



การใช้เศษกระจกกรดยนต์เป็นมวลรวมละเอียดในมอร์ตาร์

USE OF CAR BROKEN GLASS AS FINE AGGREGATE IN MORTAR

จักรพงษ์ เหล่าอัน¹, อัมพล วงศ์ยา^{2*}, วันชัย สะตะ³, และปริญญา จินดาประเสริฐ⁴

¹นักศึกษาลูกศรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ³ศาสตราจารย์, ⁴ศาสตราจารย์, ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*Corresponding author, E-Mail: ampowo@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของมอร์ตาร์ที่ใช้เศษกระจกกรดยนต์เป็นส่วนผสมแทนที่ทรายธรรมชาติในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 และ 100 โดยปริมาตร ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางกล และการนำความร้อนของมอร์ตาร์ ผลการทดสอบพบว่า การใช้เศษกระจกกรดยนต์แทนที่ทรายธรรมชาติไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการทำงานได้ กำลังรับแรงอัด ปริมาณโพรง การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และความเร็วคลื่นความถี่สูงวิ่งผ่านก้อนตัวอย่างมอร์ตาร์ เนื่องจากเศษกระจกกรดยนต์มีขนาดละเอียดใกล้เคียงกับทรายธรรมชาติ ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าเศษกระจกกรดยนต์มีสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน มอร์ตาร์ที่มีเศษกระจกกรดยนต์เป็นส่วนผสมในการศึกษาครั้งนี้จึงเหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุฉนวนกันความร้อนสำหรับงานก่อสร้างได้

คำสำคัญ: มอร์ตาร์; เศษกระจกกรดยนต์; ทรายธรรมชาติ; การนำความร้อน

ABSTRACT

This research aims to study the properties of mortars containing car broken glass at 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, and 100% by volume. The physical, mechanical, and thermal properties of mortars were studied. The test results showed that the use of car broken glass to replace natural sand had no effect on the workability, compressive strength, porosity, water absorption, density, and ultrasonic pulse velocity of mortars. This was due to the similar size distribution of car broken glass and natural sand. The thermal conductivity coefficient significantly decreased with the increasing of car broken glass contents. This result pointed out that the car broken glass exhibited thermal insulating property. The developed mortars containing car broken glass in this study were appropriate for use as thermal insulating composites in construction and building materials.

KEYWORDS: mortar; car broken glass; natural sand; thermal conductivity

Jakkapong Lao-un¹, Ampol Wongsat^{2*}, Vanchai Sata³, and Prinya Chindaprasirt⁴

¹Master Student in Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, Khon Khon University, Thailand.

²Associate Professor, ^{3,4} Professor, Sustainable Infrastructure Research and Development Center, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Khon University, Thailand.

1. บทนำ

ปัจจุบันเศรษฐกิจมีการเจริญเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับธุรกิจการก่อสร้าง [1] ในงานก่อสร้างนั้นทรายถือเป็นวัสดุรวมที่ใช้ผสมในงานคอนกรีตและมอร์ตาร์ ซึ่งทรายธรรมชาติถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการก่อสร้างคอนกรีตมาเป็นเวลาหลายทศวรรษ [2] และยังคงมีการใช้ทรายที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละปี จากข้อมูลของ United Nations Environment Programme (UNEP) พบว่า ในแต่ละปีจะมีการนำทรายไปใช้เฉพาะในอุตสาหกรรมการก่อสร้างมากถึง 40-50 พันล้านเมตริกตัน ซึ่งนับว่าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 300 ในเวลาเพียง 20 ปี และมีแนวโน้มที่ความต้องการจะเพิ่มขึ้นอีก [3] และความต้องการใช้ทรายนั่นไม่ได้มีเฉพาะในงานก่อสร้างเท่านั้นทางด้านอุตสาหกรรมเองก็มีความต้องการใช้ทรายด้วย เช่น การนำทรายมาเป็นวัสดุคืบในการผลิตกระจก ขวดแก้ว ขวดบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น ทำให้ทรายเป็นวัสดุที่มีราคาแพงขึ้นในแต่ละปี ซึ่งการนำทรายมาใช้จำนวนมากนอกจากจะส่งผลให้เกิดการขาดแคลนแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมเนื่องจากทรายเป็นวัสดุทางธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนของทรายธรรมชาติทำให้เกิดความคิดที่ต้องการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ทดแทนทรายในงานก่อสร้าง เพื่อลดการใช้วัสดุและทรัพยากรทางธรรมชาติ

