

Effect of plastic waste as sand replacement on mortar properties

ผลกระทบของการใช้เศษพลาสติกแทนที่ทรายต่อคุณสมบัติของมอร์ตาร์

Lattana Syllsomchanh¹ รณกฤต กุลธวัชวงศ์² อัมพล วงศ์ษา³ วันชัย สะตะ^{4*} ปริญา จินดาประเสริฐ⁵

¹ นักศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

² นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³ อาจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

⁴ รองศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

⁵ ศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และ
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สยามเสื่อป่า เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร

ARTICLE INFO:

Received May 20, 2020

Received Revised Form:
June 2, 2020

Accepted: June 11, 2020

ABSTRACT:

This paper presents the mechanical and physical properties of mortar. In the mortars, the fine aggregate was replaced with plastic waste at ratios of 0, 5, 10, 15, and 20% by volume. The mortar properties including flow, compressive strength, splitting tensile strength, flexural strength, density, water absorption, porosity, ultrasonic pulse velocity, thermal conductivity, and acid resistance were tested. The results indicate that the using plastic waste as a partial replacement of fine aggregate in mortar reduced compressive strength, flexural strength, and splitting tensile strength. The lowest strengths appeared when sand was replaced with plastic waste at ratios of 20% with about 55% reducing from control mortar. Also, the using plastic waste increased water absorption and porosity while density, ultrasonic pulse velocity, and thermal conductivity seemed to reduce. For the flow values and acid resistance, they slightly reduced.

KEYWORDS: Environmentally Friendly concrete, Mechanical properties, Thermal conductivity, Ultrasonic pulse velocity

บทคัดย่อ:

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงคุณสมบัติทางกลและกายภาพของมอร์ตาร์ที่ใช้เศษพลาสติกแทนที่ทรายบางส่วน อัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกเท่ากับร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยปริมาตร ทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ได้แก่ การไหลแผ่, กำลังอัด, กำลังดึงผิว, กำลังดัด, ความหนาแน่น, การดูดซึมน้ำ, อัตราส่วนโพรงอากาศ, ความเร็วคลื่นผ่านก้อนตัวอย่าง, การนำความร้อน และความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดซัลฟิวริก ผลทดสอบพบว่าอัตราส่วนการแทนที่เพิ่มขึ้นทำให้กำลังอัด, กำลังดัด และกำลังดึงผิวของมอร์ตาร์มีค่าลดลง โดยลดลงมากที่สุดที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 หรือลดลงร้อยละ 55 เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกส่งผลให้ร้อยละการดูดซึมน้ำและอัตราส่วนโพรงอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่ความหนาแน่น, ความเร็วคลื่นผ่านก้อนตัวอย่างและการนำความร้อนมีค่าลดลง ส่วนค่าการไหลแผ่และความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดลดลงเล็กน้อย

*Corresponding Author,
Email address: vancsa@kku.ac.th

คำสำคัญ: คอนกรีตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม, คุณสมบัติเชิงกล, การนำความร้อน, การส่งผ่านคลื่น

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้วัสดุก่อสร้างที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับที่สุดชนิดหนึ่ง คือ คอนกรีต เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ทำงานได้ง่าย ราคาไม่แพง และมีคุณสมบัติทางกลที่ดี คอนกรีตมีส่วนผสมสองส่วนหลักคือวัสดุประสาน (cementing materials) ซึ่งได้แก่ ปูนซีเมนต์และน้ำ ผสมกับมวลรวม (aggregates) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นทรายและหินจากธรรมชาติ เคียงคู่กับความต้องการที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของคอนกรีต ธรรมชาติก็ถูกทำลายมากขึ้นเช่นกันเนื่องจากความต้องการใช้วัสดุผลิตปูนซีเมนต์และใช้เป็นมวลรวมที่เพิ่มมากขึ้น โดยกระบวนการผลิตทรายธรรมชาติ หินปะชอลต์และหินแกรนิตมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึง 0.0139, 0.0357 และ 0.0459 ของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/ตันตามลำดับ [1] ดังนั้นเพื่อเป็นการลดผลกระทบดังกล่าวจากการนำมวลรวมจากธรรมชาติมาใช้ จึงได้มีการศึกษาเอาวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาทดแทนซึ่งได้แก่ การใช้มวลรวมที่ได้จากเศษวัสดุ เช่น เศษคอนกรีต เศษอิฐ เศษเซรามิก เศษแก้ว เศษยางรถยนต์ เป็นต้น

