

การศึกษาความเป็นไปได้ของคอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วสำหรับการรับน้ำหนัก The Feasibility Study of Concrete Mixed with Used EPS Foam for Load Bearing

จรัล รัตนโชตินันท์
Jaran Ratanaachotinun

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
Department of Civil and Construction Management Engineering, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของคอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วเพื่อการรับน้ำหนัก โดยนำอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วมาผสมกับส่วนผสมแบบปกติโดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตแบบปกติที่ไม่มีส่วนผสมของอีพีเอสโฟมและการประเมินต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว การทดสอบความสามารถรับกำลังอัดระหว่างคอนกรีตแบบปกติและคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วในอัตราส่วน 0.1%, 0.2%, 0.3%, และ 0.4% ต่อน้ำหนักมวลรวมละเอียดและช่วงอายุการบ่มของคอนกรีตที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อค่าการรับกำลังแรงอัดที่ลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตแบบปกติ สัดส่วนของอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วที่เหมาะสม คือ ระดับไม่เกินร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดและมีค่าเฉลี่ยรับกำลังแรงอัดประมาณ 218 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของคอนกรีตปกติลดลงที่ระดับเฉลี่ยร้อยละ 2 ถึง 6 ต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วโดยประมาณ 1,980 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งลดลงจากต้นทุนของคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 3

คำสำคัญ: คอนกรีตผสมอีพีเอสโฟม ต้นทุนคอนกรีต อีพีเอสโฟม

Abstract

This research is the feasibility study of concrete mixed with used EPS foam for loading, comparing with typical concrete and assessment for cost of concrete mixed with used EPS foam. The testing of compressive strength compared with typical concrete and concrete which mixed with EPS foam in rate of 0.1%, 0.2%, 0.3%, and 0.4 % 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 0.3 % by weight, average strength of 218 kg/cm² and average density of green concrete is 2%-6% lower than density of typical concrete. The cost of concrete is around 1980 baths per cubic meter which is 3% lower than typical concrete.

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

1. บทนำ

คอนกรีต เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญที่ใช้ในการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ เช่น อาคาร ถนน เป็นต้น ส่วนประกอบของคอนกรีต คือ ปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ปัญหาการกำจัดขยะโดยเฉพาะที่เป็นขยะโพลีเอสเตอร์ กระดาษสิ่งแวดล้อม และอ้างอิงข้อมูลกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) ในปี 2560 สำหรับประเทศไทยมีการใช้ผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกหิ้ว จำนวน 45,000 ล้านใบต่อปี และโพลีเอสเตอร์อาหาร จำนวน 6,758 ล้านใบต่อปี ซึ่งก่อให้เกิดขยะโพลีเอสเตอร์เป็นจำนวนมาก ข้อมูลจากสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร (สำนักงานสิ่งแวดล้อม, 2564) กำหนดข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครเรื่องค่าธรรมเนียมการจัดการสิ่งปฏิกูล พ.ศ.2562 กำหนดค่าเก็บขนและกำจัดขยะโดยรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 600 บาทต่อลูกบาศก์เมตรต่อครั้ง จึงส่งผลต่อต้นทุนการกำจัดขยะโพลีเอสเตอร์ การกำจัดขยะโพลีเอสเตอร์จะเกิดการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ อ้างอิงข้อมูลจาก Reginald B.H. et al. (Reginald B.H. Tan, Hsien H. Khoo, 2005) ได้อธิบายไว้ว่า การปลดปล่อยก๊าซ CO₂ โดยประมาณเท่ากับ 0.051 และ 0.028 กิโลกรัมต่อขยะโพลีเอสเตอร์ 1 กิโลกรัม สำหรับการฝังกลบและการเผาขยะโพลีเอสเตอร์ตามลำดับ การกำจัดขยะโพลีเอสเตอร์โดยนำมาใช้งานให้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตก่อสร้างจะช่วยลดต้นทุนการกำจัดขยะและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวัสดุก่อสร้าง อาทิ การศึกษาคอนกรีตมวลเบาที่มีรูกลวงเพื่อการลดความร้อนถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (Ratanachotinun and Pairojn, 2020) เพื่อเพิ่มความเป็นฉนวนกันความร้อนและช่วยประหยัดการใช้พลังงานภายในอาคาร การนำเศษโพลีเอสเตอร์มาใช้ทำวัสดุผสมหยาบมวลเบาในงานคอนกรีต (สมบูรณ์ คงศักดิ์ศิริ, 2006) โดยนำโพลีเอสเตอร์ตามขนาดที่ต้องการและผสมกับปูนซีเมนต์ขึ้นรูปเป็นวัสดุผสมโพลีเอสเตอร์เป็นคอนกรีตมอร์ตาร์ที่ไม่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบหรือหิน ผลการทดสอบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของมอร์ตาร์ คือ อัตราส่วนของปูนซีเมนต์:ทราย:โพลีเอสเตอร์ คือ 1:0.5:3 โดยปริมาตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 ให้ค่ากำลังอัดที่ 28 วันเท่ากับ 4.52 เมกกะปาสคาลหรือ 46.09 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อนำโพลีเอสเตอร์มาผสมคอนกรีตโดยใช้สัดส่วนผสม 1:2.2:5.3 โดยปริมาตรและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7 ทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดที่อายุ 28 วันของคอนกรีตผสมโพลีเอสเตอร์สามารถรับแรงอัดสูงสุดได้ 6.41 เมกกะปาสคาลหรือ 65.36 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โมดูลัสการแตกหัก เท่ากับ 1.42 เมกกะปาสคาลหรือ 14.48 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การศึกษาอิทธิพลของขนาดเม็ดโพลีโพลีเอสเตอร์ต่อคุณภาพของคอนกรีตมวลเบา (รมย์ธีรา จิตอารย์, มงคล นามลักษณ์, 2562) ผลการศึกษพบว่า การผสมเม็ดโพลีเอสเตอร์ขนาดเล็กจะทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เม็ดโพลีเอสเตอร์ขนาดใหญ่ การใช้เม็ดโพลีเอสเตอร์ขนาดต่างกันส่งผลต่อความหนาแน่นของคอนกรีตเล็กน้อย กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของคอนกรีตจะลดต่ำลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเม็ดโพลีเอสเตอร์ที่ใช้ และคอนกรีตที่ผสมเม็ดโพลีเอสเตอร์จะมีการดูดซึมน้ำสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม การพัฒนาความสามารถรับกำลังอัดของคอนกรีตโพลีเอสเตอร์ที่ผสมเม็ดเซรามิก (Wang et al, 2021) ผลการทดลองพบว่า การรับกำลังอัดโดยเฉลี่ยระหว่าง 5.1-62.22 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามสัดส่วนผสมของคอนกรีตโพลีเอสเตอร์กับเม็ดเซรามิก การศึกษาความเป็นฉนวนกันความร้อนของอิฐบล็อกและปูนฉาบโดยการผสมโพลีเอสเตอร์ที่ใช้แล้ว (จรัส รัตนโชตินันท์, 2564) ผลการทดลองพบว่า การผสมโพลีเอสเตอร์ในอิฐบล็อกและปูนฉาบสำหรับก่อสร้างอาคารทั่วไปจะช่วยลดความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นการช่วยกำจัดขยะโพลีเอสเตอร์ที่ใช้แล้วโดยสัดส่วนผสมโพลีเอสเตอร์ที่เหมาะสมไม่ควรเกินร้อยละ 1 ของมวลรวมละเอียด จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นก็จะพบว่าเป็นการศึกษาวัดที่ไม่ใช้งานแล้วผสมในคอนกรีตซึ่งยังมีความสามารถในการรับน้ำหนักไม่มากนัก สำหรับงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุเหลือใช้กับการพัฒนางานก่อสร้าง อาทิ การศึกษาคอมโพสิตซีเมนต์และคอนกรีต ผลของพารามิเตอร์การบ่มต่อการบ่ม CO₂ ของบล็อกคอนกรีตที่มีมวลรวมรีไซเคิลรวดเร็ว (Zhan et al, 2016) ศึกษาบล็อกคอนกรีตที่มีมวลรวมรีไซเคิลสำหรับงานก่อสร้าง การศึกษาวิศวกรรมความร้อนประยุกต์ การศึกษาสมบัติเชิงกลความทนทานและการประเมินวัฏจักรชีวิตของบล็อกอาคารคอนกรีตที่มีมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (Tu et al, 2018) ศึกษาความเป็นไปได้การใช้คอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล (RCAs) เพื่อผลิตคอนกรีตสำหรับงานการก่อสร้างอาคาร การวิเคราะห์วัสดุก่อสร้างและอาคารการวิจัยเชิงทดลองของบล็อกคอนกรีตปูพื้นด้วยอิฐดินเผาและกระเบื้องรวม (Bjegovic et al, 2015) ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปด้วยวัสดุทดแทนธรรมชาติมากกว่า 50% ด้วยวัสดุรีไซเคิลที่ทำจากดินเหนียวและกระเบื้องหลังคา การศึกษาพลังงานทดแทนการใช้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรใหม่เป็นฉนวนกันความร้อน

สำหรับตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้ก่อสร้างอาคาร (Bechki et al, 2019) การศึกษาการรีไซเคิลของเสียสำหรับการใช้งานที่มีมูลค่าเพิ่มในบล็อกคอนกรีต (Ling et al., 2018) การใช้ของเสียประเภทต่างๆ เช่น คอนกรีตรีไซเคิล อิฐบด อิฐโซดาไลม์ แก้วหลอด แก้วคาโทเดอเรีย ยางครัม เศษเซรามิกและกระเบื้องเป็นต้น มาเพิ่มความเป็นฉนวนกันความร้อนของบล็อกคอนกรีต จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาโดยภาพรวมเห็นว่ยังไม่มีการพัฒนาคอนกรีตผสมอิพีเอสโฟมอย่างง่ายเพื่อใช้งานก่อสร้างโครงสร้างที่สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยอ้างอิงมาตรฐานกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุใช้ในงานโครงสร้างอาคาร มยผ. 1101-64 ถึง มยผ. 1106-64 (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2564) และเป็นการกำจัดขยะอิพีเอสโฟม งานวิจัยที่ผ่านมาเลือกใช้วัสดุเหลือใช้ประเภทอื่นๆ ที่ไม่ใช่อิพีเอสโฟมผสมในคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้าง จึงเป็นที่มาของงานวิจัย งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาความสามารถการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตผสมอิพีเอสโฟมที่ใช้แล้วเพื่อการรับน้ำหนัก การเปรียบเทียบการรับน้ำหนักกับคอนกรีตแบบปกติ และการประเมินต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอิพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้ คือ วัสดุและเครื่องมือสำหรับการทดสอบ การทดสอบความถ่วงจำเพาะ ขนาดคละ และการดูดซึมน้ำของมวลรวม การออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตสำหรับการทดสอบ การเตรียมตัวอย่างและทดสอบการรับกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต การวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยและสรุปผลการวิจัย

2.1 วัสดุและเครื่องมือสำหรับการทดสอบ มีรายละเอียดดังนี้

การวิจัยนี้ใช้วัสดุสำหรับการสร้างตัวอย่างทดสอบ คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Portland Cement Type 1) ตราตราทีพีไอ มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก. 15 มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดเป็นมวลรวมทั่วไปที่นิยมใช้และมีอยู่ในประเทศไทย น้ำสำหรับการทดสอบเป็นน้ำประปามีคุณภาพตามมาตรฐานการประปานครหลวง สถานที่การวิจัยเป็นห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม อิพีเอสโฟมที่ใช้ในการทดสอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานสำหรับป้องกันการกระแทกจากการขนส่งสินค้าต่าง ๆ การย่อยอิพีเอสโฟมที่ใช้แล้วสำหรับผสมในคอนกรีตจะมีรูปร่างเป็นเม็ดโฟมทรงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยประมาณ 1.0-3.0 มิลลิเมตร และผสมในคอนกรีตร้อยละ ร้อยละ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด เครื่องมือสำคัญสำหรับทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีตตัวอย่าง คือ แบบหล่อคอนกรีตตัวอย่างทรงลูกบาศก์ 15*15*15 เซนติเมตร และเครื่องทดสอบ Compressive Testing Machine วัสดุและเครื่องมือสำคัญสามารถแสดงได้ในภาพที่ 1



