดประมาณ 1.0-3.0 มิลลิเมตร (ข) เครื่อง Compressive Testing Machine (ค) แบบหล่อคอนกรีตตัวอย่างทรงลูกบาศก์

4.2 การเตรียมตัวอย่างและทดสอบการรับกำลังแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตได้กำหนดจำนวนคอนกรีตตัวอย่างสำหรับทดสอบอ้างอิงมาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก มถ 101-2550 [16] ระบุว่าการทดสอบต่อชุดตัวอย่างควรมีจำนวน 3 ตัวอย่าง สำหรับการเตรียมตัวอย่างเพื่องานวิจัยได้มีการเตรียมตัวอย่างเท่ากับ 4 ตัวอย่างต่อชุด ซึ่งมากกว่าข้อกำหนดและเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูลการทดสอบ ตัวอย่างคอนกรีตกำหนดให้รูปทรงลูกบาศก์โดยทดสอบกำลังแรงอัดแบ่งตามระยะเวลาการบ่ม มีจำนวนเท่ากับ 12 ตัวอย่างต่อชุด อีพีสโม่ที่ใช้แล้วทำการย่อยและมีรูปทรงเป็นเม็ดทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณ 1.0-3.0 มิลลิเมตร อายุการบ่มของคอนกรีตกำหนดไว้ 7 14 และ 28 วันและแบ่งตามอัตราผสมอีพีสโม่ จำนวนคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทั้งหมดเท่ากับ 84 ตัวอย่าง การวิเคราะห์ความหนาแน่นของคอนกรีตคำนวณจากน้ำหนักคอนกรีตตัวอย่างเป็นค่าเฉลี่ย การทดสอบหาลำรับกำลังแรงอัดเป็นตามมาตรฐาน BS EN 12390-3:2009 - Compression Strength of Test Specimens ค่าการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างเป็นการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำหนักที่ตกลงต่อพื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักผลการทดสอบกำลังแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างคอนกรีตแสดงในรูปแบบแผนภูมิภาพ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตแบบปกติกับคอนกรีตที่ผสมอีพีสโม่ที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนตามสัดส่วนต่าง ๆ

4.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพความสามารถรับกำลังของคอนกรีตตัวอย่างที่ผสมอีพีสโม่ที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนที่สัดส่วนต่าง ๆ การวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างสัดส่วนผสมอีพีสโม่ที่ใช้แล้วกับค่ารับกำลังแรงอัดเพื่อใช้เป็นตัวแทนสำหรับทำนายค่ากำลังแรงอัดที่เหมาะสมกับประเภทงานก่อสร้าง ความเสียหายของคอนกรีตตัวอย่างที่ผสมอีพีสโม่ที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วน ต้นทุนของการกำจัดขยะอีพีสโม่ที่ลดลงเนื่องจากการนำมาใช้ผสมลงในคอนกรีต

5. ผลการวิจัย

5.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย วัสดุสำหรับสร้างคอนกรีตตัวอย่างได้ทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและมีรายละเอียด คือ ปูนซีเมนต์สำหรับงานวิจัยเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มวลรวมละเอียดหรือทรายหยาบสำหรับงานวิจัยมีค่าความถ่วงจำเพาะรวมเฉลี่ยเท่ากับ 2.69 ความถ่วงจำเพาะปรากฏเฉลี่ยเท่ากับ 2.74 ค่าอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.64 และขนาดผลแสดงในตารางที่ 2 มวลรวมหยาบหรือหินสำหรับงานวิจัยมีค่าความถ่วงจำเพาะรวมเฉลี่ยเท่ากับ 2.78 ความถ่วงจำเพาะปรากฏเฉลี่ยเท่ากับ 2.89 ค่าอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.57 และขนาดผลแสดงในตารางที่ 3 อีพีสโม่ที่ใช้แล้วสำหรับงานวิจัยมีความหนาแน่นเท่ากับ 28 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 4 การย่อยอีพีสโม่ได้ขนาดประมาณ 1.0-3.0 มิลลิเมตร ลักษณะของขยะอีพีสโม่จะจับตัวกันแบบหลวมเนื่องจากรูปทรงของอีพีสโม่ขึ้นรูปเป็นตัวกันกระแทกสำหรับใช้ในบรรจุภัณฑ์ทั่วไป ด้วยเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้ความหนาแน่นของขยะอีพีสโม่ลดลงโดยประมาณร้อยละ 30 ของความหนาแน่นแบบปกติ (28 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ดังนั้นความหนาแน่นของอีพีสโม่ที่เป็นขยะมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 19 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับการคำนวณปริมาณปลดปล่อยก๊าซ CO₂ ที่เกิดจากการกำจัดขยะ