ปัญหาการจัดการขยะเป็นอีกหนึ่งสิ่งที่ทำลายของสังคมโลก เนื่องจากจำนวนประชากรโลกที่มีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลให้เกิดขยะจำนวนมากขึ้นที่ต้องจัดการ ในกระบวนการจัดการนั้นมีความจำเป็นที่ต้องใช้งบประมาณ และพื้นที่สำหรับฝังกลบจำนวนมาก รวมทั้งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะที่ย่อยสลายยากอย่างเช่น เศษแก้ว เศษยางรถยนต์ และขวดพลาสติก เป็นต้น นอกจากนั้นกระบวนการเหล่านี้ยังคงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเมื่อวัสดุถูกย่อยสลายแล้วสารเคมีต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุก็จะกระจายอยู่ในดินและน้ำใต้ดินของพื้นที่นั้นและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ หนึ่งในกระบวนการสำหรับการจัดการกับขยะที่ย่อยสลายยากเหล่านี้ก็คือการนำเอาขวดพลาสติกดังกล่าวกลับมาใช้ใหม่ อย่างไรก็ตามกระบวนการดังกล่าวก็ยังคงหลงเหลือเศษพลาสติกขนาดเล็กจำนวนหนึ่งที่ไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอาเศษพลาสติกส่วนนี้มาใช้แทนที่ทรายธรรมชาติบางส่วนในส่วนผสมของมอร์ตาร์

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 ใช้น้ำประปาสำหรับผสมตัวอย่าง ใช้ทรายแม่น้ำที่คุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 1 โดยมีการล้างก่อนที่จะนำไปใช้เพื่อทำความสะอาด ขจัดสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการทิ้ง เช่น ดิน ฝุ่น และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เศษพลาสติกที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นเศษพลาสติกชนิด PETE (polyethylene terephthalate) ซึ่งพบมากที่สุดในการใช้สำหรับบรรจุน้ำดื่ม ผ่านกระบวนการย่อยด้วยเครื่องจักรจากโรงงานรีไซเคิลพลาสติกเพื่อนำไปจำหน่าย โดยส่วนที่นำมาวิจัยในครั้งนี้เป็นส่วนที่หลงเหลือไม่สามารถนำไปจำหน่ายได้ มีขนาดเฉลี่ย 1.2-6.0 mm ความหนาเฉลี่ย 0.14-0.6 mm ดังแสดงในรูปที่ 1 และคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการผสมมอร์ตาร์

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของทรายและเศษพลาสติกใช้ในการทดสอบ

คุณสมบัติ	ทราย	เศษพลาสติก
ความถ่วงจำเพาะ	2.59	1.34
โมดูลัสความละเอียด	2.74	3.87
หน่วยน้ำหนัก (กก./ลบ.ม.)	1682	552
การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	0.63	-

2.2 สัดส่วนผสมและขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติของมอร์ตาร์ควบคุม (CCM) กับมอร์ตาร์ผสมเศษพลาสติก (PCM) มอร์ตาร์ควบคุมใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 2.75 ต่อ 0.5 และใช้อัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกเท่ากับร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยปริมาตร ซึ่งสัดส่วนผสมจะแสดงในตารางที่ 2 โดยตัวเลขข้างหน้า PCM หมายถึงร้อยละ

โดยปริมาตรของการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติก เช่น 05PCM คือส่วนผสมมอร์ตาร์ที่มีการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกเท่ากับร้อยละ 5 โดยปริมาตร

2.3 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างทำตามมาตรฐาน ASTM C305 [2] เมื่อผสมเสร็จจะเทตัวอย่างลงแบบหล่อ ทำการกระทุ้งและใช้โต๊ะเขย่า 10 วินาที เพื่อไล่ฟองอากาศ แล้วหุ้มตัวอย่างด้วยฟิล์มพลาสติกทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงแกะแบบและนำก้อนตัวอย่างไปบ่มต่อในน้ำจืดจนครบอายุทดสอบ โดยทำการทดสอบทุกคุณสมบัติที่อายุ 28 วัน ยกเว้นกำลังอัดทำการทดสอบที่อายุ 7, 28 และ 90 วัน

