

การพัฒนาคอนกรีตที่ผสมพอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลตที่ใช้แล้วทดแทนมวล รวมหยาบบางส่วน

The Development of Concrete Mixed with Used Polyethylene Terephthalate replaced Some Coarse Aggregate

จรัส รัตนโชตินันท์^{1*}

Jaran Ratanachotinun^{1*}

รับบทความ 6 กันยายน 2564/ ปรับแก้ไข 13 พฤศจิกายน 2564/ ตอรับบทความ 14 กุมภาพันธ์ 2565

Received: September 6, 2021/ Revised: November 13, 2021/ Accepted: February 14, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของคอนกรีตที่ผสมขวดน้ำพลาสติกใช้แล้วหรือพอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต ทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนสำหรับงานก่อสร้าง การทดสอบความสามารถรับกำลังอัดระหว่างคอนกรีตแบบปกติและ คอนกรีตที่ผสมขวดน้ำพลาสติกทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนในอัตราส่วน 5% 10% 15% 20% 25% และ 30% ต่อน้ำหนัก มวลรวมหยาบและช่วงอายุการบ่มของคอนกรีตที่อายุ 7 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า คอนกรีตที่ผสม พลาสติกที่ใช้แล้วโดยทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อค่าการรับกำลังอัดที่ลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีต แบบปกติที่ไม่มีส่วนผสมของพลาสติก สัดส่วนของขวดน้ำพลาสติกที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมหยาบ บางส่วนที่เหมาะสม คือ สัดส่วนผสมของพลาสติกในคอนกรีตที่ระดับไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักมวลรวมหยาบ และให้ค่าเฉลี่ยรับกำลังอัดประมาณ 217.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมขวดน้ำพลาสติกใช้แล้วโดยประมาณ 1,938 บาทต่อ ลูกบาศก์เมตร โดยต้นทุนลดลงจากคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 5 การรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตรยังมีความเหมาะสมสำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อการรับน้ำหนัก สัดส่วนผสมของพลาสติกในคอนกรีตที่ มากกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักมวลรวมหยาบจะมีค่าการรับกำลังอัดที่ต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรและมีต้นทุน คอนกรีตที่ลดลงสามารถใช้กับงานก่อสร้างที่ไม่ต้องการการรับน้ำหนักสูงมาก เช่น งานทางเดินเท้า งานคอนกรีตหยาบ

คำสำคัญ: คอนกรีตที่ผสมขวดน้ำพลาสติก ต้นทุนคอนกรีต พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลตที่ใช้แล้ว

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

¹Civil and Construction Management Engineering, Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

* Corresponding author e-mail : jaran07@yahoo.com

Abstract

The purpose of this research is to study the efficiency of concrete that mixed with recycled plastic bottles or Polyethylene Terephthalate (PET). In this study, we replaced some stone with used plastic bottles in construction concrete. Percentage of substitute coarse aggregate with used plastic bottles are 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% by weight. The samples had been testing for compression at the curing age of 7, 14 and 28 days. The results have shown that the more we increased plastic the lower the strength compare to typical concrete. The proper percentage of plastic is no more than 10 % by weight otherwise concrete strength would be decreased significantly. According to this percentage, concrete that mixed with used plastic bottles had an average strength of 217.4 kg/cm² and it cost around 1938 baths per cubic meter which is 5% lower than typical concrete. For compression strength of 200 kg/cm² and higher can be used in building structures for load-bearing. On the other hand, the lower cost of concrete that mixed with recycled plastic bottles with more than 10% of the weight which had a strength lower than 200 kg/cm² can be used as sidewalks or lean concrete that does not require high load strength.

Keywords: Concrete mixed with plastic bottles, Concrete cost, Used Polyethylene Terephthalate

บทนำ

คอนกรีต เป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในงานวิศวกรรมโยธาและก่อสร้างงานระบบโครงสร้างพื้นฐาน เช่น อาคาร ถนน เขื่อน เป็นต้น องค์ประกอบของคอนกรีตประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต เมื่อนำมาผสมกันจะแปรสภาพเป็นของแข็งและมีความแข็งแรงในการรับน้ำหนักโดยเฉพาะแรงกด ต้นทุนของวัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีตก็จะมีต้นทุนที่สูงขึ้นตามประสิทธิภาพในการออกแบบการรับน้ำหนักที่กำหนดไว้ การลดวัสดุส่วนผสมของคอนกรีตโดยที่ยังได้ประสิทธิภาพการรับน้ำหนักอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ก็จะช่วยลดต้นทุนของคอนกรีตได้ การใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติกเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมจากการผลิตและกำจัดพลาสติคที่ไม่ใช้แล้วที่สร้างมลพิษเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนการกำจัดขวดน้ำดื่มพลาสติกใช้แล้วที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาเป็นการนำขวดน้ำพลาสติกที่ใช้แล้วมาผสมในคอนกรีตก่อสร้างจึงเป็นแนวทางที่สามารถช่วยในด้านการรักษาสภาพแวดล้อมรวมทั้งมีความเป็นไปได้ในการลดต้นทุนของคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้าง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำขวดพลาสติกมาใช้งานก่อสร้าง และการพัฒนาวัสดุก่อสร้าง อาทิ การศึกษาอิฐมวลเบาที่มี

รูกลวงเพื่อการลดความร้อนถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (Ratanachotinun and Pairojn, 2020) เป็นการวิจัยอิฐมวลเบาที่มีการเจาะรูกลมกลวงบริเวณกึ่งกลางอิฐเพื่อช่วยเพิ่มความเป็นฉนวนกันความร้อนส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานภายในอาคารที่พักอาศัย การดัดแปลงรูปวัสดุขยะขวดน้ำดื่มพลาสติกเพื่อใช้งานออกแบบที่กรองแสงลานจอดรถ โดย กัลยา ตันติยาสวัสดิกุล (2010) ได้นำขยะบรรจุภัณฑ์พลาสติกประเภทขวดน้ำดื่มมาออกแบบเป็นตัวกรองแสงบริเวณที่จอดรถกลางแจ้ง (covered parking) โดยใช้หลักการทางทฤษฎีการออกแบบสถาปัตยกรรม การศึกษาอัตราส่วนพลาสติกพอลิโพรไพลีนในอิฐมวลเบาต่อค่าความแข็งแรงอัดและสภาพนำความร้อน โดย นวรัตน์ นิธิสุวรรณรักษา (2559) เป็นการศึกษาอัตราส่วนพลาสติกพอลิโพรไพลีนในการผลิตอิฐมวลเบา การวิเคราะห์กระเบื้องยางพาราผสมเศษขยะพลาสติกเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดย วิหาร ติปัญญา กิตติพงษ์ สุวิโร (2558) มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางพาราผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวไนลอะซีเตท (พลาสติกอีวีเอ) จากโรงงานอุตสาหกรรม และงานวิจัยของอมรรัตน์ สุริยวิจิตรเศรษฐ์ , สิทธิชัย แสงอาทิตย์, อำนาจ อภิชาติวัลลภ