แก้วเป็นวัสดุที่ผลิตจากทรายแก้ว โซดาแอช เศษแก้ว หินปูนและหินฟอสเฟต และเป็นวัสดุที่มีการใช้งานมาอย่างยาวนานตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เมื่อแก้วเกิดการแตกร้าวทำให้ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ ส่งผลให้เกิดเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งที่ไม่มีประโยชน์จำนวนมาก โดยแก้วเป็นวัสดุที่ไม่สามารถที่จะย่อยสลายได้ด้วยตัวเองตามธรรมชาติ การกำจัดเศษแก้วส่วนใหญ่ทำโดยการนำไปกองทิ้ง ซึ่งก่อให้เกิดเป็นขยะและอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคตได้ งานวิจัยต่าง ๆ ที่ผ่านมามีความสนใจในการนำเศษแก้วเหล่านี้มาใช้เป็นวัสดุทดแทนในงานคอนกรีตและมอร์ตาร์ Tamanna และคณะ [2] ได้ศึกษาการใช้เศษแก้วที่ได้จากการบดขวดแก้วแทนที่ทรายธรรมชาติในงานคอนกรีตร้อยละ 20 40 และ 60 โดยมวล พบว่าการใช้เศษแก้วแทนที่ทรายธรรมชาตินั้นช่วยให้สมบัติทางกลของคอนกรีตดีขึ้น Adesina และDas [4] ได้ศึกษาการใช้เศษแก้วรีไซเคิลแทนที่ทรายธรรมชาติโดยทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด ความต้านทานแรงดึง แรงคดงอ โมดูลัสความยืดหยุ่น และอัตราส่วนของบัวของ พบว่าการใช้เศษแก้วรีไซเคิลร้อยละ 100 โดยมวล ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของมอร์ตาร์และยังเป็นวัสดุที่ยั่งยืนที่ดีในการก่อสร้าง Sikora และคณะ [5] ได้ศึกษาการนำเศษแก้วโซดาสีน้ำตาลได้จากการบดย่อยขวดแก้วมาใช้แทนที่ทรายธรรมชาติ พบว่าการใช้เศษแก้วไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกลและยังช่วยลดค่าการนำความร้อนได้ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าเศษแก้วสามารถที่จะนำมาใช้แทนที่ทรายธรรมชาติได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการศึกษาการนำเศษกระจกรถยนต์มาใช้เป็นส่วนผสมในงานมอร์ตาร์และคอนกรีตยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควร เมื่อเทียบกับปริมาณเศษกระจกรถยนต์ที่กำลังเพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งกระจกรถยนต์เมื่อเกิดการชำรุดทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ บริษัทรถยนต์ส่วนใหญ่มักเลือกที่จะนำไปกำจัดโดยกองทิ้งมากกว่าการนำรีไซเคิล จึงได้เกิดแนวคิดที่จะศึกษาการนำเศษกระจกรถยนต์มาใช้แทนทรายธรรมชาติเพื่อเป็นทางเลือกในการลดปริมาณขยะจากเศษกระจกรถยนต์และปริมาณการใช้ทรัพยากรทางธรรมชาติ อีกทั้งยังเป็นการช่วยประหยัดพื้นที่ในการฝังกลบ [6] และเพิ่มมูลค่าให้กับเศษกระจกรถยนต์อีกด้วย