2.4 คุณสมบัติของตัวอย่างที่ทดสอบ

ทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างมอร์ตาร์ ได้แก่ หาค่าการไหลแผ่, กำลังอัด, กำลังดึงแบบผ่าซีก, กำลังดัด, ร้อยละการดูดซึมน้ำ, อัตราส่วนโพรง, ความหนาแน่น, ความเร็วคลื่นผ่านก้อนตัวอย่าง, การนำความร้อน และความทนทานต่อการกัดกร่อนจาก

กรดซัลฟิวริก โดยมีลักษณะของตัวอย่างและมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 3

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 การไหลแผ่

ค่าการไหลแผ่ของตัวอย่างแสดงในตารางที่ 2 พบว่ามอร์ตาร์ควบคุมมีค่าการไหลแผ่เท่ากับร้อยละ 116 และลดลงเล็กน้อยตามอัตราส่วนการอัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกที่เพิ่มขึ้น โดยมีมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 มีค่าการไหลแผ่ต่ำที่สุดเท่ากับร้อยละ 102 ทั้งนี้เป็นผลมาจากเศษพลาสติกที่บางและแบนส่งผลให้ความสามารถในการทำงานได้ของมอร์ตาร์ลดลง สอดคล้องกับผลการทดสอบของ Almeshala [10] ที่ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติทางกลของคอนกรีตที่ใช้เศษพลาสติกชนิด PET ที่มีรูปร่างไม่แน่นอนแทนที่ทรายบางส่วนโดยน้ำหนัก แล้วพบว่าอัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกที่เพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตลดลงเช่นกัน

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ใช้ในการวิจัย (กก./ลบ.ม.) และค่าการไหลแผ่

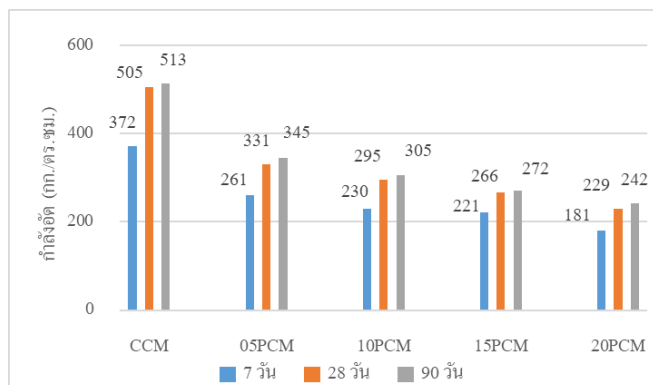
ส่วนผสม	ปูนซีเมนต์	น้ำ	ทราย	เศษพลาสติก	ค่าการไหลแผ่ (ร้อยละ)
CCM	532	266	1463	0	116
05PCM	532	266	1391	38	112
10PCM	532	266	1318	75	111
15PCM	532	266	1243	114	107
20PCM	532	266	1171	152	102

ตารางที่ 3 ลักษณะของตัวอย่างและมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

คุณสมบัติ	รูปร่างและลักษณะของตัวอย่าง	มาตรฐานการทดสอบ
ค่าการไหลแผ่	มอร์ตาร์สด	ASTM C1437 [3]
กำลังอัด	ทรงลูกบาศก์, กว้าง 5 ซม. ยาว 5 ซม. สูง 5 ซม.	ASTM C109 [4]
กำลังดึงผ่าซีก	ทรงกระบอก, เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม.	ASTM C496 [5]
กำลังดัด	คาน, หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 4 ซม. ยาว 16 ซม.	ASTM C348 [6]
การดูดซึมน้ำ	ทรงลูกบาศก์, กว้าง 10 ซม. ยาว 10 ซม. สูง 10 ซม.	ASTM C642 [7]
อัตราส่วนโพรง	ทรงลูกบาศก์, กว้าง 10 ซม. ยาว 10 ซม. สูง 10 ซม.	ASTM C642 [7]
ความหนาแน่น	ทรงลูกบาศก์, กว้าง 10 ซม. ยาว 10 ซม. สูง 10 ซม.	ASTM C642 [7]
ความเร็วคลื่น	ทรงลูกบาศก์, กว้าง 10 ซม. ยาว 10 ซม. สูง 10 ซม.	ASTM C597 [8]
การนำความร้อน	ทรงลูกบาศก์, กว้าง 10 ซม. ยาว 10 ซม. สูง 10 ซม.	ISOMET 2114
ความทนทานต่อการกัดกร่อน	ทรงลูกบาศก์, กว้าง 5 ซม. ยาว 5 ซม. สูง 5 ซม.	ASTM C267 [9]