(2549) ได้ศึกษาการใช้เส้นพลาสติกที่ใช้แล้วแบบสั่นผสมในคอนกรีต โดยนำพลาสติก PET และ HDPE มาเสริมคอนกรีตเพื่อให้ได้กำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นและลดการแตกร้าว โดยใช้เส้นพลาสติก PET และ HDPE ที่ใช้แล้วแบบสั่นผสมในคอนกรีต ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ รูปร่างเส้นพลาสติกตรงและซิกแซก และปริมาณเส้นพลาสติกที่เสริมในคอนกรีต พบว่า การเสริมเส้นพลาสติกให้กำลังรับแรงอัดและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงเมื่อปริมาณเส้นพลาสติกมากขึ้น แต่จะช่วยให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น การศึกษาพฤติกรรมและวิเคราะห์การรับน้ำหนักของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ผสม PET โดย Azad A.Mohammed (2017) โดยนำพลาสติกประเภท PET ย่อยเป็นขนาดเล็กเพื่อใช้แทนมวลรวมละเอียดหรือทรายในการผสมคอนกรีต และการศึกษาการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำขวดน้ำพลาสติกที่ใช้แล้วผสมในคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างในประเทศไทย โดย จรัส รัตนโชตินันท์ (2563) วิเคราะห์ข้อมูลที่ทดสอบประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของคอนกรีตที่ผสมขวดน้ำพลาสติกที่ใช้แล้วแทนที่มวลรวมหยาบทั้งหมดเปรียบเทียบกับคอนกรีตแบบปกติ พบว่ามีความสามารถในการรับกำลังอัดเฉลี่ยประมาณ 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับสัดส่วนพลาสติกที่ผสมร้อยละ 15 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์และต้นทุนคอนกรีตประมาณ 2,000 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นค่าที่ยังไม่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานก่อสร้างอาคารที่ต้องการการรับกำลังแบบทั่วไปซึ่งควรมีความสามารถการรับกำลังอัดเกิน 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขึ้นไป สำหรับในการศึกษาที่ผ่านมาเห็นว่ายังคงมีตัวแปรที่ยังไม่ได้พิจารณาศึกษา คือ มวลรวมหยาบหรือหินที่เป็นส่วนประกอบในคอนกรีตซึ่งมีต้นทุนวัสดุประมาณ 500 บาทต่อลูกบาศก์เมตรหรือร้อยละ 20 ของต้นทุนรวมของคอนกรีต ดังนั้นเพื่อลดต้นทุนคอนกรีตควรลดปริมาณมวลรวมหยาบบางส่วนโดยทดแทนด้วยขวดน้ำพลาสติกที่ใช้แล้วโดยความสามารถรับกำลังอัดยังมีค่าที่เหมาะสมกับการรับน้ำหนักในงานวิศวกรรมโยธา การกำจัดขยะจากขวดพลาสติกที่ใช้แล้วโดยใช้วิธีการผสมใน

คอนกรีตก่อสร้างจะสามารถช่วยลดปริมาณขยะจากขวดน้ำพลาสติกและต้นทุนการกำจัดขยะ คอนกรีตที่มีส่วนผสมของขวดน้ำพลาสติกที่ใช้แล้วนี้จะเป็นคอนกรีตต้นทุนต่ำและช่วยกำจัดขยะจากขวดน้ำพลาสติกในพื้นที่ชุมชนอีกทางหนึ่ง จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาประสิทธิภาพของคอนกรีตที่ผสมขวดน้ำพลาสติกที่ใช้แล้วหรือพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนสำหรับงานก่อสร้าง การทดสอบประสิทธิภาพการรับน้ำหนักของคอนกรีตที่มีสัดส่วน PET ที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนที่เหมาะสมกับงานก่อสร้าง และการประหยัดต้นทุนคอนกรีตที่ผสม PET ที่ใช้แล้ว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ เพื่อทดสอบค่ารับกำลังแรงอัดของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของขวดน้ำพลาสติกที่ใช้แล้ว (PET) โดยทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วน และเพื่อศึกษาในด้านต้นทุนของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของขวดน้ำพลาสติกที่ใช้แล้ว (PET) ทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วน

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้ คือ การเตรียมวัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวม การออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ การเตรียมตัวอย่างและทดสอบการรับกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต การวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยและสรุปผลการวิจัย

1. การเตรียมวัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ มีรายละเอียดดังนี้

การทดลองนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Portland Cement Type 1) ตราตราที่พีไอ มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก. 15 มวลรวม แบ่งออกเป็นมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่ใช้ในการทดลองมีค่าคุณสมบัติพื้นฐาน ทางลักษณะของขนาด กระจายมวลรวมหยาบ (Grain Size Analysis of Coarse Aggregate) หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ค่าความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์ การดูดซึมน้ำ (Specific Gravity And

Absorption of Fine Aggregate) มวลรวมที่ใช้ทดสอบเป็นมวลรวมทั่วไปที่นิยมใช้ในประเทศไทย น้ำที่ใช้ในงานวิจัยใช้น้ำประปาที่ได้คุณภาพไปตามมาตรฐานการประปาปนครองจากห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยราชภัฏจันเกษม ขวดน้ำพลาสติกชนิดใสประเภท PET ที่นิยมใช้งานในประเทศไทยจะเป็นขวดพลาสติกใส่น้ำดื่มชนิดต่างๆ สำหรับการบริโภค การย่อยขวดน้ำพลาสติกเพื่อผสมลงในคอนกรีตตัวอย่างสำหรับทดลองใช้จากขวดน้ำดื่มพลาสติกชนิดใสเฉพาะส่วนตรงกลางขวดที่เรียบและตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีขอบเป็นแบบเรียบให้มีขนาด 1*1 เซนติเมตร สัดส่วนผสมพลาสติกที่ทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนเท่ากับร้อยละ 0 5 10 15 20 25 และ 30 ต่อน้ำหนักมวลรวมหยาบ เครื่องมือที่สำคัญสำหรับทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีตตัวอย่าง มีดังนี้ คือ แบบหล่อคอนกรีตตัวอย่างทรงลูกบาศก์ 15*15*15 เซนติเมตร เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine (UTM) ดังแสดงในภาพที่ 1