5.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเพื่อหาลำรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างแบบปกติและที่ผสมอีพีสโม่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วน ได้แบ่งช่วงอายุการบ่มที่ 7, 14 และ 28 วัน และแบ่งแยกสัดส่วนผสมของอีพีสโม่ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 0.03, 0.05, 0.07, 0.1, 0.2 และ 0.3 ต่อน้ำหนักมวลรวมละเอียด ดังแสดงการเปรียบเทียบในรูปที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ขนาดผลรวมละเอียด

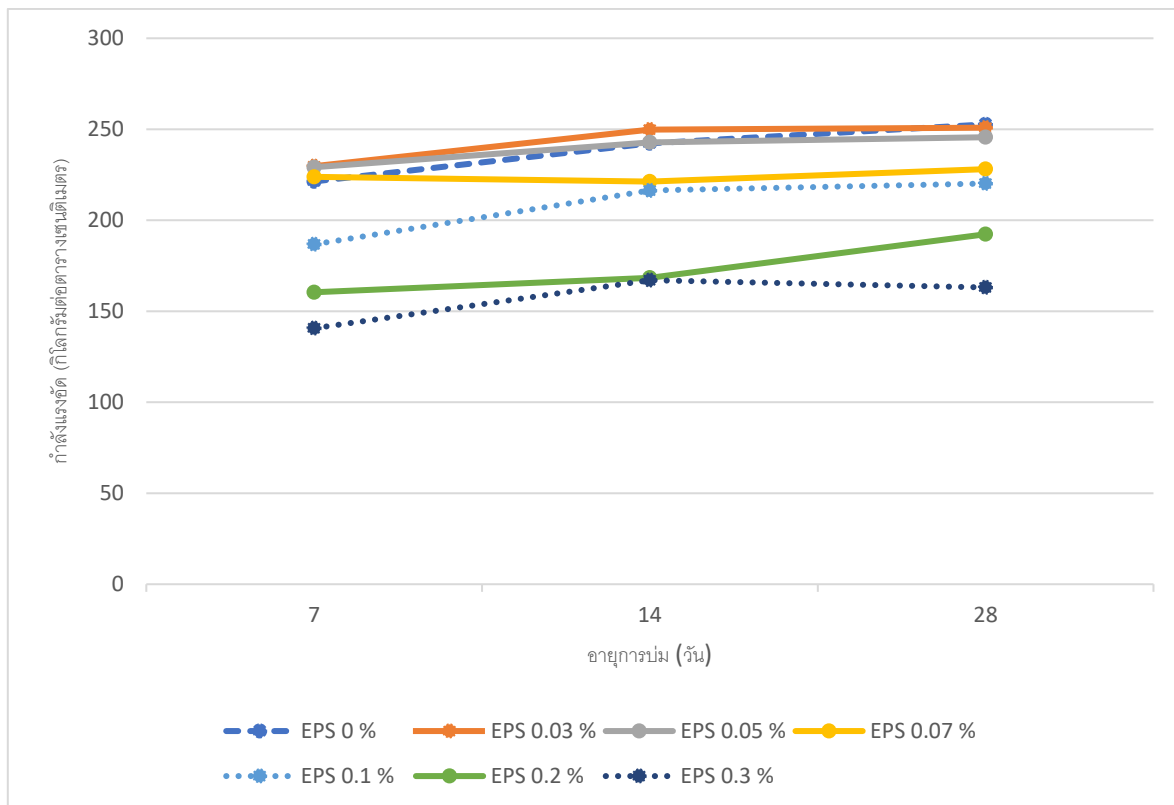
ขนาด ตะแกรง มาตรฐาน (เบอร์)	น้ำหนัก ตะแกรง (กรัม)	น้ำหนัก ทราย + ตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักที่ ค้างอยู่บน ตะแกรง (กรัม)	ร้อยละที่ ค้างบน ตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ ค้างบนตะแกรง	ร้อยละที่ผ่าน ตะแกรง
4	1,597.00	1602.10	5.10	0.97	0.97	99.03
8	1,508.80	1,563.60	54.80	10.43	11.40	88.60
16	1,349.50	1,427.90	78.40	14.92	26.31	73.69
30	1,195.20	1,328.70	133.50	25.40	51.71	48.29
50	1,095.20	1,298.20	203.00	38.62	90.33	9.67
100	956.00	973.40	17.40	3.31	93.65	6.35
200	923.20	949.10	25.90	4.93	98.57	1.43
ถัด	1,049.10	1,056.60	7.50	1.43	100.00	0
รวม	9,334.10	9,859.70	525.60	100	FM=3.73	