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 1 อิพีเอสโฟมและเครื่องทดสอบที่สำคัญสำหรับงานวิจัย (ก) ตัวอย่างอิพีเอสโฟมขนาดประมาณ 1.0-3.0 มิลลิเมตร

(ข) แบบหล่อคอนกรีตตัวอย่างทรงลูกบาศก์ (ค) เครื่อง Compressive Testing Machine

2.2 การทดสอบความถ่วงจำเพาะ ขนาดผลและการดูดซึมน้ำของมวลรวม

การทดสอบวัสดุมวลรวมจะอบมวลรวมตัวอย่างเพื่อทดสอบจะใช้ตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ระดับ 110 องศาเซลเซียส การทดสอบความถ่วงจำเพาะและความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบตาม ASTM C127 Standard test method for density, relative density (specific gravity), absorption aggregate การทดสอบความถ่วงจำเพาะและค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมละเอียด อ้างอิงมาตรฐานการทดสอบตาม ASTM C128 Standard test method for density, relative density (specific Gravity), and absorption of fine aggregate การทดสอบนี้มีสถานะอิมมัวผิวแห้ง และการดูดซึมน้ำของมวลรวมเป็นการหาค่าดูดซึมน้ำเข้าสู่ตัวเนื้อมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

2.3 การออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตสำหรับการทดสอบ

อัตราส่วนผสมที่ใช้สร้างตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมสำหรับทดสอบการรับแรงอัดของ อ้างอิงจากอุทัยฤทธิ์ โรจนวิภาต (2560) โดยการคำนวณออกแบบส่วนผสมตามมาตรฐาน ACI (American Concrete Institute) เป็นการหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา งานวิจัยนี้ใช้คอนกรีตแบบปกติที่มีกำลังอัด 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยกำหนดปริมาตร 1:2:4 โดยใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน หยาบ 2 ส่วน และหิน 4 ส่วน และน้ำหนักของปูนซีเมนต์เท่ากับ 1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร น้ำหนักของหยาบเท่ากับ 1,450 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และน้ำหนักของหินเท่ากับ 1,500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นการคำนวณออกแบบส่วนผสมคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร คือ ปูนซีเมนต์ เท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หยาบเท่ากับ 624 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หินเท่ากับ 1,296 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และน้ำเท่ากับ 180 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การสร้างตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมจะมีสัดส่วนปริมาตรของอีพีเอสโฟมที่ผสมในคอนกรีต คือ ร้อยละ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด โดยกำหนดปริมาณมวลรวมละเอียดหรือหยาบเท่าเดิม ไม่มีการลดปริมาณหยาบ การออกแบบส่วนผสมตัวอย่างคอนกรีตสำหรับการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนของวัสดุผสมในคอนกรีตปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตรสำหรับใช้ทดสอบกำลังอัด

ปูนซีเมนต์ (kg)	หยาบ (kg)	หิน (kg)	น้ำ (kg)	EPS (% ของน้ำหนักหยาบ)	EPS (kg)
300	624	1296	180	0	0.000
300	624	1296	180	0.1	0.624
300	624	1296	180	0.2	1.248
300	624	1296	180	0.3	1.872
300	624	1296	180	0.4	2.496

2.4 การเตรียมตัวอย่างและทดสอบการรับกำลังแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต

การย้อยอีพีเอสโฟมที่ใช้จะมีรูปร่างเป็นเม็ดโฟมทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยประมาณ 1.0-3.0 มิลลิเมตร จำนวนตัวอย่างคอนกรีตสำหรับการทดสอบอ้างอิงมาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก มล 101-2550 (สำนักชลประทานที่ 14, 2562) กำหนดจำนวน 3 ตัวอย่าง สำหรับการทดสอบในงานวิจัยนี้ ได้เตรียมตัวอย่างเพิ่มเป็น 4 ตัวอย่างต่อชุดเพื่อความน่าเชื่อถือ ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ที่ใช้ในการทดสอบต่อสัดส่วนเท่ากับ 12 ตัวอย่าง และอายุของคอนกรีตทุกกลุ่มตัวอย่างจะมีระยะเวลาการบ่มเท่ากับ 7, 14 และ 28 วันแบ่งแยกตามสัดส่วนการผสมอีพีเอสโฟม รวมตัวอย่างทดสอบทั้งหมดเท่ากับ 60 ตัวอย่าง การทดสอบหารับกำลังแรงอัดเป็นตามมาตรฐาน ASTM C 39 (Standard testing method for compressive strength of cylindrical concrete specimens) โดยเป็นมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา การทดสอบการรับกำลังแรงอัดตัวอย่างคอนกรีตแสดงผลทดสอบในตารางและแผนภูมิภาพเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตแบบปกติกับคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว

5.การวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยและสรุปผลงานวิจัย

การเปรียบเทียบความสามารถรับกำลังอัดของคอนกรีตผสมอิพิเอสโม่ที่ใช้แล้วที่สัดส่วนต่าง ๆ รูปแบบความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตผสมอิพิเอสโม่ที่ใช้แล้ว การวิเคราะห์ต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอิพิเอสโม่ที่ใช้แล้วจากต้นทุนกำจัดขยะอิพิเอสโม่ที่นำมาผสมในคอนกรีต

3. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลวิจัย สามารถแบ่งรายละเอียดดังนี้ คือ คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทดสอบ ผลการทดสอบคุณสมบัติการรับกำลังแรงอัด ลักษณะความเสียหายของคอนกรีตที่ผสมอิพิเอสโม่ที่ใช้แล้ว และการประเมินต้นทุนของคอนกรีตผสมอิพิเอสโม่ที่ใช้แล้ว

3.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทดสอบ

ปูนซีเมนต์เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มวลรวมละเอียดหรือทรายหยาบที่ใช้ทดสอบมีค่าความถ่วงจำเพาะรวมเฉลี่ยเท่ากับ 2.62 ความถ่วงจำเพาะปรากฏเฉลี่ยเท่ากับ 2.71 ค่าอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.54 และขนาดคละตามแสดงในตารางที่ 2 มวลรวมหยาบหรือหินที่ใช้ทดสอบมีค่าความถ่วงจำเพาะรวมเฉลี่ยเท่ากับ 2.72 ความถ่วงจำเพาะปรากฏเฉลี่ยเท่ากับ 2.79 ค่าอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.48 และขนาดคละตามแสดงในตารางที่ 3 อิพิเอสโม่ที่ใช้แล้วสำหรับทดสอบมีความหนาแน่นเท่ากับ 28 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยทำการย่อยอิพิเอสโม่ได้ขนาดประมาณ 1.0-3.0 มิลลิเมตร อิพิเอสโม่ในรูปแบบเป็นขยะจะมีลักษณะที่จับตัวกันแบบหลวมเนื่องจากอิพิเอสโม่ที่ขึ้นรูปเป็นโครงกันกระแทกที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์ จากลักษณะดังกล่าวส่งผลต่อความหนาแน่นของขยะอิพิเอสโม่จะลดลงประมาณร้อยละ 30 ของความหนาแน่นแบบปกติ (28 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ดังนั้นความหนาแน่นของอิพิเอสโม่ที่เป็นขยะจะมีค่าเท่ากับ 19 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและค่าอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 4 สรุปคุณสมบัติของวัสดุสำหรับทดสอบแสดงในตารางที่ 4

3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติการรับกำลังแรงอัด

การทดสอบการรับกำลังแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตแบบปกติและคอนกรีตที่ผสมอิพิเอสโม่ในช่วงอายุการบ่มคอนกรีต 7, 14 และ 28 วัน และจำแนกสัดส่วนผสมอิพิเอสโม่อัตราส่วนร้อยละ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 ต่อน้ำหนักมวลรวมละเอียด ค่าการทดสอบกำลังรับแรงอัดดังแสดงในตารางที่ 5 ถึงตารางที่ 12 และการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดแสดงในภาพที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ขนาดคละมวลรวมละเอียด

ขนาดตะแกรง มาตรฐาน (เบอร์)	น้ำหนักตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักทราย + ตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักที่ค้าง อยู่บนตะแกรง (กรัม)	ร้อยละที่ค้างบน ตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ ค้างบนตะแกรง	ร้อยละที่ผ่าน ตะแกรง
4	1,597	1,598.30	1.30	0.26	0.26	99.74
10	1,408.80	1,476.30	67.50	13.41	13.67	86.33
20	1,249.50	1,394.30	144.80	28.78	42.45	57.55
50	1,095.20	1,287.40	192.20	38.20	80.64	19.36
80	1,055.30	1,109.80	54.50	10.83	91.47	8.53
100	956	969.6	13.60	2.70	94.18	5.82
200	923.2	945	21.80	4.33	98.51	1.49
ถัด	1,049.10	1,056.60	7.50	1.49	100.00	0
รวม	9,334.10	9,837.30	503.2	100		

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ขนาดคละมวลรวมหยาบ

ขนาดตะแกรง มาตรฐาน (นิ้ว)	น้ำหนักตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักหิน + ตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักที่ค้าง อยู่บนตะแกรง (กรัม)	ร้อยละที่ค้างบน ตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ ค้างบนตะแกรง	ร้อยละที่ผ่าน ตะแกรง
1	1708.9	1709.1	0.2	0.0192	0.0192	99.9808
0.75	1623.1	1736.8	113.7	10.901	10.920	89.080
0.5	1692.2	2201.9	509.7	48.869	59.789	40.211
0.375	1722.2	1918.5	196.3	18.821	78.610	21.390
0.187	1584.5	1786	201.5	19.319	97.929	2.071
ถัด	1048.3	1069.9	21.6	2.071	100.000	0
รวม	9379.2	10422.2	1043	100.000		

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของซีเมนต์และมวลรวม

วัสดุ	ความถ่วงจำเพาะ	การดูดซึมน้ำ (%)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม)
ซีเมนต์	3.11	-	1400
หิน	2.72	0.48	1450
ทราย	2.62	1.54	1500
EPS foam	-	4	28

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแบบปกติผสมอิพีสโฝมสัดส่วน 0 %

อายุการบ่ม คอนกรีต (วัน)	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กก.)	ขนาดตัวอย่างคอนกรีต กว้าง*ยาว*สูง (ซม.)	กำลังแรงกด (กก.) / กำลังแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของแรงกดเฉลี่ย (กก.) / กำลังแรงอัดเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)	ค่าการยุบตัว(ซม.) / ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
7	1	8.31	15.1*15*15.1	49230 / 218.8	49061 / 218.05	
	2	8.17	15*15*15	47588 / 211.5		
	3	8.31	15.1*15*15	50153 / 222.9		
	4	8.41	15.1*15*15	49275 / 219.0		
14	1	8.11	15*15*15	53865 / 239.4	54630 / 242.80	9.5 / 2436
	2	8.26	15*14.9*15	56205 / 249.8		
	3	7.95	15*15*15.1	54878 / 243.9		
	4	7.77	15*15*15	53573 / 238.1		
28	1	8.47	15*15*14.9	58478 / 259.9	57791 / 256.85	
	2	8.31	15*15*15	56183 / 249.7		
	3	8.50	15*15*15.1	57983 / 257.7		
	4	8.08	15*14.8*15	58523 / 260.1		