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 1 พลาสติกและเครื่องทดสอบที่สำคัญสำหรับงานวิจัย (ก) ตัวอย่างขวดน้ำพลาสติกที่ใช้แล้ว (PET) ที่ตัดขนาด 1*1 เซนติเมตร (ข) แบบหล่อคอนกรีตตัวอย่างทรงลูกบาศก์ (ค) เครื่อง Universal Testing Machine (UTM)

2. การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวม

การทดสอบวัสดุมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดนี้จะเป็นการหาค่าความถ่วงจำเพาะรวม ความถ่วงจำเพาะปรากฏ และการดูดซึมน้ำ การอบมวลรวมตัวอย่างเพื่อทดสอบจะใช้ตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ระดับ 110 องศาเซลเซียส การหาความถ่วงจำเพาะและค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบมีมาตรฐานการทดสอบตาม ASTM C127 Standard test method for density, Relative density (Specific gravity), Absorption aggregate การหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมละเอียด โดยมีมาตรฐานการทดสอบตาม ASTM C128 Standard test method for density, Relative density (Specific gravity), and absorption of fine aggregate โดยทั้ง 2 มาตรฐานใช้สำหรับอ้างอิงหาค่าความถ่วงจำเพาะรวมและความถ่วงจำเพาะปรากฏซึ่งมีหลักการทดสอบแบบสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง และการดูดซึมน้ำของมวลรวมเป็นการหาค่าดูดซึมน้ำเข้าสู่ตัวเนื้อมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

3. การออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ

อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบพฤติกรรมการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสม PET ต่อปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เพื่อทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดอ้างอิงจากอุทัยฤทธิ์ โรจนวิภาต (2560) โดยการคำนวณออกแบบส่วนผสมตามมาตรฐาน ACI (American Concrete Institute) เป็นการหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา งานวิจัยนี้ใช้คอนกรีตแบบปกติที่มีกำลังอัด 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยกำหนดปริมาตร 1:2:4 โดยใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน หิน 2 ส่วน และทราย 4 ส่วน จากข้อมูลข้างต้นสามารถอธิบายเป็นส่วนผสมโดยน้ำหนัก คือ น้ำหนักของปูนซีเมนต์เท่ากับ 1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร น้ำหนักของทรายเท่ากับ 1,450 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และน้ำหนักของหินเท่ากับ 1,500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นการคำนวณออกแบบส่วนผสมคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

สามารถได้สัดส่วนต้นแบบสำหรับการทดสอบ คือ ปูนซีเมนต์ เท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หยาบ เท่ากับ 624 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หินเท่ากับ 1,296 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และน้ำเท่ากับ 180 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การผสม PET ที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวม หยาบ จากงานวิจัยการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำขวด น้ำพลาสติกใช้แล้วผสมในคอนกรีตโดยทดแทนมวลรวม หยาบทั้งหมด โดยจรัล รัตนโชตินันท์ (2563) ได้ทดสอบ เปรียบเทียบปริมาณขวดน้ำพลาสติกหรือ PET ที่ทดแทน มวลรวมหยาบทั้งหมดโดยการเพิ่มปริมาณเข้าไปที่ละส่วน เพื่อให้ได้คอนกรีตที่สามารถผสมขึ้นรูปและเทได้ พบว่า สัดส่วนการทดแทนของขวดน้ำพลาสติกกับมวลรวมหยาบ

หรือหินมีอัตราส่วนเท่ากับ 1:13 โดยน้ำหนัก ดังนั้นจึงใช้ สัดส่วนดังกล่าวคำนวณปริมาณ PET ที่ใช้ผสมในคอนกรีต เพื่อทดแทนมวลรวมหยาบดังแสดงการออกแบบส่วนผสม คอนกรีตตัวอย่างสำหรับทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนของมวลรวมที่ผสมในคอนกรีตปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตรสำหรับใช้ทดสอบกำลังอัด

ปูนซีเมนต์ (kg)	ทราย (kg)	หิน (kg)	น้ำ (kg)	PET(%โดยน้ำหนักหิน)	PET (kg)
300	624	1296	7.8975	0	0.000
300	624	1231	7.8975	5	4.925
300	624	1166	7.8975	10	9.850
300	624	1102	7.8975	15	14.774
300	624	1037	7.8975	20	19.699
300	624	972	7.8975	25	24.624
300	624	907	7.8975	30	29.549

4. การเตรียมตัวอย่างและทดสอบการรับกำลังแรงอัดของ ตัวอย่างคอนกรีต

การกำหนดจำนวนตัวอย่างคอนกรีตสำหรับ ทดสอบตามมาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริม เหล็ก มถ. 101-2550 (สำนักชลประทานที่ 14, 2562) กำหนดไว้การทดสอบต่อชุดมีจำนวน 3 ตัวอย่าง สำหรับการเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดสอบในงานวิจัยนี้ได้เตรียม ตัวอย่างเพิ่มเป็น 4 ตัวอย่างต่อชุดเพื่อความน่าเชื่อถือของ ผลทดสอบ ตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์ที่ใช้ในการ ทดสอบกำลังอัดต่อระยะเวลาการบ่ม 7 14 และ 28 วัน รวมทั้งหมดในแต่ละสัดส่วนผสมเท่ากับ 12 ตัวอย่าง

สัดส่วนการผสม PET ทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนมี ทั้งหมด 7 ตัวอย่าง รวมตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทั้งหมด เท่ากับ 84 ตัวอย่าง จากนั้นนำไปชั่งหาค่าน้ำหนักของ ตัวอย่างคอนกรีต การทดสอบหาค่ารับกำลังแรงอัดเป็น ตามมาตรฐาน ASTM C 39 (Standard testing method for compressive strength of cylindrical concrete specimens) โดยเป็นมาตรฐานของอเมริกา ค่ารับกำลัง แรงอัดของคอนกรีตจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่าง น้ำหนักที่ตกลงกับตัวอย่างคอนกรีตต่อพื้นที่หน้าตัดที่รับ น้ำหนักกด ผลการทดสอบรับกำลังแรงอัดจะแสดงใน รูปแบบตารางและแผนภูมิภาพเปรียบเทียบระหว่าง