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ขนาดผลรวมหยาบ

ขนาด ตะแกรง มาตรฐาน (นิ้ว)	น้ำหนัก ตะแกรง (กรัม)	น้ำหนัก หิน + ตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักที่ ค้างอยู่บน ตะแกรง (กรัม)	ร้อยละที่ ค้างบน ตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ ค้างบนตะแกรง	ร้อยละที่ผ่าน ตะแกรง
1	1708.90	1731.10	22.20	2.13	2.13	97.8
0.75	1623.10	1722.40	99.30	9.54	11.68	88.33
0.5	1692.20	2199.30	507.10	48.74	60.42	39.58
0.375	1722.20	1928.5	206.30	19.83	80.25	19.75
0.187	1584.50	1749.00	164.50	15.81	96.06	3.94
#20	1,249.50	1,249.50	0	0	96.06	3.94
#50	1,095.20	1,095.20	0	0	96.06	3.94
#80	1,055.30	1,055.30	0	0	96.06	3.94
#100	956.00	956.00	0	0	96.06	3.94
ถัด	1048.30	1089.30	41.00	3.94	100.00	0
รวม	13735.20	14775.60	1040.40	100.00	FM=6.35	

ตารางที่ 4 ค่ากำลังแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างที่ทดสอบ

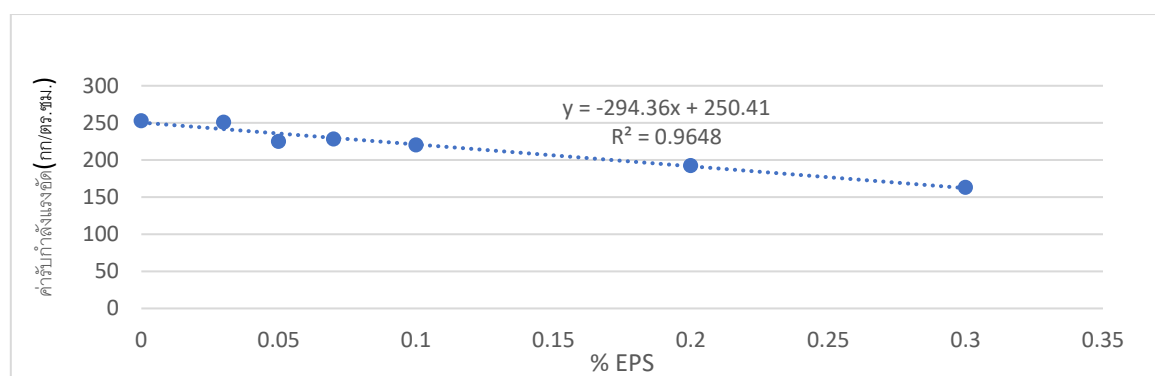
EPS (%)	0	0.03	0.05	0.07	0.1	0.2	0.3
กำลังแรงอัด (กก / ตร.ชม.) ที่อายุการบ่ม 7 วัน	221.4	229.7	229.1	223.8	186.8	160.4	140.7
กำลังแรงอัด (กก / ตร.ชม.) ที่อายุการบ่ม 14 วัน	242.3	249.8	242.8	221.3	216.4	168.4	167.1
กำลังแรงอัด (กก / ตร.ชม.) ที่อายุการบ่ม 28 วัน	252.7	250.9	245.6	228.1	220.2	192.3	163.1