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมอิพิเอสโฟมสัดส่วน 0.1 %

อายุการบ่ม คอนกรีต (วัน)	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กก.)	ขนาดตัวอย่างคอนกรีต กว้าง*ยาว*สูง (ซม.)	กำลังแรงกด (กก.) / กำลังแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของแรงกดประลัย (กก.) / กำลังแรงอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ค่าการยุบตัว(ซม.) / ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
7	1	8.14	15*15*15	46980 / 208.8	48690 / 216.40	
	2	8.00	15*15*14.9	48330 / 214.8		
	3	7.99	15*14.9*15	49455 / 219.8		
	4	8.14	15*15*15	49995 / 222.2		
14	1	7.92	15*15*15	56475 / 251.0	54163 / 240.73	6.3 / 2381
	2	8.07	15*14.9*15	54585 / 242.6		
	3	8.00	15*15*15	54000 / 240.0		
	4	8.07	15*15*14.9	51593 / 229.3		
28	1	8.02	15*15*15	55643 / 247.3	54917 / 244.08	
	2	8.10	14.9*15*15	53393 / 237.3		
	3	8.04	15*15*15	56453 / 250.9		
	4	7.96	15*15*14.9	54180 / 240.8		

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมอิพิเอสโฟมสัดส่วน 0.2 %

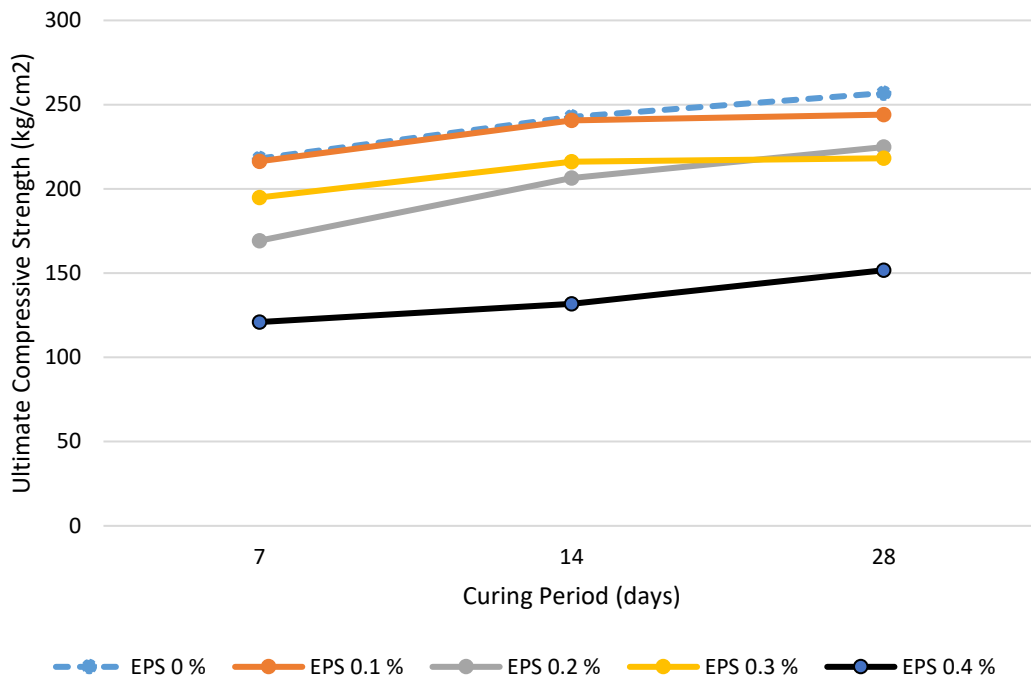
อายุการบ่ม คอนกรีต (วัน)	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กก.)	ขนาดตัวอย่างคอนกรีต กว้าง*ยาว*สูง (ซม.)	กำลังแรงกด (กก.) / กำลังแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของแรงกดประลัย (กก.) / กำลังแรงอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ค่าการยุบตัว(ซม.) / ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
7	1	7.76	15*15*15	44415 / 197.4	43746 / 194.43	
	2	7.85	15*15*15	44573 / 198.1		
	3	7.77	15*14.9*15	42795 / 190.2		
	4	7.75	15*14.9*15	43200 / 192.0		
14	1	7.85	15*15*15	44145 / 196.2	47177 / 209.68	5.5 / 2296
	2	7.70	15*14.9*15	49703 / 220.9		
	3	7.94	14.9*15*15	47858 / 212.7		
	4	7.86	14.9*15*15	47003 / 208.9		
28	1	7.27	14.9*15*15	50513 / 224.5	50586 / 224.83	
	2	7.70	15*15*15	51638 / 229.5		
	3	7.75	15*15*15.1	52763 / 234.5		
	4	7.80	15*15*15	47430 / 210.8		

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมอิพิเอสโฟมสัดส่วน 0.3 %

อายุการบ่ม คอนกรีต (วัน)	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กก.)	ขนาดตัวอย่างคอนกรีต กว้าง*ยาว*สูง (ซม.)	กำลังแรงกด (กก.) / กำลังแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของแรงกดประลัย (กก.) / กำลังแรงอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ค่าการยุบตัว(ซม.) / ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
7	1	7.82	15*15*15	40725 / 181.0	43858 / 194.93	
	2	7.76	14.9*15*15	46328 / 205.9		
	3	7.81	14.9*15*15	42435 / 188.6		
	4	7.70	15*15*15	45945 / 204.2		
14	1	7.59	15*14.9*15	48938 / 217.5	48639 / 216.18	5.5 / 2288
	2	7.73	15*15*15	47678 / 211.9		
	3	7.58	15*15*15	48645 / 216.2		
	4	8.08	15*15*15	49298 / 219.1		
28	1	7.57	15*15*15	49365 / 219.4	49088 / 218.17	
	2	7.65	14.9*15*15	51413 / 228.5		
	3	7.72	14.9*15*15	46193 / 205.3		
	4	7.67	15*15*15.1	49298 / 219.1		