คอนกรีตแบบปกติกับคอนกรีตที่ผสม PET ที่ใช้แล้ว
ทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วน

5. การวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยและสรุปผลงานวิจัย

การวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการ
รับกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสม PET ที่ใช้แล้วที่สัดส่วน
ผสมต่างๆ การประเมินความเหมาะสมของการรับกำลังอัด
กับประเภทงานก่อสร้าง การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิง
คณิตศาสตร์ระหว่างค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีตกับ
สัดส่วนผสมของ PET การกำจัดขยะที่มาจากขวดน้ำ
พลาสติกหรือ PET ที่ใช้แล้วซึ่งนำมาใช้ผสมลงในคอนกรีต
ทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วน การวิเคราะห์ต้นทุนของ
คอนกรีตที่ผสม PET ที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมหยาบ
บางส่วน

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลวิจัย สามารถแบ่ง
ออกเป็นรายละเอียดดังนี้ คือ คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ใน
การทดสอบ ผลการทดสอบคุณสมบัติความต้านทาน
แรงอัด ลักษณะการเสียหายของคอนกรีตที่ผสม PET
ทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วน การวิเคราะห์ต้นทุนของ
คอนกรีตผสม PET ที่ใช้แล้ว

1. คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

วัสดุที่นำมาใช้ในการทดสอบเพื่อการสร้าง
คอนกรีตตัวอย่างมีการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานสามารถ
แสดงได้ดังต่อไปนี้ ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
ประเภทที่ 1 มวลรวมละเอียดหรือทรายหยาบที่ใช้ในการ

ทดสอบนี้ มีค่าความถ่วงจำเพาะรวมเฉลี่ยเท่ากับ 2.56
ความถ่วงจำเพาะปรากฏเฉลี่ยเท่ากับ 2.68 และค่าอัตรา
การดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.64 มวลรวมหยาบหรือ
หินที่ใช้ในการทดสอบนี้ มีค่าความถ่วงจำเพาะรวมเฉลี่ย
เท่ากับ 2.74 ความถ่วงจำเพาะปรากฏเฉลี่ยเท่ากับ 2.77
และค่าอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.43 การใช้
ขวดพลาสติกที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนใน
คอนกรีต ความหนาแน่นของขวดน้ำพลาสติกมีค่าเฉลี่ย
เท่ากับ 1350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยทำการย่อย
ขวดน้ำพลาสติกหรือ PET ให้ได้ขนาดประมาณ 1*1
เซนติเมตร และจากงานวิจัยการศึกษาความเป็นไปได้ใน
การนำขวดน้ำพลาสติกใช้แล้วผสมในคอนกรีตโดยทดแทน
มวลรวมหยาบทั้งหมด (2562) โดย จรัส รัตนโชตินันท์
พบว่า สัดส่วนการทดแทนของ PET กับมวลรวมหยาบ
หรือหินมีอัตราส่วนเท่ากับ 1:13 โดยน้ำหนักซึ่งจะเป็น
สัดส่วนการทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนที่ลดลงและ
แทนที่ด้วยเศษขวดน้ำพลาสติก ซึ่งใช้อ้างอิงในงานวิจัยนี้
สำหรับการคำนวณปริมาณ PET ที่ผสมลงในคอนกรีต
ทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนดังแสดงในตารางที่ 1

2. ผลการทดสอบคุณสมบัติการรับกำลังแรงอัด

ผลการทดสอบคุณสมบัติการรับกำลังแรงอัดของ
คอนกรีตแบบปกติและคอนกรีตผสม PET ในอัตราส่วน
0% 5% 10% 15% 20% 25% และ 30% ต่อน้ำหนัก
มวลรวมหยาบและได้ทำการทดสอบในช่วงอายุการบ่มของ
คอนกรีตที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ดังแสดงผลการทดสอบ
ในตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 8 และการเปรียบเทียบในภาพที่
4

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่ารับกำลังแรงอัดของคอนกรีตแบบปกติผสม PET 0%

อายุการ บ่ม คอนกรีต	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กก.)	ขนาดตัวอย่างคอนกรีต กว้าง*ยาว*สูง(ซม.)	กำลังแรงกด(กก.) / กำลัง แรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของ กำลังแรงกด(กก.) / กำลัง แรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าการทดสอบสลิ้ม(ซม.) / ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย (กก./ลบ.ม.)
7 วัน	1	8.1584	15.2 /15.3 /15.1	39938/177.5	42278/187.9	
	2	7.9760	15.3/15.4/15	39128/173.9		
	3	8.2614	15.3/15/15	44620/198.3		
	4	8.1863	15.4/15.2/15	45420 / 201.9		
14 วัน	1	8.1580	15/15/15	52740 /234.4	49062/218.05	9.5 / 2402.12
	2	8.2246	15/14.9/15	46310 /205.8		
	3	8.2910	15/15/15.1	50370 /223.9		
	4	8.2097	15/15/15	46830 /208.1		
28 วัน	1	8.3182	15/15/14.9	49470 / 219.9	51375/ 230.85	
	2	8.1521	14.9/15/15	47633 / 211.7		
	3	8.1578	15/15/15	51230 / 227.7		
	4	8.1309	15/14.8/15	59430 / 264.1		

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่ารับกำลังแรงอัดของคอนกรีตผสม PET 5%

อายุการ บ่ม คอนกรีต	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กก.)	ขนาดตัวอย่างคอนกรีต กว้าง*ยาว*สูง(ซม.)	กำลังแรงกด(กก.) / กำลัง แรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของ กำลังแรงกด(กก.) / กำลังแรงอัด (กก./ ตร.ซม.)	ค่าการทดสอบสลิ้ม (ซม.) / ค่าความ หนาแน่นเฉลี่ย (กก./ ลบ.ม.)
7 วัน	1	8.1009	15/15/15	48310 / 214.7	46940 / 208.62	
	2	8.0060	15/15/14.9	35350 / 157.1		
	3	8.0284	15/14.9/15	50400 / 224.0		
	4	8.0127	14.8/15/15	53700 / 238.7		
14 วัน	1	8.0711	15/15/15	51640 / 229.5	49179 / 218.57	12.5 / 2390.79
	2	8.0274	15/14.9/15	45650 / 202.9		
	3	8.0624	15.1/15/15	48650 / 216.2		
	4	8.0129	15/15/15	50790 / 225.7		
28 วัน	1	8.0427	15/15/15	52110 / 231.6	57262 / 224.5	
	2	8.0449	14.9/15/15	47025 / 209.0		
	3	8.0375	15/15/15	51188 / 227.5		
	4	8.0332	15/15/15	51728 / 229.9		