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดในแต่ละสัปดาห์ของอีพีเอสโฟมในคอนกรีตตัวอย่างที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเทียบกับสัดส่วนอีพีเอสโฟมที่ผสมมากขึ้นตั้งแต่ร้อยละ 0.03 ถึง 0.1 โดยที่มีค่าไม่ต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่ออัตราส่วนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.2 และ 0.3 มีค่ากำลังอัดที่ต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อพิจารณาความเหมาะสมในการนำคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนไปก่อสร้างจะพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสม คือ สัดส่วนผสมของอีพีเอสโฟมที่ทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนในคอนกรีตที่ระดับไม่เกินร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดจะมีค่าการรับกำลังอัดประมาณ 220.9 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีค่าไม่ต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อการรับน้ำหนักตามหลักการวิศวกรรมโยธา และค่าความสามารถในการเทหรือสลิ้มเฉลี่ยอยู่ประมาณ 4-6 เซนติเมตร อันเนื่องจากอีพีเอสโฟมมีการดูดน้ำอาจต้องมีการเพิ่มปริมาณน้ำให้มากขึ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการเท สัดส่วนผสมของอีพีเอสโฟมในคอนกรีตที่มากกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดอาจเหมาะสมกับการออกแบบงานก่อสร้างที่ไม่ต้องการการรับน้ำหนักมากนัก อาทิ งานทางเดินเท้า งานรั้วรอบอาคาร งานคอนกรีตหยาบพื้นฐาน เป็นต้น และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างค่าการรับกำลังแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วันกับสัดส่วนผสมของอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว สามารถแสดงได้ในภาพที่ 3 และแสดงในสมการที่ 1

การวิเคราะห์สมการพบว่าสัดส่วนผสมมากที่สุดของอีพ็อกซีโพลีเมอร์ที่สามารถผสมในคอนกรีตโดยค่าการรับกำลังแรงอัดไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คือ ร้อยละ 0.17 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียด สำหรับข้อจำกัดการใช้สมการนี้ไม่ควรเลือกค่าสัดส่วนอีพ็อกซีที่สูงมาก เพราะรูปแบบสมการจะคำนวณค่ากำลังอัดเท่ากับศูนย์ที่สัดส่วนของอีพ็อกซีสูง ความหนาแน่นของคอนกรีตต้นทุนต่ำที่ผสมอีพ็อกซีโพลีเมอร์ที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนพบว่ามีค่าที่ลดลงตามสัดส่วนผสมของอีพ็อกซีโพลีเมอร์ที่เพิ่มมากขึ้น การพิจารณาสัดส่วนของอีพ็อกซีโพลีเมอร์ที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างในระดับไม่เกินร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดหรือมีค่าความสามารถซึ่งมีค่าการรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอีพ็อกซีโพลีเมอร์เมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของคอนกรีตปกติลดลงที่ระดับร้อยละ 1.16, 1.53, 2.15 และ 2.73 สำหรับสัดส่วนผสมอีพ็อกซีโพลีเมอร์ระดับร้อยละ 0.03, 0.05, 0.07 และ 0.1 ตามลำดับ น้ำหนักของคอนกรีตที่ผสมอีพ็อกซีโพลีเมอร์ที่ลดลงจะสามารถลดค่าน้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead Load) ซึ่งเป็นตัวแปรด้านวิศวกรรมโยธาสำหรับการออกแบบอาคาร โดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.89 ของค่าน้ำหนักบรรทุกตายตัวเดิม ส่งผลต่อขนาดของโครงสร้างอาคารที่เล็กลงและประหยัดต้นทุนของวัสดุก่อสร้าง ตัวอย่างการเลือกใช้คอนกรีตต้นทุนต่ำที่ผสมอีพ็อกซีโพลีเมอร์ก่อสร้างพื้นหลังคาอาคารจะช่วยลดน้ำหนักบรรทุกตายตัวของคอนกรีตที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร ทั้งในส่วนการออกแบบขนาดเสาและฐานรากที่รองรับโดยมีขนาดเล็กลงและส่งผลต่อการประหยัดต้นทุนวัสดุก่อสร้าง