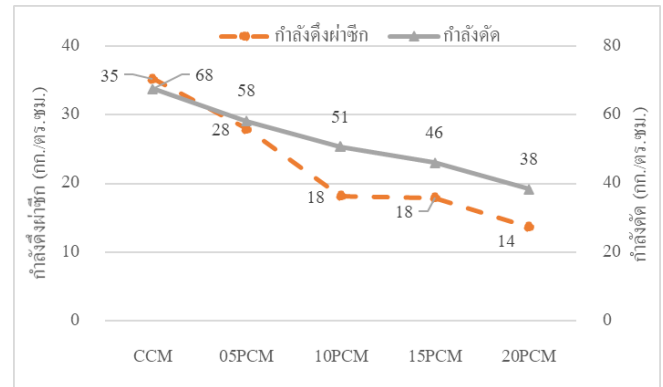
3.2 กำลังอัด กำลังดึงผ่าซีก และกำลังดัด

ผลการทดสอบกำลังอัด และ กำลังดึงผ่าซีกและกำลังดัด แสดงในภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ พบว่าเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังอัดมีค่าลดลง โดยส่วนผสมควบคุมที่อายุ 28 วันมีกำลังอัดเท่ากับ 505 กก./ตร.ซม. ส่วนมอร์ตาร์ที่มีอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ที่อายุเดียวกันมีกำลังอัดเท่ากับ 331, 295, 266 และ 229 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Saxena และ คณะ [11] ที่รายงานว่า การใช้เศษพลาสติกชนิด PET แทนที่ทราย และหินในคอนกรีตโดยน้ำหนักทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลง เมื่อมีอัตราส่วนการแทนที่มากขึ้น การที่ขึ้นตัวอย่างมีกำลังอัด ลดลงเป็นผลมาจากการแรงยึดเกาะระหว่างผิวของเศษพลาสติก และเนื้อเพสต์ที่น้อยกว่าแรงยึดเกาะระหว่างทรายและเนื้อเพสต์จึง ส่งผลให้กำลังอัดลดลง นอกจากนั้นยังพบว่าการพัฒนากำลังอัด ตามอายุของมอร์ตาร์ที่ใช้เศษพลาสติกเป็นส่วนผสมเหมือนกับ กำลังอัดของมอร์ตาร์ทั่วไปคือ มีกำลังอัดมากขึ้นตามอายุการ ทดสอบ



รูปที่ 2 ค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 7, 28 และ 90 วัน

ในส่วนของกำลังดึงผ่าซีกพบว่ามีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตามอัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกที่ เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับค่ากำลังอัด โดยส่วนผสมควบคุม CCM มี กำลังดึงผ่าซีกเท่ากับ 35 กก./ตร.ซม. และลดลงมากที่สุดที่ ส่วนผสม 20PCM หรือลดลงร้อยละ 36 เมื่อเปรียบเทียบกับ ส่วนผสมควบคุม ทั้งนี้เป็นผลมาจากรูปร่างที่แบนและพื้นผิวที่ เรียบของเศษพลาสติกที่แตกต่างจากทราย ทำให้กำลังยึด เหนี่ยวระหว่างเพสต์และมวลรวมลดลง [10]