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่ารับกำลังแรงอัดของคอนกรีตผสม PET 10%

อายุการ บ่ม คอนกรีต	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กก.)	ขนาดตัวอย่างคอนกรีต กว้าง*ยาว*สูง(ซม.)	กำลังแรงกด(กก.)/ กำลัง แรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของ กำลังแรงกด(กก.) /กำลัง แรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าการทดสอบสั่น(ซม.) / ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย (กก./ลบม.)		
7 วัน	1	8.0289 kg	14.9/15/15	40160 / 178.5	37197 / 169.3	11.0 / 2377.07		
	2	8.0706 kg	15/15/15	41840 /185.9				
	3	7.5492 kg	15/14.9/15	23560 / 104.7				
	4	7.9037 kg	15/14.9/14.9	43230 / 208.1				
14 วัน	1	7.9215 kg	15/15/15	47290 / 210.2	46467 / 206.5		11.0 / 2377.07	
	2	8.0499 kg	15/14.9/15	41500 / 184.4				
	3	8.0052 kg	14.9/15/14.9	50260 / 223.4				
	4	8.0356 kg	14.9/15/15	46820 / 208.1				
28 วัน	1	8.1004 kg	14.9/15/15	49470 / 222.1	48795 / 217.4			11.0 / 2377.07
	2	8.0171 kg	15/15/15	43070 / 191.4				
	3	8.0002 kg	15/14.9/14.9	53230 / 236.6				
	4	8.0000 kg	15/15/15	49410 / 219.6				

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบค่ารับกำลังแรงอัดของคอนกรีตผสม PET 15%

อายุการบ่มคอนกรีต	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กก.)	ขนาดตัวอย่างคอนกรีต กว้าง*ยาว*สูง(ซม.)	กำลังแรงกด(กก.)/กำลังแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของกำลังแรงกด(กก.) /กำลังแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าการทดสอบสั่น(ซม.) /ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย (กก./ลบม.)
7 วัน	1	7.8329	15/15/15	31130 / 138.4	25027 / 136.6	12.0 / 2362.39
	2	7.8832	14.9/15/15	31370 / 139.4		
	3	7.8106	14.9/15/15.1	29990 / 133.3		
	4	7.9552	15.1/15/15	30480 /135.5		
14 วัน	1	8.0024	15/14.9/15	36220 / 161.0	32897 / 146.2	
	2	7.8364	15/15/14.9	31790 / 141.3		
	3	7.9438	15/15/15	33090 / 147.0		
	4	7.9963	15/15/15	30490 / 135.5		
28 วัน	1	8.0749	15/15/15	44490 / 197.7	38822 / 172.5	
	2	8.0067	14.9/15/15	32800 / 145.8		
	3	8.0603	14.9/15/15	36900 / 164.0		
	4	8.0593	15/15/15	41100 / 182.6		

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบค่ารับกำลังแรงอัดของคอนกรีตผสม PET 20%

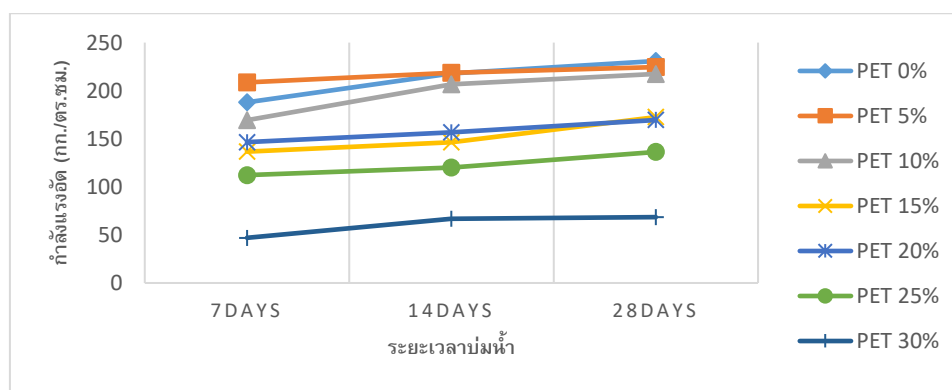
อายุการ บ่ม คอนกรีต	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กก.)	ขนาดตัวอย่างคอนกรีต กว้าง*ยาว*สูง(ซม.)	กำลังแรงกด(กก.)/ กำลังแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของ กำลังแรงกด(กก.) /กำลัง แรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าการทดสอบสลิ้ม (ซม.) / ค่าความ หนาแน่นเฉลี่ย (กก./ ลบ.ม.)
7 วัน	1	7.5126	14.9/15/15	32870 / 146.1	32972 / 146.5	
	2	8.0276	15/15/15	35280 / 156.8		
	3	7.5233	15/14.9/15	32270 / 143.4		
	4	7.6361	15/15/15	31470 / 139.9		
14 วัน	1	8.0188	15/14.9/15	35970 / 159.9	35420 / 156.8	9.0 / 2345.98
	2	8.0190	15/14.9/14.9	39110 / 173.8		
	3	8.0441	15/15/15	27840 / 123.7		
	4	8.0088	15/15/15	38210 / 169.8		
28 วัน	1	8.0689	15/15/15	38760 / 172.3	38132 / 169.48	
	2	7.5848	15/14.9/14.9	42413 / 188.5		
	3	8.0340	14.9/15/15	37840 / 168.2		
	4	8.0611	14.9/15/15	33510 / 148.9		

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบค่ารับกำลังแรงอัดของคอนกรีตผสม PET 25%

อายุการ บ่ม คอนกรีต	ตัวอย่างที่	น้ำหนัก ตัวอย่าง (กก.)	ขนาดตัวอย่างคอนกรีต กว้าง*ยาว*สูง(ซม.)	กำลังแรงกด(กก.)/ กำลังแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของ กำลังแรงกด(กก.) /กำลัง แรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าการทดสอบสลิ้ม(ซม.) / ค่า ความหนาแน่นเฉลี่ย (กก./ลบ. ม.)
7 วัน	1	7.2526	15/15/15	26258 / 116.7	25240 / 112.18	
	2	7.2068	15/15/15	26708 / 118.7		
	3	8.0559	15/15.2/15	24120 / 107.2		
	4	7.2077	14.9/15.1/15	23873 / 106.1		
14 วัน	1	8.1765	15/15/15	23918 / 106.3	27045 / 120.2	8.8 / 2251.01
	2	7.2065	15/15/14.9	27495 / 122.2		
	3	8.0024	14.9/14.9/15	27675 / 123.0		
	4	7.0189	14.9/15/15	29093 / 129.3		
28 วัน	1	7.1866	15/15/14.9	22290 / 99.07	30648 / 136.28	
	2	8.1023	15/15/15	35213 / 156.5		
	3	7.1970	14.8/14.9/15	24120 / 107.2		
	4	8.1509	15/14.9/14.9	40973 / 182.1		