รูปที่ 3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างกำลังแรงอัดของคอนกรีตกับสัดส่วนผสมอีพ็อกซีโพลีเมอร์ที่ใช้แล้ว

$$y = -294.36x + 250.41 \quad (1)$$

โดย

y คือ ค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีต (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

x คือ สัดส่วนผสมของอีพ็อกซีโพลีเมอร์ที่ใช้แล้วเทียบกับน้ำหนักมวลรวมละเอียด (ร้อยละ)

R^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (0.9648 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1.00)

5.3 ลักษณะการเสียหายจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 4 ความเสียหายจากการรับกำลังแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตแบบปกติซึ่งจะใช้ตัวหลักของรูปแบบการเสียหายเพื่อทำการเปรียบเทียบ ผลการทดลองพบว่า มีลักษณะการแตกร้าวเป็นแนวตั้งฉากและมีลักษณะที่เป็นขึ้นใหญ่ ความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมอีพ็อกซีโพลีเมอร์ทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนจะมีลักษณะการแตกร้าวเป็นแนวเส้นตั้งฉากและมีลักษณะเป็นขึ้นที่เล็กลง และกระจายไปทั่วของตัวอย่างในแนวตั้งฉาก ความเสียหายจะกระจายตัวและเกิดขึ้นทั้งบริเวณแนวกลางและด้านข้างของตัวอย่าง ลักษณะการแตกร้าวจะกระจายตัวมากขึ้นและเสียหายเป็นขึ้นที่เล็กลงมากขึ้นตามสัดส่วนอีพ็อกซีโพลีเมอร์ที่ผสมในคอนกรีตตัวอย่างที่มากขึ้น ในภาพรวมความเสียหายของคอนกรีตที่ผสมอีพ็อกซีโพลีเมอร์ทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนจะมีการแตกร้าวในแนวตั้งตรงที่กระจายตัวไปทั่วของตัวอย่างและเป็นขึ้นความเสียหายที่เล็กหรือมีลักษณะที่น้อยกว่าความ

เสียหายของคอนกรีตแบบปกติ รอยแตกร้าวจะมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นแปรผันตามสัดส่วนอีพ็อกซีโพลีเมอร์ที่ผสมมากขึ้น โดยในทางกลับกันก็จะมี khả năngรับกำลังแรงอัดที่ลดลงด้วยเช่นกัน โดยภาพรวมรูปแบบการเสียหายของคอนกรีตที่ผสมอีพ็อกซีโพลีเมอร์ทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนเมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติมีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างกันเพียงในส่วนชั้นการเสียหายของคอนกรีตที่ผสมอีพ็อกซีโพลีเมอร์ทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนมีขนาดเล็กลง



คอนกรีตแบบปกติ คอนกรีตที่ผสม ESP 0.03% คอนกรีตที่ผสม ESP 0.05% คอนกรีตที่ผสม ESP 0.07%



คอนกรีตที่ผสม ESP 0.1% คอนกรีตที่ผสม ESP 0.2% คอนกรีตที่ผสม ESP 0.3%

รูปที่ 4 การเปรียบเทียบความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตแบบปกติกับคอนกรีตที่ผสมอีพ็อกซีโพลีเมอร์ที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วน