รูปที่ 3 ค่ากำลังดึงผ่าซีกและกำลังดัดของมอร์ตาร์ที่อายุ 28 วัน

กำลังดัดของมอร์ตาร์ที่ใช้เศษพลาสติกแทนที่ทรายก็มีค่า ลดลงต่ำกว่าส่วนผสมควบคุม และมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วน การแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกที่เพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับค่ากำลัง อัดและกำลังดึงผ่าซีก โดยมอร์ตาร์ที่ส่วนผสม CCM และ 20PCM มีกำลังดัดเท่ากับ 68 กก./ตร.ซม. และ 38 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ สาเหตุมาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพื้นผิวเศษพลาสติกกับเนื้อ เพสต์ ที่น้อยกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพื้นผิวของทรายกับเนื้อ เพสต์ เป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Mary Treasa Shinu และ Needhidasan [12] ซึ่งรายงานว่าเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ โดยน้ำหนักของมวลรวมหยาบด้วยเศษพลาสติกขยะ อิเล็กทรอนิกส์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้กำลังอัด กำลังดึง และกำลังดัดของ คอนกรีตลดลง

3.3 ความหนาแน่น, อัตราส่วนโพรงอากาศ และการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบค่าความหนาแน่น, อัตราส่วนโพรงอากาศ และการดูดซึมน้ำ พบว่าความหนาแน่นของ มอร์ตาร์มีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติก ที่เพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Belmokaddem และ คณะ [13] ที่ใช้เศษพลาสติกชนิด PP, HDPE และ PVC แทนที่ มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบในคอนกรีตทำให้ค่าความ หนาแน่นลดลง โดยอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 ทำให้มอร์ตาร์ มีความหนาแน่นเป็น 1763 กก./ลบ.ม ต่ำกว่าส่วนผสมควบคุมที่มี ความหนาแน่นเท่ากับ 2042 หรือลดลงร้อยละ 14 เมื่อเทียบกับ ส่วนผสมควบคุม การที่ค่าความหนาแน่นลดลงเป็นผลมาจากเศษ พลาสติกมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่ามวลรวมธรรมชาติเมื่อ อัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกมากขึ้นตัวอย่างจึงมี ความหนาแน่นลดลง

ค่าอัตราส่วนโพรงอากาศ พบว่ามอร์ตาร์มีอัตราส่วนโพรง อากาศเพิ่มมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติก

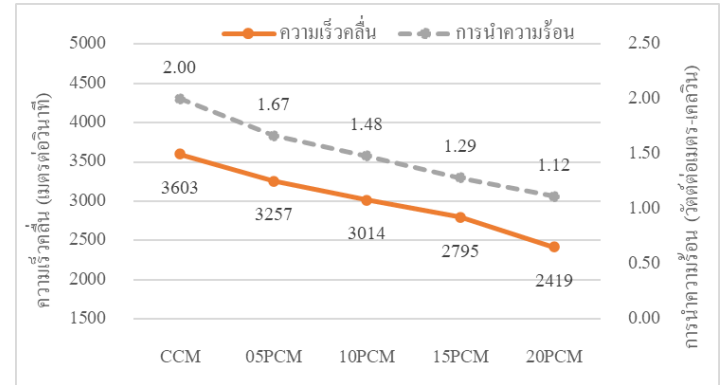
ที่เพิ่มสูงขึ้น โดยส่วนผสม 20PCM มีอัตราส่วนโพรงอากาศมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 22.7 ในขณะที่มอร์ตาร์ควบคุมที่มีอัตราส่วนโพรงอากาศเท่ากับร้อยละ 11.5 การที่ค่าอัตราส่วนโพรงอากาศเพิ่มสูงขึ้นนี้เป็นผลมาจากรูปร่างของเศษพลาสติกที่มีลักษณะแบนมากกว่าทรายจะเป็นตัวปิดกันไม่ให้อากาศลอยตัวขึ้นบนผิวหน้าตัวอย่าง ในขณะที่เขย่า สอดคล้องกับรายงานของ Ruiz-Herrero และคณะ [14] ที่ทำการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตโดยการใส่เศษพลาสติกชนิด PET และ PVC เพิ่มเข้าไปส่วนผสมคอนกรีตแล้วทำให้อัตราส่วนโพรงอากาศมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

สำหรับผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำพบว่า เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับอัตราส่วนโพรงอากาศคือ เมื่อค่าอัตราส่วนโพรงอากาศเพิ่มมากขึ้นค่าการดูดซึมน้ำก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยส่วนผสม 20PCM มีร้อยละการดูดซึมน้ำสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 7.4 ส่วนผสมควบคุม CCM มีร้อยละการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 5.6 การที่ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญกับอัตราส่วนโพรงอากาศ ทั้งนี้เป็นผลมาจากโพรงอากาศที่อยู่ในเนื้อตัวอย่างจะทำให้พื้นที่ที่กักเก็บของเหลวไว้ในชิ้นตัวอย่างจึงส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกที่เพิ่มขึ้น [15]

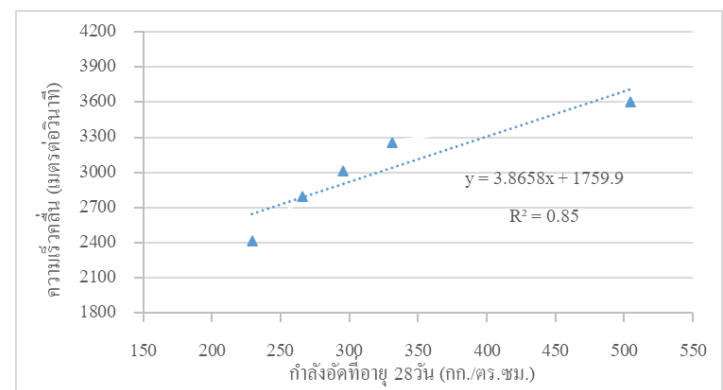
3.4 ความเร็วคลื่นผ่านตัวอย่าง

ผลการทดสอบพบว่าค่าความเร็วคลื่นเคลื่อนที่ผ่านชิ้นตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกที่เพิ่มสูงขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4 โดยส่วนผสม 20PCM มีความเร็วคลื่นต่ำที่สุดที่ต่ำสุดเท่า 2419 เมตรต่อวินาที หรือลดลงประมาณร้อยละ 33 เมื่อเทียบกับส่วนผสมควบคุม นอกจากนั้นผลการทดสอบความเร็วคลื่นเคลื่อนที่ผ่านชิ้นตัวอย่างนี้สอดคล้องกับผลการทดสอบกำลังอัดอย่างมีนัยสำคัญเห็นได้จากเมื่อกำลังอัด

เพิ่มขึ้นตัวอย่างมอร์ตาร์ก็จะมีค่าความเร็วคลื่นสูงขึ้นเช่นกันเดียวกันดังแสดงในภาพที่ 5 ทั้งนี้เนื่องจากคลื่นจะเคลื่อนที่ได้รวดเร็วขึ้นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านวัสดุที่มีอนุภาคสมบูรณ์ต่อเนื่องและมีความหนาแน่นสูง เมื่อแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกบางส่วนจะทำให้เกิดช่องว่าง, ความไม่ต่อเนื่องในเนื้อของมอร์ตาร์และการลดลงของความหนาแน่นซึ่งส่งผลให้ค่าความเร็วคลื่นลดลง [13]



รูปที่ 4 ค่าความเร็วคลื่น และค่าการนำความร้อน



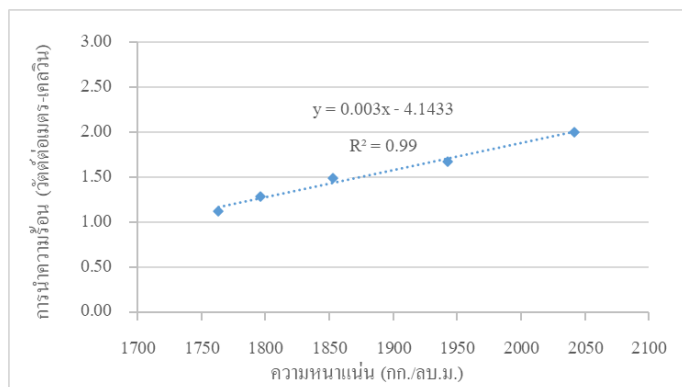
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วคลื่นและกำลังอัด

ตารางที่ 4 ลักษณะของตัวอย่างและมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