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมอิพิเอสโฟมสัดส่วน 0.4 %

อายุการบ่ม คอนกรีต (วัน)	ตัวอย่าง ที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กก.)	ขนาดตัวอย่างคอนกรีต กว้าง*ยาว*สูง (ซม.)	กำลังแรงกด (กก.) / กำลังแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของแรงกดประลัย (กก.) / กำลังแรงอัดประลัย (กก./ตร.ซม.)	ค่าการยุบตัว(ซม.) / ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)
7	1	7.30	14.9*15*15	27653 / 122.9	27218 / 120.97	
	2	7.42	15*15*15	29408 / 130.7		
	3	7.51	15*15.1*15	24953 / 110.9		
	4	7.47	15*15*15	26865 / 119.4		
14	1	7.54	15*14.9*15	30105 / 133.8	29671 / 131.87	4.5 / 2196
	2	7.34	15*14.9*15	30375 / 135.0		
	3	7.40	15*15*15	31253 / 138.9		
	4	7.14	15*15*15	26955 / 119.8		
28	1	7.47	15*15*15	32850 / 146	34139 / 151.73	
	2	7.42	15*15*14.9	30983 / 137.7		
	3	7.43	14.9*15*15	34988 / 155.5		
	4	7.51	15.1*15*15	37733 / 167.7		



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดในแต่ละสัดส่วนผสมของอีพีเอสโฟมในคอนกรีตตัวอย่างที่ทดสอบ

จากตารางที่ 5 ถึงตารางที่ 9 และภาพที่ 2 พบว่าสัดส่วนของอีพีเอสโฟมที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อค่าการรับกำลังอัดที่ลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตแบบปกติ สัดส่วนของอีพีเอสโฟมในคอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างไม่เกินร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดเนื่องจากมีค่าการรับกำลังอัดที่อายุการบ่ม 28 วันเฉลี่ยเท่ากับ 218 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีค่าไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ถือเป็นค่าต่ำสุดในการออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อการรับน้ำหนัก ความสามารถในการเทหรือสลับมีค่าเฉลี่ยอยู่ประมาณ 5-6 เซนติเมตร สัดส่วนผสมของอีพีเอสโฟมที่มากกว่าร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดจะมีค่าการรับกำลังอัดที่ต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรซึ่งไม่เหมาะสมในการใช้ออกแบบโครงสร้างที่ต้องมีการรับน้ำหนักแต่อาจสามารถใช้ออกแบบในส่วนงานก่อสร้างที่ไม่ต้องการการรับน้ำหนักมากนัก อาทิ งานทางเดินเท้า งานคอนกรีตหยาบพื้นฐาน เป็นต้น ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วมีค่าลดลงตามสัดส่วนผสมของอีพีเอสโฟมที่เพิ่มมากขึ้น ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของคอนกรีตแบบปกติลดลงที่ระดับร้อยละ 2.3, 5.7 และ 6.1 สำหรับสัดส่วนของอีพีเอสโฟม ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ตามลำดับ น้ำหนักของคอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมที่ลดลงจะสามารถลดน้ำหนักบรรทุกทุกตาย (Dead Load) สำหรับการออกแบบอาคาร และส่งผลต่อการลดขนาดของโครงสร้างอาคารและประหยัดต้นทุนของวัสดุก่อสร้าง ตัวอย่างการใช้คอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมสำหรับงานพื้นหลังคาตาดฟ้าอาคารซึ่งสามารถช่วยลดค่าน้ำหนักบรรทุกทุกตายที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร การออกแบบขนาดเสาและฐานรากที่รองรับจะมีขนาดเล็กลงและต้นทุนวัสดุก่อสร้างลดลง

3.3 ลักษณะความเสียหายของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตแบบปกติและคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟม ลักษณะการเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตดังแสดงในภาพที่ 3 ความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตแบบปกติจะมีลักษณะแตกเป็นแนวตั้งฉากและเป็นชิ้น ส่วนตัวอย่างคอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมจะมีลักษณะการแตกออกเป็นแนวเส้นตรงตั้งฉากที่เกิดขึ้นบริเวณแนวกลางและด้านข้างของตัวอย่าง สัดส่วนอีพีเอสโฟมที่ร้อยละ 0.1-0.3 มีลักษณะการแตกเสียหายที่ใกล้เคียงคลึงกับคอนกรีตแบบปกติ สัดส่วนผสมของอีพีเอสโฟมที่เพิ่มมากขึ้น (ร้อยละ 0.4) จะมีลักษณะความเสียหายเป็นแนวตรงตั้งฉากที่เพิ่มมากขึ้นและเริ่มมีการแตกในแนวกลางด้านในของตัวอย่างคอนกรีต ภาพโดยรวมความเสียหายของคอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมไม่มีความแตกต่างมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับความเสียหายของคอนกรีตแบบปกติ



คอนกรีตแบบปกติ



คอนกรีตที่ผสม EPS 0.1%



คอนกรีตที่ผสม EPS 0.2%



คอนกรีตที่ผสม EPS 0.3%



คอนกรีตที่ผสม EPS 0.4%

ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตแบบปกติกับคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟม

3.4 การประเมินต้นทุนของคอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว

การกำจัดขยะอีพีเอสโฟมอย่างง่ายในพื้นที่ชุมชน อ้างอิงข้อมูลสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร (สำนักงานสิ่งแวดล้อม, 2564) ว่าด้วยข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครเรื่องค่าธรรมเนียมการจัดการสิ่งปฏิกูล พ.ศ.2562 กำหนดอัตราค่าเก็บขนและกำจัดขยะโดยรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 600 บาทต่อลูกบาศก์เมตรต่อครั้ง ความหนาแน่นปกติของอีพีเอสโฟมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 28 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่เมื่อนำมารวมกันอยู่ในสภาพขยะจะมีลักษณะรวมตัวกันแบบหลวมมีช่องว่างเนื่องจากตัวรูปร่างของโฟมที่ขึ้นรูปทรงตัวกันกระแทก ดังนั้นน้ำหนักของขยะอีพีเอสโฟมต่อลูกบาศก์เมตรจะมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นปกติของอีพีเอสโฟมที่อัดแน่นโดยลดลงประมาณร้อยละ 30 ของความหนาแน่นแบบปกติ ความหนาแน่นของขยะอีพีเอสโฟมเฉลี่ยจึงเท่ากับ 19 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วแสดงในตารางที่ 10 การประเมินต้นทุนคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วโดยหักต้นทุนกำจัดขยะอีพีเอสโฟม พบว่า แนวโน้มต้นทุนคอนกรีตจะลดลงตามสัดส่วนอีพีเอสโฟมที่ผสมเพิ่มมากขึ้น การใช้งานคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว เมื่อพิจารณาจากกำลังรับแรงอัดที่ทดสอบได้นั้นควรเลือกใช้งานคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมสัดส่วนสูงสุดไม่เกิน 0.3 % ของน้ำหนักมวลรวมละเอียด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยแรงอัดประมาณ 218.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีต้นทุนคอนกรีตประมาณ 1980 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (คำนวณต้นทุนเฉพาะวัสดุไม่รวมค่าแรงงาน) หรือต้นทุนลดลงจากคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 3

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบสัดส่วนผสมของคอนกรีตผสมอิพีสโโฟมต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร กับค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด และต้นทุนเฉลี่ย

EPS (%)	0%	0.1	0.2	0.3	0.4
ปูนซีเมนต์ (กก.)	300	300	300	300	300
ทราย (กก.)	624	624	624	624	624
หิน (กก.)	1296	1296	1296	1296	1296
EPS (กก.)	0	0.624	1.248	1.872	2.496
กำลังรับแรงอัด (กก/ตร.ม.)	256.9	244.1	224.8	218.2	151.7
ต้นทุนเฉลี่ยเบื้องต้น (บาท / ลบ.ม.)	2039	2039	2039	2039	2039
ต้นทุนเฉลี่ยกำจัดอิพีสโโฟม (บาท)	0	20	39	59	79
ต้นทุนเฉลี่ย (บาท/ลบ.ม.)	2039	2019	2000	1980	1960

4. สรุปผลการวิจัย

การทดสอบความสามารถรับกำลังอัดระหว่างคอนกรีตแบบปกติและคอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมที่ใช้แล้วในอัตราส่วน 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 % ต่อน้ำหนักมวลรวมละเอียดหยาบและที่ช่วงอายุการบ่มของคอนกรีตที่ 7, 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อค่าการรับกำลังอัดที่ลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตแบบปกติ และสัดส่วนอิพีสโโฟมที่เหมาะสม คือ ไม่เกินร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดจะมีค่ากำลังรับแรงอัดประมาณ 218 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรซึ่งไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่เป็นค่าต่ำสุดในการออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อรองรับน้ำหนัก ค่าความสามารถในการเทหรือสลับมีค่าเฉลี่ยอยู่ประมาณ 5-6 เซนติเมตร สัดส่วนผสมของอิพีสโโฟมในคอนกรีตที่มากกว่าร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดมีค่าการรับกำลังอัดที่ต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรซึ่งไม่เหมาะสมในการใช้ออกแบบโครงสร้างที่ต้องมีการรับน้ำหนักสูง ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมที่ใช้แล้วมีค่าที่ลดลงตามสัดส่วนผสมของอิพีสโโฟมที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อน้ำหนักของคอนกรีตที่ลดลง ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของคอนกรีตปกติลดลงที่ระดับร้อยละ 2.3, 5.7 และ 6.1 สำหรับสัดส่วนผสมอิพีสโโฟมระดับร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ตามลำดับ ลักษณะความเสียหายเนื่องจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างแสดงให้เห็นว่า สัดส่วนอิพีสโโฟมที่ระดับร้อยละ 0.1-0.3 มีลักษณะการแตกเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตโดยภาพรวมไม่แตกต่างมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตแบบปกติ ผลการวิเคราะห์ต้นทุนคอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมที่ใช้แล้วซึ่งหักลดต้นทุนการกำจัดขยะอิพีสโโฟม พบว่า คอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมที่ใช้แล้วในสัดส่วนที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดมีต้นทุนของคอนกรีตประมาณ 1980 บาทต่อลูกบาศก์เมตร หรือต้นทุนลดลงจากคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 3

5. อภิปรายผล

สัดส่วนของอิพีสโโฟมที่ใช้แล้วสำหรับผสมในคอนกรีตที่เหมาะสม คือ สัดส่วนไม่เกินร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ย 214 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรเป็นค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่เหมาะสมสำหรับงานออกแบบโครงสร้างทั่วไป ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอิพีสโโฟมเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของคอนกรีตปกติมีอัตราที่ลดลงระหว่างร้อยละ 2 ถึง 6 และส่งผลต่อน้ำหนักของคอนกรีตผสมอิพีสโโฟมที่ลดลงซึ่งสามารถช่วยลดค่าน้ำหนักบรรทุกตาย (Dead Load) สำหรับการออกแบบอาคาร และการออกแบบขนาดของโครงสร้างอาคารที่เล็กลงและประหยัดต้นทุนของวัสดุก่อสร้าง ตัวอย่างการเลือกใช้คอนกรีตผสมอิพีสโโฟมก่อสร้างพื้นหลังคาตาดฟ้าอาคารสามารถช่วยลดน้ำหนักบรรทุกตายของคอนกรีตโดยส่งผลต่อการออกแบบโครงสร้างหลักของอาคารที่มีขนาดเล็กลงและลด