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบค่ารับกำลังแรงอัดของคอนกรีตผสม PET 30%

อายุการบ่มคอนกรีต	ตัวอย่างที่	น้ำหนักตัวอย่าง (กก.)	ขนาดตัวอย่างคอนกรีต กว้าง*ยาว*สูง(ซม.)	กำลังแรงกด(กก.)/กำลังแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยของกำลังแรงกด(กก.) /กำลังแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ค่าการทดสอบสลั่ม (ซม.) / ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย (กก./ลบ.ม.)
7 วัน	1	7.1040	15/15/14.9	9320 / 41.41	10570 / 46.96	5.0 / 2165.42
	2	7.2436	14.8/14.9/15	11420 / 50.75		
	3	7.1152	15/14.9/14.9	10300 / 45.76		
	4	7.2771	15/15/15	11240 / 49.95		
14 วัน	1	7.2244	15/14.9/14.9	19580 / 87.02	15010 / 66.70	
	2	7.0349	14.9/14.9/14.8	7070 / 31.42		
	3	7.2788	14.9/14.9/14.9	14900 / 66.22		
	4	7.3502	14.9/14.9/14.9	18490 / 82.17		
	1	7.4954	14.9/14.9/14.9	19850 / 88.24		
28 วัน	2	7.1048	14.9/15/15	14160 / 62.94	15412 / 68.50	
	3	7.0182	15/14.8/14.9	9070 / 40.32		
	4	7.2353	14.9/15/15	18570 / 82.52		



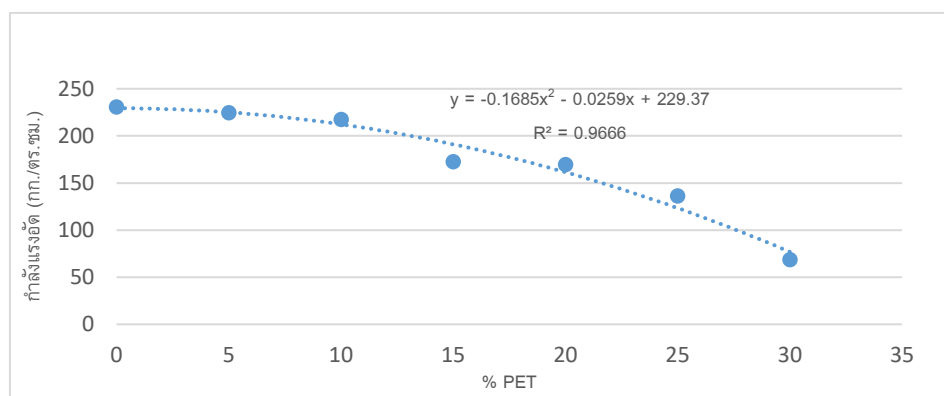
ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบค่ากำลังแรงอัดในแต่ละสัดส่วนผสมของ PET ในคอนกรีตตัวอย่างที่ทดสอบ

จากตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 8 และภาพที่ 2 พบว่าคอนกรีตที่ผสม PET เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อค่าการรับกำลังอัดที่ลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตแบบปกติที่ไม่มีส่วนผสมของ PET เมื่อพิจารณาความเหมาะสมในการนำคอนกรีตผสม PET ที่ใช้แล้วไปก่อสร้างจะพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสม คือ สัดส่วนผสมของ PET ในคอนกรีตที่ระดับไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักมวลรวมหยาบจะมีค่าการรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งถือเป็นค่าที่ยอมรับได้ในการออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อการรับน้ำหนัก เมื่อสัดส่วนผสมของ PET ในคอนกรีตที่

มากกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักมวลรวมหยาบจะมีค่าการรับกำลังอัดที่ต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรสามารถใช้ออกแบบในส่วนงานก่อสร้างที่ไม่ต้องการการรับน้ำหนักมากนัก อาทิ งานทางเดินเท้า งานรั้วรอบอาคาร งานคอนกรีตหยาบพื้นฐาน เป็นต้น ค่าความสามารถในการเทหรือสลิ้มมีค่าเฉลี่ยอยู่ประมาณ 9-12 เซนติเมตรซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานก่อสร้างโครงสร้าง ความสามารถรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างเมื่อสัดส่วน PET ที่ผสมเพิ่มมากขึ้นเพื่อทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนส่งผลต่อค่ารับกำลังแรงอัด

ที่ลดลงสอดคล้องกับงานวิจัยของจรัส รัตนโชตินันท์ (2563) แต่มีค่ารับกำลังอัดที่สูงกว่าการทดแทนมวลหยาบทั้งหมด คอนกรีตที่ผสม PET ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความหนาแน่นของคอนกรีตที่ลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตแบบปกติ โดยสัดส่วนผสมของ PET ร้อยละ 5 10 15 และ 20 มีอัตราการลดลงของความหนาแน่นเฉลี่ยร้อยละ 0.6 และสัดส่วนผสมของ PET ร้อยละ 25 และ 30 มีอัตราการลดลงของความหนาแน่นเฉลี่ยร้อยละ 3.75 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการรับกำลังอัดของคอนกรีตกับสัดส่วนผสมของ PET ที่ใช้แล้ว สามารถแสดงได้ในภาพที่

3 พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ดังแสดงในสมการที่ 1 และวิเคราะห์สัดส่วนผสมของ PET ในคอนกรีตมากที่สุดที่ทำให้คอนกรีตมีค่าการรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คือ ร้อยละ 13 ของน้ำหนักมวลรวมหยาบ ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์นี้สามารถทำนายค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสม PET ที่ใช้แล้วในสัดส่วนผสม PET ที่เพิ่มมากขึ้นจากตัวอย่างการวิจัยและสามารถเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมกับประเภทงานก่อสร้างที่ต้องการรับกำลังอัดของคอนกรีตที่เหมาะสมต่อไป