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อศึกษาการนำเศษกระจกรถยนต์มาใช้เป็นวัสดุทดแทนทรายธรรมชาติในงานมอร์ตาร์ โดยทำการปรับเปลี่ยนปริมาณการแทนที่ทรายธรรมชาติด้วยเศษกระจกรถยนต์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 และ 100 โดยปริมาตร ทำการศึกษาสมบัติของมอร์ตาร์ ได้แก่ ค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์สด กำลังรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ ปริมาณโพรง ความหนาแน่น ความเร็วคลื่นความถี่สูงที่วิ่งผ่านตัวอย่าง และการนำความร้อน โดยคาดหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการลดปริมาณขยะและลดการใช้ทรัพยากรทางธรรมชาติ รวมไปถึงเป็นการเพิ่มมูลค่าของเศษกระจกรถยนต์อีกด้วย

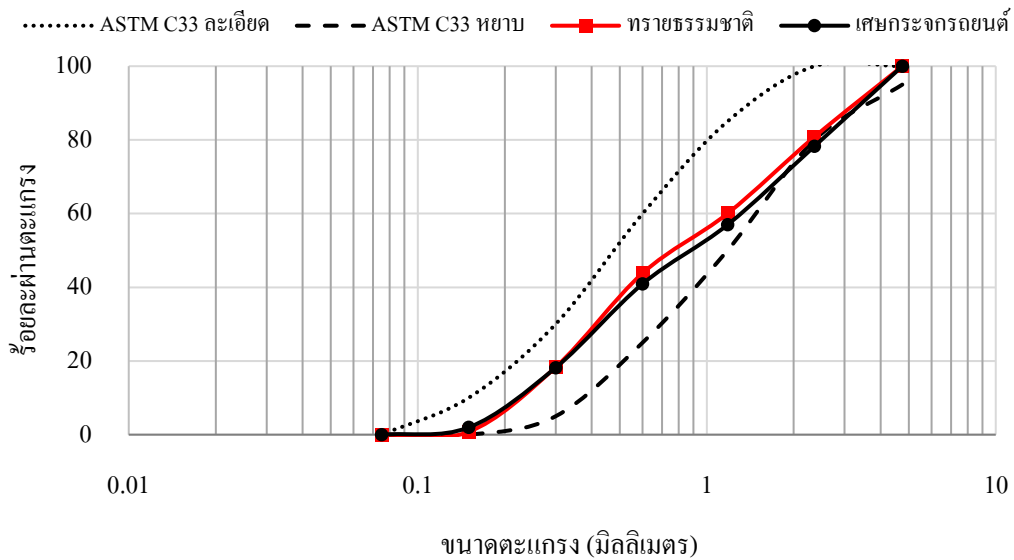
2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 น้ำกลั่น ทรายธรรมชาติและเศษกระจกกรดยนต์ โดยทรายธรรมชาติจะถูกล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดฝุ่น ดินเหนียว หรือสิ่งเจือปน แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และล้างตะแกรงเบอร์ 200 สำหรับเศษกระจกกรดยนต์ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นกระจกกรดยนต์นิรภัยประเภทเทมเปอร์ที่แตกแล้วที่ได้จากบริษัทเอกชนในจังหวัดขอนแก่น นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อน แล้วอบให้แห้งก่อนนำมาบดในเครื่องบดวัสดุเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการคัดขนาดให้มีการกระจายขนาดละเอียดใกล้เคียงกับทรายธรรมชาติตามมาตรฐาน ASTM C33 [7] ดังรูปที่ 1 และ 2 จากการทดสอบสมบัติพื้นฐานของมวลรวมละเอียดแสดงดังตารางที่ 1 พบว่าเศษกระจกกรดยนต์มีค่าความถ่วงจำเพาะและหน่วยน้ำหนักที่น้อยกว่าทรายธรรมชาติ ในขณะที่ค่าโมดูลัสความละเอียดของเศษกระจกกรดยนต์และทรายธรรมชาติมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่าทรายธรรมชาติมีค่าการดูดซึมน้ำที่มากกว่าเศษกระจกกรดยนต์ แสดงให้เห็นว่าเศษกระจกกรดยนต์เป็นวัสดุที่มีความแน่นตัวที่มากกว่าทรายธรรมชาติ จากการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีโดยเทคนิค X-ray Fluorescence (XRF) พบว่าเศษกระจกกรดยนต์มี SiO_2 , Na_2O และ CaO เป็นองค์ประกอบหลักเท่ากับร้อยละ 67.60, 13.48 และ 10.73 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 การผลิตกระจกกรดยนต์จะใช้ทรายแก้วหรือแร่ซิลิกาเป็นวัตถุดิบหลัก (ผสมรวมกับเศษแก้ว หินฟลินท์ และแร่อื่นๆ) ส่งผลให้กระจกกรดยนต์มี SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกับทรายธรรมชาติ



รูปที่ 1 ทรายธรรมชาติและเศษกระจกกรดยนต์



รูปที่ 2 การกระจายขนาดคละของทรายธรรมชาติและเศษกระจกชนิดพิเศษ

ตารางที่ 1 สมบัติของเศษกระจกชนิดพิเศษและทรายธรรมชาติรวมทั้งมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

คุณสมบัติรวม	เศษกระจกชนิดพิเศษ	ทรายธรรมชาติ	มาตรฐาน
ความถ่วงจำเพาะ (SSD)	2.47	2.58	ASTM C128 [8]
การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	0.04	1.21	ASTM C128 [8]
น้ำหนักหนัก (กก./ลบ.ม.)	1656	1713	ASTM C29 [9]
โมดูลัสความละเอียด	3.04	2.97	ASTM C136 [10]

2.2 สัดส่วนผสม

สัดส่วนผสมมอร์ตาร์ที่มีเศษกระจกชนิดพิเศษเป็นส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 3 มอร์ตาร์ควบคุมใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายธรรมชาติต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 2.75 ต่อ 0.485 เพื่อให้ได้ค่าการไหลเผื่ออยู่ในช่วงร้อยละ 110±5 ตามมาตรฐาน ASTM C109 [11] ที่ได้กำหนดไว้ ทำการแทนที่ทรายธรรมชาติด้วยเศษกระจกชนิดพิเศษที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 และ 100 โดยปริมาตรเพื่อควบคุมอัตราส่วนโดยปริมาตรของมวลรวมละเอียดต่อวัสดุเชื่อมประสานให้คงที่

2.3 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

การผสมมอร์ตาร์ทำตามมาตรฐาน ASTM C305 [12] โดยทำการผสมเศษกระจกชนิดพิเศษกับทรายธรรมชาติที่ถูกเตรียมในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งให้เข้ากันก่อนจึงนำไปลงในเครื่องผสม หลังจากผสมมอร์ตาร์เสร็จแล้ว นำส่วนผสมบรรจุเข้าแบบหล่อ ทำการห่อหุ้มพลาสติกเพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นระเหยออกจากตัวอย่าง แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงทำการถอดแบบหล่อออก นำตัวอย่างไปบ่มในน้ำปูนขาวอิ่มตัวจนอายุครบตามกำหนดทดสอบ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของเศษกระจกรถยนต์และปูนซีเมนต์

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	เศษกระจกรถยนต์	ปูนซีเมนต์
SiO ₂	67.60	14.84
Al ₂ O ₃	0.86	3.31
Fe ₂ O ₃	2.79	3.47
CaO	10.73	70.54
MgO	3.85	1.01
SO ₃	0.18	3.38
Na ₂ O	13.48	0.33
K ₂ O	0.22	0.59
TiO ₂	0.06	0.28
P ₂ O ₅	0.01	0.08
MnO	0.03	-
SrO	0.01	0.04
Cr ₂ O ₃	0.05	0.02
ZnO	-	0.05

ตารางที่ 3 สัดส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่มีเศษกระจกรถยนต์เป็นส่วนผสม (กรัม)

ร้อยละการแทนที่	ทรายธรรมชาติ	เศษกระจกรถยนต์	ปูนซีเมนต์	น้ำ
0	2750	0	1000	485
10	2475	263	1000	485
20	2200	527	1000	485
30	1925	790	1000	485
40	1650	1053	1000	485
50	1375	1316	1000	485
60	1100	1580	1000	485
80	550	2106	1000	485
100	0	2633	1000	485