ส่วนผสม	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	อัตราส่วนโพรงอากาศ (ร้อยละ)	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
CCM	2042	11.5	5.6
05PCM	1943	13.0	6.3
10PCM	1853	16.5	6.9
15PCM	1796	20.1	7.3
20PCM	1763	22.7	7.4

3.5 การนำความร้อน

ผลการทดสอบการนำความร้อนแสดงในภาพที่ 4 พบว่า มอร์ตาร์มีค่าการนำความร้อนลดลงเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกที่เพิ่มสูงขึ้น การที่ค่าการนำความร้อนลดลงเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกเพิ่มสูงขึ้นนั้นเป็นผลมาจากความหนาแน่นที่ลดลงของตัวอย่างมอร์ตาร์ โดยทั่วไปแล้ววัสดุจะมีความสามารถในการนำความร้อนได้ดีเมื่อวัตถุนั้นมีความหนาแน่นสูง [16] สอดคล้องกับผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 6 ที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนและความหนาแน่นของตัวอย่างมอร์ตาร์ โดยเมื่อมอร์ตาร์มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นค่าการนำความร้อนก็จะเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน โดยส่วนผสมควบคุม CCM มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 2.00 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ในขณะที่ส่วนผสม 05PCM, 10PCM, 15PCM และ 20PCM มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 1.67, 1.48, 1.29 และ 1.12 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ตามลำดับ

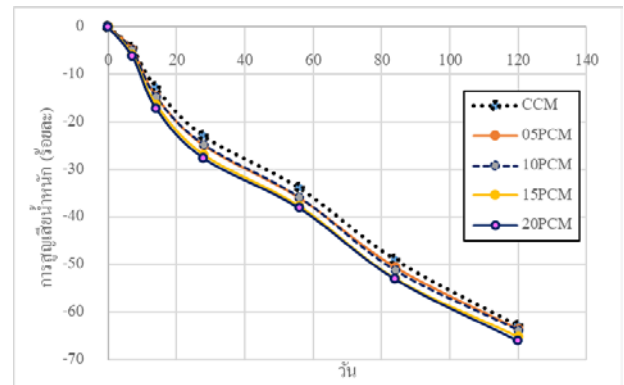


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อน และความหนาแน่น

3.6 ความทนทานต่อการกัดกร่อนจากกรดซัลฟิวริก

ผลการทดสอบความทนทานต่อการกัดกร่อนจากกรดซัลฟิวริกพบว่าเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกเพิ่มขึ้นจะทำให้การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการกัดกร่อนของตัวอย่างมอร์ตาร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง แสดงในภาพที่ 7 โดยที่อายุ 120 วันตัวอย่างมอร์ตาร์ควบคุมมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 62.9 และเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 66.0 (เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 5) ที่อัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกร้อยละ 20 การที่ขึ้นตัวอย่างมีค่าการสูญเสียน้ำหนักมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกเพิ่มขึ้นนี้เป็นผลมาจากความสามารถในการดูดซึมน้ำและอัตราส่วนโพรงที่เพิ่มขึ้นประกอบกับความหนาแน่นของมอร์ตาร์ที่

ลดลงทำให้กรดซัลฟิวริกสามารถแทรกซึมเข้าไปทำลายได้ง่ายขึ้น ความทนทานต่อการกัดกร่อนจากกรดจึงลดลง [17]



รูปที่ 7 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการกัดกร่อนจากกรดซัลฟิวริก

4. บทสรุป

1) การแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกทำให้มอร์ตาร์มีค่าการไหลแผ่ กำลังอัด กำลังดึงผ่าซีก และกำลังดัดลดลงตามปริมาณของเศษพลาสติก โดยกำลังอัดของส่วนผสม 20PCM ที่อายุ 28 วันมีค่าเท่ากับ 229 กก./ตร.ซม. ต่ำกว่าส่วนผสมควบคุมประมาณร้อยละ 55

2) การใช้เศษพลาสติกแทนที่ทรายทำให้ความหนาแน่นของมอร์ตาร์มีค่าลดลงเนื่องจากความหนาแน่นของพลาสติกน้อยกว่าทราย แต่จะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำและอัตราส่วนโพรงอากาศเพิ่มขึ้น