ต้นทุนวัสดุก่อสร้าง ต้นทุนคอนกรีตผสมอิพีสโม่ที่ใช้แล้วประมาณ 1980 บาทต่อลูกบาศก์เมตรสำหรับสัดส่วนอิพีสโม่ร้อยละ 0.3 และอัตราต้นทุนที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 3 ดังนั้นการใช้คอนกรีตที่ผสมอิพีสโม่ที่ใช้แล้วมีความเหมาะสมกับงานก่อสร้างที่ต้องการคอนกรีตต้นทุนต่ำและการแก้ไขปัญหาการกำจัดขยะโม่

6. ข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนการผสมอิพีสโม่ที่ใช้แล้วไม่ควรเทอิพีสโม่ลงไปที่หมดเนื่องจากจะทำให้จับตัวกันเป็นกลุ่มและไม่เกิดการกระจายตัวในเนื้อคอนกรีต ดังนั้นจึงควรใส่ลงไปทีละส่วนเพื่อการกระจายตัวอย่างทั่วถึง การผสมน้ำควรใส่ทีละน้อยเพื่อความสะดวกต่อการผสม การวิจัยในอนาคตควรมีการทดสอบสัดส่วนผสมอิพีสโม่ที่ใช้แล้วในคอนกรีตโดยการทดแทนมวลรวมละเอียด และวิเคราะห์ความเป็นไปได้การรับแรงอัดที่เหมาะสมสำหรับงานออกแบบโครงสร้าง รวมทั้งความสามารถลดต้นทุนคอนกรีตที่ดีขึ้นเนื่องจากปริมาณมวลรวมละเอียดที่ลดลงโดยการทดแทนของอิพีสโม่และการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซ CO₂ จากการกำจัดขยะโม่

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัยงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2561). *มาเรียนรู้เรื่องพลาสติกและโม่เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม* [จุลสาร]. กรมควบคุมมลพิษ
- กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2564). *มาตรฐานกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุที่ใช้ในงานโครงสร้างอาคาร* มยผ. 1101-64 ถึง มยผ. 1106-64. กรมโยธาธิการและผังเมือง.
- จรัส รัตนโชตินันท์, กฤษ คำคุณธรรม, ไชยพันธ์ รัตนโชตินันท์, มนพัทธ์ สาสิงห์, เสาวรส หะสิทธิ์ และขวัญจิรา สอนระวัตร. (2564). การศึกษาความเป็นฉนวนกันความร้อนของอิฐบล็อกและปูนฉาบโดยการผสมอิพีสโม่ที่ใช้แล้ว. *การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ และเทคโนโลยี ครั้งที่ 1*, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- จรัส รัตนโชตินันท์. (2563). การศึกษาประสิทธิภาพของคอนกรีตที่ผสมขวดน้ำพลาสติกใช้แล้ว. *วารสารวิชาการ EAU Heritage*, 14(3), 15-126.
- รมย์ธีรา จิตอารย์, มงคล นามลักษณ์. (2562). อิทธิพลของขนาดเม็ดโม่โพลีสไตรีนต่อคุณภาพของคอนกรีตมวลเบา. *วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา*, 3(1), 11-18.
- สมบุญร คงสมศักดิ์ศิริ. (2006). การใช้เศษโม่มาทำวัสดุผสมหยาบมวลเบาในงานคอนกรีต. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, 2(1), 65-69.
- สวัสด์ ภูมิสวัสด์, ชัยยากร จันทรสุวรรณ. (2547). คุณสมบัติของโม่โพลีสไตรีนสำหรับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18*, ขอนแก่น.
- สำนักงานสิ่งแวดล้อม. (2564). *คู่มือแนวทางการจัดเก็บค่าธรรมเนียมการจัดการสิ่งปฏิกูลและมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร สำนักงานสิ่งแวดล้อม*, กรุงเทพมหานคร.
- อุทัยฤทธิ์ โรจนวิภาต. (2560). *Concrete Laboratory*. ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- An Tu, Chen Chen, Dawn E. Lehman, and Zhanggen Guo. (2018). Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of concrete building blocks incorporating recycled concrete aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 139, 136-149.

- Bao Jian Zhan , Cai Jun Shi , Chi Sun Poon and Dong Xing Xuan. (2016). Effect of curing parameters on CO₂ curing of concrete blocks containing recycled aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 71, 122-130.
- Djamel Bechki , Hamza Bouguettaia , Nadia Nadir and Slimane Boughali. (2019). Use of a new agricultural product as thermal insulation for solar collector. *Renewable Energy* 134, 569-578.
- Dubravka Bjegovic , Ivana Milic`evic and Rafat Siddique. (2015). Experimental research of concrete floor blocks with crushed bricksand tiles aggregate. *Construction and Building Materials*, 94, 775-778.
- Tung-Chai Ling , Kim Hung Mo and Yazhi Meng. (2018). Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An Overview. *Resources Conservation & Recycling*, 138, 298-312.
- Jaran Ratanachotinun and Pithan Pairojn. (2020). Assessment of the Feasibility of Autoclaved Aerated Concrete with Perforation in Thailand. *Journal of Applied Science and Engineering*, 23(2), 249-259.
- Giorgia Peri, Marzia Traverso, Matthias Finkbeiner, Gianfranco Rizzo. (2012). The cost of green roofs disposal in a life cycle perspective: *Covering the gap*. *Energy*, 48, 406-414
- Azad A.Mohammed. (2017). Flexural behavior and analysis of reinforced concrete beams made of recycled PET waste concrete. *Construction and Building Materials*, 155, 593-604.
- Reginald B.H. Tan, Hsien H. Khoo. (2005). Life cycle assessment of EPS and CPB inserts: design considerations and end of life scenarios. *Journal of Environmental Management*, 74, 195–205.
- Xiaojuan Wang, Lu Liu, Hongyuan Zhou, Tianyi Song, Qiyun Qiao, Hong Zhang. (2021). Improving the compressive performance of foam concrete with ceramsite: *Experimental and meso-scale numerical investigation*. *Materials & Design*, 208, 1-23.