2.4 การทดสอบสมบัติของมอร์ตาร์

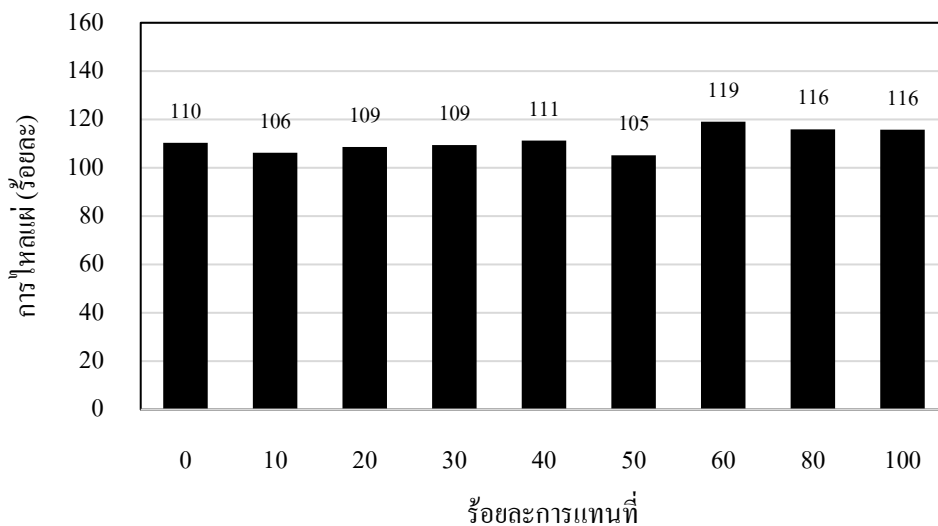
ทดสอบไหลแผ่ของมอร์ตาร์สด ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C1437 [13] ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 และ 28 วัน โดยใช้ตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 5 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C109 [11] ทดสอบการดูดซึมน้ำและปริมาณโพรง โดยใช้ตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 5 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C642 [14] ทดสอบความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ASTM C1754 [15] ความเร็วคลื่น

ความถี่สูงที่วิ่งผ่านตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM C597 [16] และการนำความร้อนด้วยเครื่อง ISOMET 2114 โดยใช้ตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 10 ซม. ทดสอบการนำความร้อนโดยวิธี Constant power ในช่วง 0.3-6.0 วัตต์/เมตร-เคลวิน

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 การไหลแผ่

ค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ที่มีเศษกระจกชนิดเป็นส่วนผสมแสดงดังรูปที่ 3 จากการทดสอบพบว่า มอร์ตาร์ควบคุมมีค่าการไหลแผ่เท่ากับร้อยละ 110 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C1437 [13] ที่กำหนดให้ค่าการไหลแผ่มอร์ตาร์ควบคุมให้อยู่ในช่วงร้อยละ 110±5 และผลการทดสอบยังพบว่าการใช้เศษกระจกชนิดแทนที่ทรายธรรมชาติไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถทำงานได้ของมอร์ตาร์ ซึ่งจะเห็นได้จากค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ที่มีเศษกระจกชนิดเป็นส่วนผสมมีค่าที่ไม่แตกต่างกันและใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุม เนื่องจากเศษกระจกชนิดในการศึกษาครั้งนี้มีขนาดคละที่ใกล้เคียงกับทรายธรรมชาติ (รูปที่ 2) แม้ว่ามอร์ตาร์ที่มีเศษกระจกชนิดเป็นส่วนผสมร้อยละ 60 มีค่าการไหลแผ่สูงที่สุด อย่างไรก็ตามค่าการไหลแผ่เพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 8 เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม

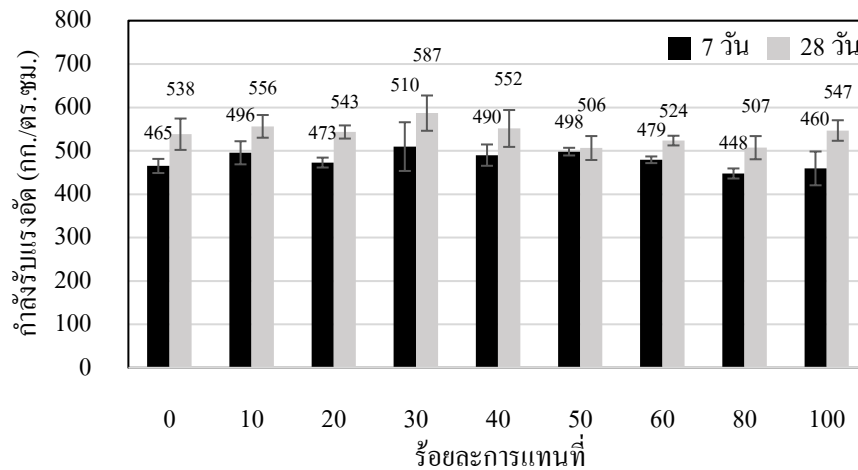


รูปที่ 3 การไหลแผ่ของมอร์ตาร์

3.2 กำลังรับแรงอัด

รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 และ 28 วันของมอร์ตาร์ที่มีเศษกระจกชนิดเป็นส่วนผสม จากการทดสอบพบว่ามอร์ตาร์ที่ผสมเศษกระจกชนิดมีค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการบ่มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำทำให้เกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตเพิ่มขึ้น [17] และไม่ขึ้นอยู่กับมวลรวมละเอียดสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tamanna และคณะ [2] ที่พบว่าคอนกรีตที่มีเศษแก้วโซดาไฟที่ได้จากการบดขวดแก้วแทนที่ทรายธรรมชาติเป็นส่วนผสมมีกำลังรับแรงอัดที่ 7 28 และ 56 วันเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม นอกจากนี้ยังพบว่าค่าการแทนที่ทรายด้วยเศษกระจกชนิดไม่ส่งผลเสียต่อความแข็งแรงของมอร์ตาร์ เนื่องจากมอร์ตาร์ที่มีเศษกระจกชนิดเป็นส่วนผสมมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ไม่แตกต่างกัน เป็นผลมาจากเศษกระจกชนิดมีขนาดคละที่ใกล้เคียงกับทรายธรรมชาติ (ในรูปที่ 2) อย่างไรก็ตามค่าการแทนที่ทรายธรรมชาติด้วยเศษกระจกชนิดร้อยละ 100 จะให้กำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 วันเท่ากับ 460 กก./ตร.ซม. และที่อายุ 28 วันเท่ากับ 547

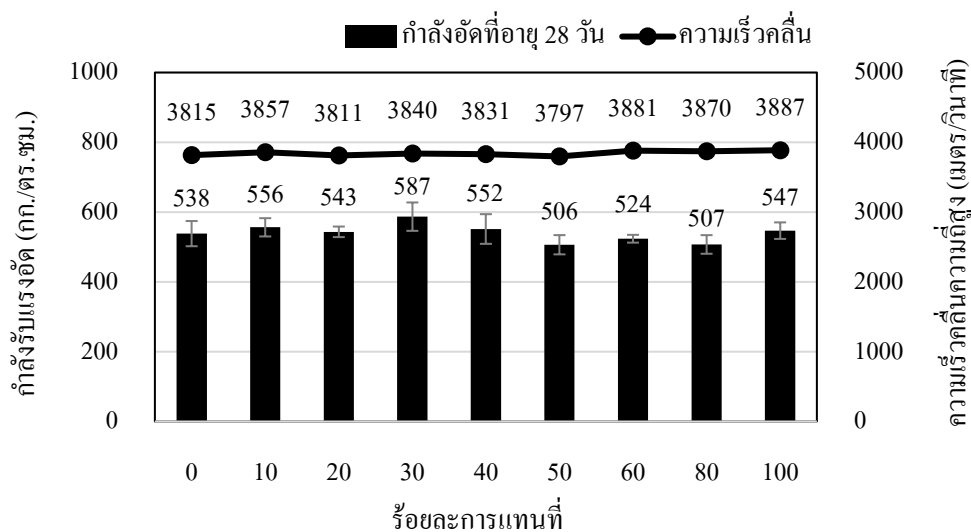
กก./ตร.ซม. ซึ่งใกล้เคียงมอเตอร์ควบคุมที่ไม่มีเศษกระจกรถยนต์เป็นส่วนผสม แสดงให้เห็นว่าเศษกระจกรถยนต์สามารถใช้เป็นวัสดุทดแทนทรายธรรมชาติในงานมอเตอร์และคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างได้