ภาพที่ 3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างค่ากำลังแรงอัดของคอนกรีตกับสัดส่วนผสมของ PET ที่ใช้แล้ว

$$y = -0.1685x^2 - 0.0259x + 229.37 \quad (1)$$

โดย

y คือ ค่าการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีต (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

x คือ สัดส่วนผสมของ PET ที่ใช้แล้วเทียบกับน้ำหนักมวลรวมหยาบ(ร้อยละ)

R^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (0.9666 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1.00)

3. ลักษณะการเสียหายของคอนกรีตที่ผสม PET ทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วน

ลักษณะการเสียหายเนื่องจากการทดสอบรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างจะเปรียบเทียบระหว่าง

คอนกรีตแบบปกติและคอนกรีตที่ผสม PET ใช้แล้ว ทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วน ดังแสดงในภาพที่ 4 การเสียรูปทรงของตัวอย่างคอนกรีตแบบปกติจะมีลักษณะแตกออกเป็นชิ้นขนาดใหญ่ ในส่วนของตัวอย่างคอนกรีตที่ผสม PET ใช้แล้วทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนจะมีลักษณะแตกออกเป็นชิ้นเล็กแต่ยังมีการยึดเกาะเป็นรูปทรงลูกบาศก์เหมือนเดิม และในสัดส่วนผสมของ PET ที่ทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ลักษณะการเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตแตกละเอียดมากขึ้นซึ่งแปรผันตามค่าความสามารถในการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตที่ลดลง



คอนกรีตแบบปกติไม่ผสมPET



คอนกรีตที่ผสมPET 5%



คอนกรีตที่ผสมPET 10%



คอนกรีตที่ผสมPET 15%



คอนกรีตที่ผสมPET 20%



คอนกรีตที่ผสมPET 25%



คอนกรีตที่ผสมPET 30%

ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตแบบปกติกับคอนกรีตที่ผสม PET ทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วน

4. การวิเคราะห์ต้นทุนของคอนกรีตผสม PET ที่ใช้แล้ว ข้อมูลจาก Peri (2012) ได้อธิบายต้นทุนการกำจัดขยะที่เป็นขวดพลาสติกหรือ PET มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยประมาณ 5 บาทต่อ 1 กิโลกรัม ดังนั้นสามารถคำนวณต้นทุนของคอนกรีตที่ผสม PET ได้ตามแสดงในตารางที่ 9 การวิเคราะห์ต้นทุนคอนกรีตที่ผสม PET ซึ่งลดต้นทุนการกำจัดขวดพลาสติกแล้วพบว่า แนวโน้มต้นทุนคอนกรีตจะลดลงตามสัดส่วน PET ที่ผสมเพิ่มมากขึ้น การใช้งานคอนกรีตที่ผสม PET ที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนเมื่อพิจารณาจากกำลังรับแรงอัดที่ทดสอบได้นั้น ควรเลือกใช้งานคอนกรีตที่ผสม PET ในอัตราส่วน 5% และ 10% ของน้ำหนักมวลรวมหยาบ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยแรงอัดประมาณ 224.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ 217.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ โดยค่ากำลังอัด

ใกล้เคียงกับคอนกรีตแบบปกติ และต้นทุนของคอนกรีตที่ผสม PET ใช้แล้วนี้มีค่าโดยประมาณ 1,989 และ 1,938 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (คำนวณต้นทุนเฉพาะวัสดุ ไม่รวมค่าแรงงาน) ตามลำดับ หรือต้นทุนลดลงจากคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 2.4 ถึง 5 คอนกรีตที่ผสม PET ทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดน้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมและต่ำเกินไปสำหรับการออกแบบโครงสร้างงานที่ต้องรับน้ำหนักมาก เช่น งานโครงสร้างอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างต่างๆ คอนกรีตที่ผสม PET ที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนมีความเหมาะสมกับงานก่อสร้างในพื้นที่ชุมชนของประเทศไทยและยังช่วยลดปัญหาการกำจัดขยะขวดน้ำพลาสติกที่ส่งผลต่อมลพิษทางสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบระหว่างสัดส่วนผสมของคอนกรีตที่ผสม PET ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร กำลังอัดสูงสุดและต้นทุนเฉลี่ย

PET (%)	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
ปูนซีเมนต์ (กก.)	300	300	300	300	300	300	300
ทราย (กก.)	624	624	624	624	624	624	624
หิน (กก.)	1296	1231	1166	1102	1037	972	907
PET (กก.)	0	4.925	9.850	14.774	19.699	24.624	29.549
กำลังอัด (กก./ตร.ซม)	230.85	224.5	217.4	172.5	169.48	136.28	68.5
ต้นทุนเฉลี่ยเบื้องต้น (บาท / ลบ.ม.)	2038.5	2014	1988	1963	1938	1913.9	1889
ต้นทุนเฉลี่ยกำจัดพลาสติก (บาท)	0	25	50	74	98	125	145
ต้นทุนเฉลี่ย (บาท/ลบ.ม.)	2038.5	1989	1938	1889	1840	1788	1744

สรุปผลการวิจัย

การทดสอบความสามารถรับกำลังอัดระหว่างคอนกรีตแบบปกติและคอนกรีตที่ผสม PET ทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนในอัตราส่วน 0% 5% 10% 15% 20% 25% และ 30% ต่อน้ำหนักมวลรวมหยาบและได้ทำการทดสอบที่ช่วงอายุการบ่มของคอนกรีตที่อายุ 7 , 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า คอนกรีตที่ผสม PET ที่ใช้แล้วโดยทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อค่าการรับกำลังอัดที่ลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตแบบปกติที่ไม่มีส่วนผสมของ PET สัดส่วนของ PET ที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนที่เหมาะสมคือ สัดส่วนผสมของ PET ในคอนกรีตที่ระดับไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนักมวลรวมหยาบ โดยมีค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีตตัวอย่างไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งยังมีความเหมาะสมสำหรับการออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อการรับน้ำหนัก ในสัดส่วนผสมของ PET ในคอนกรีตที่มากกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักมวลรวมหยาบจะมีค่าการรับกำลังอัดที่ต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อาจเหมาะสมกับการออกแบบงานก่อสร้างที่ไม่ต้องการการรับน้ำหนักไม่สูงมาก อาทิ งานทางเดินเท้า งานรั้วรอบอาคาร งานคอนกรีตหยาบ เป็นต้น ค่าความสามารถในการเทหรือสลับมีค่าเฉลี่ยอยู่ประมาณ 9-12 เซนติเมตร ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานก่อสร้างโครงสร้าง คอนกรีตที่ผสม PET

ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความหนาแน่นของคอนกรีตที่ลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตแบบปกติ

อภิปรายผล

ความสัมพันธ์ระหว่างการรับกำลังอัดของคอนกรีตกับสัดส่วนผสมของ PET ที่ใช้แล้ว ในเชิงคณิตศาสตร์สามารถใช้ทำนายค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสม PET ที่ใช้แล้วในสัดส่วนผสม PET ที่เพิ่มมากขึ้นจากตัวอย่างการวิจัยและสามารถเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมกับงานก่อสร้างต่างๆ ลักษณะความเสียหายเนื่องจากการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตตัวอย่างแสดงให้เห็นว่า คอนกรีตแบบปกติจะมีลักษณะแตกออกเป็นชิ้นขนาดใหญ่ ในส่วนของตัวอย่างคอนกรีตที่ผสม PET ใช้แล้วทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนจะมีลักษณะแตกออกเป็นชิ้นเล็กแต่ยังมีการยึดเกาะเป็นรูปทรงลูกบาศก์เหมือนเดิม และสัดส่วนผสมของ PET ที่ทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ลักษณะการเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตแตกละเอียดมากขึ้นซึ่งแปรผันตามค่าความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตที่ลดลง การวิเคราะห์ต้นทุนคอนกรีตที่ผสม PET ที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนพบว่า แนวโน้มต้นทุนคอนกรีตจะลดลงตามสัดส่วน PET ที่ผสมเพิ่มมากขึ้น การใช้งานคอนกรีตที่ผสม PET ใช้แล้วทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนเมื่อพิจารณาจากกำลังรับแรงอัดที่

ทดสอบได้ไม่ต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยคอนกรีตที่มีสัดส่วนผสมของ PET ที่ใช้แล้วใน อัตราส่วนร้อยละ 10 ของน้ำหนักมวลรวมหยาบ มี ค่าเฉลี่ยแรงอัดประมาณ 217.4 กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตรและต้นทุนของคอนกรีตที่ผสม PET ใช้แล้วนี้มี ค่าโดยประมาณ 1,938 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ต้นทุน ลดลงจากคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 5 ถ้าหาก เลือกใช้คอนกรีตที่ผสม PETทดแทนมวลรวมหยาบ บางส่วนที่มีสัดส่วนเพิ่มมากขึ้นจะมีความสามารถในการ รับแรงอัดน้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรและ ส่งผลต่อต้นทุนคอนกรีตที่ลดลงไปด้วยซึ่งอาจใช้งานได้ เหมาะสมกับงานก่อสร้างที่ไม่ต้องรับกำลังอัดสูง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะงานวิจัยสำหรับการผสมคอนกรีตที่ ผสม PET ที่ใช้แล้ว ไม่ควรเท PET ลงไปทั้งหมดเลย เนื่องจากจะทำให้ PET จับตัวกันเป็นก้อน ไม่คละกัน ดังนั้นการผสมPET ที่ใช้แล้วควรใส่ลงไปทีละส่วน การ ผสมน้ำควรระวังปริมาณน้ำใส่ในระหว่างผสมคอนกรีต โดยปริมาณน้ำที่เทลงไปควรใส่ทีละน้อยเพื่อต่อการ ผสม การวิจัยในอนาคตควรจะใช้วัสดุเหลือใช้ชนิดอื่น ๆ มาทดสอบกับส่วนผสมของคอนกรีต เช่น โฟมบรรจุภัณฑ์ เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้การรับน้ำหนักโครงสร้างโดย เป็นคอนกรีตที่ช่วยการกำจัดขยะที่ส่งผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อมอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และการนำไปใช้ ในหน่วยงานจริงโดยเฉพาะพื้นที่ชุมชนของประเทศไทยที่จะ ช่วยลดต้นทุนคอนกรีตก่อสร้างและปัญหาการกำจัดขยะ พลาสติก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัย งบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 ของ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

เอกสารอ้างอิง

- กัลยา ตันติยาสวัสดิกุล. (2010). การศึกษาการ แปลงรูปวัสดุขยะขวดน้ำดื่มพลาสติกเพื่อใช้ใน งานออกแบบที่กรองแสงลานจอดรถ. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies* 7 (2), pp. 159-172.
- จรัส รัตนโชตินันท์. (2563). การศึกษาประสิทธิภาพของ คอนกรีตที่ผสมขวดน้ำพลาสติกใช้แล้ว. *วารสารวิชาการ EAU Heritage*, 14(1) กันยายน-ธันวาคม 2563, น. 115-126.
- นวรรตน์ นิธิสุวรรณรักษา. (2559). ผลของอัตราส่วน พลาสติกพอลิโพรไพลีนในอิฐมวลเบาต่อค่า ความแข็งแรงอัดและสภาพนำความร้อน, *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 6(1) มกราคม- มิถุนายน 2559, น. 174-181.
- วิหาร์ ตีปัญญา และกิตติพงษ์ สุวิโร. (2558). ผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางพาราผสมเศษขยะ พลาสติกเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม, งานวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- สำนักงานชลประทานที่ 14. (2562). มถ. 101-2550 *มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก กรมชลประทาน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สืบค้นเมื่อวันที่ 12 กันยายน 2563, จาก URL : <http://irrigation.rid.go.th/rid14/water/library/shelf/formu/page/Transport/DRR/files/103.pdf>*
- อมรรตน์ สุริยวิจิตรเศรษฐ์, สิทธิชัย แสงอาทิตย์ และอำนาจ อภิชาติวัลลภ. (2549). การศึกษา การใช้เส้นพลาสติกที่ใช้แล้วแบบสั้นผสมใน คอนกรีต. ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธา แห่งชาติครั้งที่ 11* (น.1-6). กรุงเทพฯ: วิศวกรรม สถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.

อุทัยฤทธิ์ โธณวิภาต. (2560). *Concrete*

Laboratory. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าพระนครเหนือ, ศูนย์ผลิตตำราเรียน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร
เหนือ, น. 144

Mohaamme. A.A. (2017). Fleural behavior and
analysis of reinforced concrete beams
made of recycled PET waste concrete.
Construction and building materials,
155, pp. 593-604.

Peri, G., Travrso, M., Finkbeiner, M. & Rizzo, G.
(2012). The cost of green roofs disposal
in a life cycle perspective: *Covering the
gap. Energy*, 48, pp. 406-414.

Ratanachotinun, J. & Pithan P. (2020). Assessment
of the Feasibility of Autoclaved Aerated
Concrete with Perforation in Thailand.
*Journal of Applied Science and
Engineering*, 23(2), pp. 249-259