5.4 การประเมินต้นทุนของคอนกรีตผสมอีพ็อกซีโพลีเมอร์ที่ใช้แล้ว สำหรับการกำจัดขยะอีพ็อกซีโพลีเมอร์ขั้นพื้นฐานในระดับพื้นที่ชุมชนอ้างอิงข้อมูลของสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร [2] ได้กำหนดอัตราค่าเก็บขนและกำจัดขยะโดยรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 600 บาทต่อลูกบาศก์เมตรต่อครั้ง ต้นทุนของทรายสำหรับผสมคอนกรีตอ้างอิงข้อมูลจากสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ [17] ได้แสดงราคาค่าต้นทุนประมาณ 460 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (ทราย 1 ลูกบาศก์เมตร หนักประมาณ 1500 กิโลกรัม) ความหนาแน่นของขยะอีพ็อกซีโพลีเมอร์เฉลี่ยเท่ากับ 19 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การคำนวณต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอีพ็อกซีโพลีเมอร์ที่ใช้แล้วแสดงในตารางที่ 5 พบว่า คอนกรีตต้นทุนต่ำที่ผสมอีพ็อกซีโพลีเมอร์ในอัตราส่วนสูงสุดร้อยละ 0.1 ต่อน้ำหนักมวลรวมละเอียดซึ่งมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้มากที่สุดคือ 220.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีต้นทุนคือ 2,001 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (คำนวณต้นทุนเฉพาะวัสดุ ไม่รวมค่าแรงงาน) และแนวโน้มต้นทุนคอนกรีตจะลดลงตามสัดส่วนอีพ็อกซีโพลีเมอร์ที่ผสมเพิ่มมากขึ้นแต่ก็จะส่งผลต่อความสามารถรับน้ำหนักที่ลดลงตามไปด้วย การใช้งานคอนกรีตต้นทุนต่ำที่ผสมอีพ็อกซีโพลีเมอร์ที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วน เมื่อพิจารณาจากกำลังรับแรงอัดที่ทดสอบได้นั้นควรเลือกใช้งานคอนกรีตที่ผสมอีพ็อกซีโพลีเมอร์ในอัตราส่วนสูงสุดไม่เกิน 0.1 % ของน้ำหนักมวลรวมละเอียด โดยมีต้นทุนลดลงจากคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 2 อัตราเฉลี่ยร้อยละของต้นทุนคอนกรีตที่ลดลงเทียบกับร้อยละของอีพ็อกซีโพลีเมอร์ที่ผสมเพิ่มมากขึ้นเท่ากับ 18.77 คอนกรีตต้นทุนต่ำที่ผสมอีพ็อกซีโพลีเมอร์ที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนในสัดส่วนที่เพิ่มมากขึ้นจะมีต้นทุนคอนกรีตที่ลดลงแต่ค่ากำลังรับแรงอัดจะมีค่าที่ต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งไม่เหมาะสมสำหรับการออกแบบโครงสร้างงานที่ต้องรับน้ำหนักมาก

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบสัดส่วนผสมของคอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วน ค่าเฉลี่ย
กำลังรับแรงอัด และต้นทุนเฉลี่ย

EPS (%)	0	0.03	0.05	0.07	0.1	0.2	0.3
กำลังแรงอัด (กก / ตร.ซม.)	252.7	250.9	245.6	228.1	220.2	192.3	163.1
ต้นทุนเฉลี่ยเบื้องต้น (บาท / ลบ.ม.)	2039	2039	2039	2039	2039	2039	2039
ต้นทุนเฉลี่ยของทรายที่ลดลง (บาท)	0	6	9	13	18	36	54
ต้นทุนเฉลี่ยกำจัดอิพีสโโฟม (บาท)	0	6	10	14	20	39	59
ต้นทุนเฉลี่ย (บาท / ลบ.ม.)	2039	2027	2020	2012	2001	1964	1926