3) มอร์ตาร์ที่ใช้เศษพลาสติกแทนที่ทรายมีค่าความเร็วคลื่นเคลื่อนที่ผ่านขึ้นตัวอย่างและค่าการนำความร้อนลดลงเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกที่เพิ่มสูงขึ้น

4) เมื่ออัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเศษพลาสติกเพิ่มขึ้น ตัวอย่างมอร์ตาร์จะมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดซัลฟิวริกน้อยลง

5) ที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 ถึงแม้ว่ามอร์ตาร์จะมีค่ากำลังน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมควบคุม แต่กำลังอัดที่ได้ก็สูงพอที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างได้ นอกจากนั้นความหนาแน่นและค่าการนำความร้อนที่ลดลงยังสามารถนำมอร์ตาร์ที่ได้ไปประยุกต์ในงานคอนกรีตมวลเบาและเป็นฉนวนกันความร้อนได้อีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนการศึกษาจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น และศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนทุนในการจัดหาวัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] D. J. M. Flower and J. G. Sanjayan, "Green house gas emissions due to concrete manufacture," *Int. J. Life Cycle Assess.*, 2007, doi: 10.1007/s11367-007-0327-3.
- [2] ASTM C305, "Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency," ASTM international, 2011, doi: 10.1520/C0305-13.2.
- [3] ASTM C 1437-07, "Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar," *Annu. B. ASTM Stand.*, 2009.
- [4] ASTM C109/C109M-16a, Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (Using 2-in. or [50-mm] cube specimens). 2016.
- [5] ASTM C496, "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens," *ASTM Int.*, 2011, doi: 10.1520/C0496.
- [6] ASTM Standard, "ASTM C348-18: Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars," *Annu. B. ASTM Int.*, 2018, doi: 10.1520/C0348-08.2.
- [7] ASTM C642-13, "Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete, ASTM International," *ASTM Int.*, 2013, doi: 10.1520/C0642-13.
- [8] ASTM C597, "Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete," *American Society for Testing and Materials*, West Conshohocken, PA, USA. 2016, doi: 10.1520/C0597-09.
- [9] ASTM C267, Standard Test Methods for Chemical Resistance of Mortars, Grouts, and Monolithic Surfacing and Polymer Concretes. 2015.
- [10] I. Almeshal, B. A. Tayeh, R. Alyousef, H. Alabduljabbar, and A. M. Mohamed, "Eco-friendly concrete containing recycled plastic as partial replacement for sand," *J. Mater. Res. Technol.*, 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.02.090.
- [11] R. Saxena, S. Siddique, T. Gupta, R. K. Sharma, and S. Chaudhary, "Impact resistance and energy absorption capacity of concrete containing plastic waste," *Constr. Build. Mater.*, vol. 176, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.019.
- [12] N. M. Mary Treasa Shinu and S. Needhidasan, "An experimental study of replacing conventional coarse aggregate with E-waste plastic for M40 grade concrete using river sand," in *Materials Today: Proceedings*, 2020, vol. 22, doi: 10.1016/j.matpr.2019.09.033.
- [13] M. Belmokaddem, A. Mahi, Y. Senhadji, and B. Y. Pekmezci, "Mechanical and physical properties and morphology of concrete containing plastic waste as aggregate," *Constr. Build. Mater.*, vol. 257, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119559.
- [14] J. L. Ruiz-Herrero et al., "Mechanical and thermal performance of concrete and mortar cellular materials containing plastic waste," *Constr. Build. Mater.*, vol. 104, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.005.
- [15] A. A. Mohammed, I. I. Mohammed, and S. A. Mohammed, "Some properties of concrete with plastic aggregate derived from shredded PVC sheets," *Constr. Build. Mater.*, vol. 201, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.12.145.
- [16] N. Intaboot, "Mechanical properties and thermal conductivity of interlocking blocks made from sludge and water hyacinth." *Journal of Thailand Concrete Association*, 6(1), 10-19, 2018.
- [17] N. Dulsang, P. Kasemsiri, P. Posi, S. Hiziroglu, and P. Chindaprasit, "Characterization of an environment friendly lightweight concrete containing ethyl vinyl acetate waste," *Mater. Des.*, vol. 96, 2016, doi: 10.1016/j.matdes.2016.02.037.