6. สรุป

คอนกรีตต้นทุนต่ำที่ผสมอิพีสโโฟมใช้แล้วทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนในปริมาณมากขึ้นจะส่งผลต่อค่ากำลังแรงอัดที่ลดลง สัดส่วนที่เหมาะสมของอิพีสโโฟมสำหรับผสมในคอนกรีต คือ สัดส่วนที่ไม่เกินร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดโดยมีค่ากำลังแรงอัดประมาณ 220 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อการรับน้ำหนักตามหลักการวิศวกรรมโยธาควรมีค่าไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สัดส่วนของอิพีสโโฟมในคอนกรีตที่มากกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดจะมีค่าการรับกำลังแรงอัดที่ต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งไม่เหมาะสมในการใช้ออกแบบโครงสร้าง การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตกับสัดส่วนผสมของอิพีสโโฟมที่ใช้แล้วพบว่า พบว่า สัดส่วนสูงสุดที่ผสมอิพีสโโฟมในคอนกรีตโดยมีค่าการรับกำลังแรงอัดไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คือ ร้อยละ 0.17 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียด ความหนาแน่นของคอนกรีตต้นทุนต่ำที่ผสมอิพีสโโฟมที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนมีค่าที่ลดลงตามสัดส่วนผสมของอิพีสโโฟมที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อน้ำหนักของคอนกรีตที่ลดลง ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของคอนกรีตปกติลดลงที่ระดับร้อยละ 1.16, 1.53, 2.15 และ 2.73 สำหรับสัดส่วนผสมอิพีสโโฟมระดับร้อยละ 0.03, 0.05, 0.07 และ 0.1 ตามลำดับ หรือน้ำหนักของคอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมที่ลดลงโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.89 ของค่าน้ำหนักบรรทุกตายตัวเดิม ลักษณะความเสียหายเนื่องจากการทดสอบกำลังแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างโดยภาพรวมพบว่าการแตกร้าวในแนวตั้งตรงที่กระจายตัวไปทั่วของตัวอย่างและเป็นชั้นความเสียหายที่เล็กหรือลักษณะเป็นชั้นขุ่ยกว่าความเสียหายของคอนกรีตแบบปกติ รอยแตกร้าวจะมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นแปรผันตามสัดส่วนอิพีสโโฟมที่ผสมมากขึ้นโดยในทางกลับกันก็จะมีความสามารถรับกำลังแรงอัดที่ลดลงด้วยเช่นกัน การวิเคราะห์ต้นทุนคอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมละเอียดบางส่วนโดยลดต้นทุนมวลรวมละเอียดที่ลดลงและการกำจัดขยะอิพีสโโฟมพบว่า สัดส่วนที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 0.03, 0.05, 0.07 และ 0.1 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียด และต้นทุนของคอนกรีตที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 0.59, 0.93, 1.32 และ 1.86 ตามลำดับ หรืออัตราเฉลี่ยร้อยละของต้นทุนคอนกรีตที่ลดลงเทียบกับร้อยละของอิพีสโโฟมที่ผสมเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 18.77

7. ข้อเสนอแนะ

การวิจัยในอนาคตควรทดสอบสัดส่วนผสมดังกล่าวไปต่อยอดการผลิตวัสดุก่อสร้างชนิดอื่น ๆ ที่สร้างมูลค่าเพิ่มขึ้น เช่น อิฐทางเท้าเพื่อการใช้งานในพื้นที่ชุมชนหรือเชิงพาณิชย์ โดยสามารถพัฒนาเป็นธุรกิจขนาดเล็กหรือเอสเอ็มอีของชุมชนได้ และการศึกษาด้านคาร์บอนเครดิต การศึกษาอิพีสโโฟมเป็นส่วนผสมในคอนกรีตเพื่อวิจัยสมบัติด้านอื่นที่สามารถพัฒนาให้ดีขึ้น เช่น ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลงที่ทำให้น้ำหนักบรรทุกตายตัวของโครงสร้างลดลง และการนำความร้อนของคอนกรีตอาจมีแนวโน้มลดลงซึ่งส่งผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัยงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 ของมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ. (2561). **มาเรียนรู้เรื่องพลาสติกและโฟมเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม เอกสารเผยแพร่.** กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [2] สำนักงานสิ่งแวดล้อม. (2564). **คู่มือแนวทางการจัดเก็บค่าธรรมเนียมการจัดการสิ่งปฏิกูลและมูลฝอยของ กรุงเทพมหานคร.** กรุงเทพมหานคร: กรุงเทพมหานคร.
- [3] Ratanachotinun, J., & Pairon, P. (2020). Assessment of the Feasibility of Autoclaved Aerated Concrete with Perforation in Thailand. *Journal of Applied Science and Engineering*. 23(2), 249-259.
- [4] สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ. (2006). การใช้เศษโฟมมาทำวัสดุผสมหยาบมวลเบาในงานคอนกรีต. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, 2(1): 65-69.
- [5] รณชัย จิตอารย์, มงคล นามลักษณ์. (2562). อิทธิพลของขนาดเม็ดโฟมโพลีสไตรีนต่อคุณภาพของคอนกรีตมวลเบา. *วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา*, 3(1): 11-18.
- [6] Wang, X., Liu, L., Zhou, H., Song, T., Qiao, Q., & Zhang, H. (2021). Improving the compressive performance of foam concrete with ceramsite: Experimental and meso-scale numerical investigation. *Materials & Design*. 208: 1-23.
- [7] จรัส รัตนโชตินันท์, กฤษ คำณนธรรม, ไชยพันธ์ รัตนโชตินันท์, มนพัทธ สาสิงห์, เสาวรส หะลิตะ และขวัญจิรา สอนระวัตร. (2564). การศึกษาความเป็นฉนวนกันความร้อนของอิฐบล็อกและปูนฉาบโดยการผสมอิฟิเอสโฟมที่ใช้แล้ว. ในการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ และเทคโนโลยี ครั้งที่ 1(582-592). มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- [8] จรัส รัตนโชตินันท์. (2565). การพัฒนาคอนกรีตที่ผสมพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วน. *วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา*, 7(1): 50-64.
- [9] Zhan, B.J., Shi, C.J., Poon, C.S., & Xuan, D.X. (2016). Effect of curing parameters on CO2 curing of concrete blocks containing recycled aggregates. *Cement and Concrete Composites*. 71: 122-130.
- [10] Tu, A., Chen, C., Lehman, D.E., & Guo, Z. (2018). Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of concrete building blocks incorporating recycled concrete aggregates. *Journal of Cleaner Production*. 139: 136-149.
- [11] Bjegovic, D., Milic'evic, I., & Siddique, R. (2015). Experimental research of concrete floor blocks with crushed bricksand tiles aggregate. *Construction and Building Materials*. 94: 775-778.
- [12] Bechki, D., Bouguettaia, H., Nadir, N., & Boughali, S. (2019). Use of a new agricultural product as thermal insulation for solar collector. *Renewable Energy*. 134: 569-578.
- [13] Ling, T.C., Mo, K.H., & Meng, Y. (2018). Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An Overview. *Resources Conservation & Recycling*. 138: 298-312.
- [14] จรัส รัตนโชตินันท์. (2566). การศึกษาความเป็นไปได้ของคอนกรีตผสมอิฟิเอสโฟมที่ใช้แล้วสำหรับการรับน้ำหนัก. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม*, 33(1): 1-10.

- [15] อุทัยฤทธิ์ โรจนวิภาต. (2560). **Concrete Laboratory**, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [16] สำนักงานชลประทานที่ 14. (2565). มถ. 101-2550 มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็กกรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สืบค้น 20 กันยายน 2565, จาก
<http://irrigation.rid.go.th/rid14/water/library/shelf/formu/page/Transport/DRR/files/103.pdf>
- [17] สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า, สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์. (2565). ราคาสินค้าเฉลี่ยวัสดุก่อสร้าง จังหวัดนครราชสีมา เดือน มกราคม ปี 2566 กระทรวงพาณิชย์. สืบค้น 20 มิถุนายน 2565, จาก
http://www.indexpr.moc.go.th/PRICE_PRESENT/Select_month_regionCsi.asp?region=2