รูปที่ 4 กำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 และ 28 วันของมอเตอร์

3.3 ความเร็วคลื่นความถี่สูงผ่านตัวอย่าง

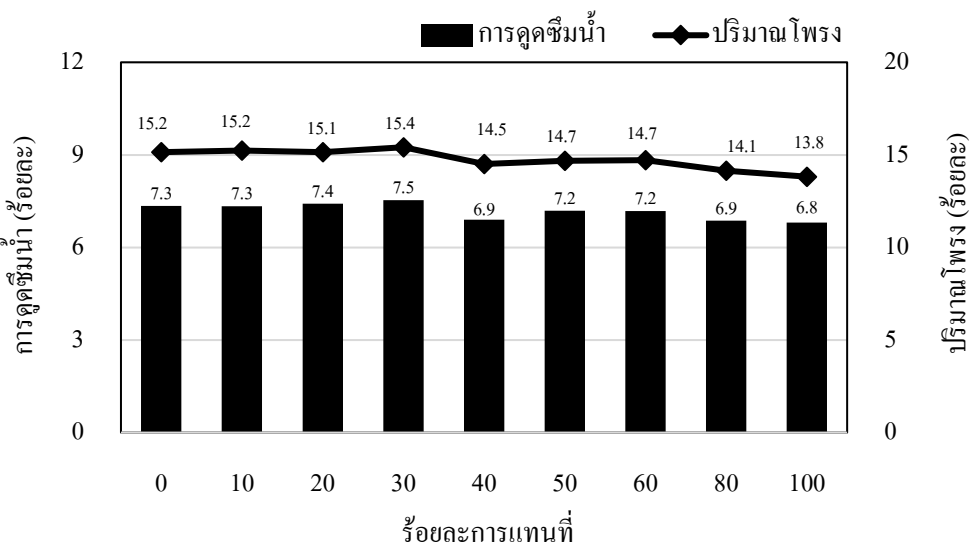
การทดสอบความเร็วคลื่นความถี่สูงผ่านตัวอย่างมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 5 พบว่ามอเตอร์ที่มีการแทนที่ทรายธรรมชาติด้วยเศษกระจกรถยนต์มีค่าความเร็วคลื่นความถี่สูงในช่วง 3811-3887 เมตร/วินาที ซึ่งใกล้เคียงกับมอเตอร์ควบคุม (3815 เมตร/วินาที) สำหรับการทดสอบความเร็วคลื่นความถี่สูงผ่านตัวอย่างเป็นการทดสอบเพื่อประเมินคุณภาพของมอเตอร์และคอนกรีต จากงานวิจัยที่ผ่านมา [18, 19] พบว่าเมื่อมอเตอร์มีความเร็วคลื่นความถี่สูงผ่านตัวอย่างเพิ่มขึ้นจะมีค่ากำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นด้วย สำหรับการศึกษารุ่นนี้พบว่าค่าความเร็วคลื่นความถี่สูงผ่านตัวอย่างมีความสัมพันธ์กับกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วันของมอเตอร์ จึงสามารถยืนยันได้ว่าการใช้เศษกระจกรถยนต์แทนที่ทรายธรรมชาติไม่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของมอเตอร์



รูปที่ 5 ความเร็วคลื่นความถี่สูงที่ผ่านตัวอย่างและกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วันของมอเตอร์

3.4 การดูดซึมน้ำและปริมาณโพรง

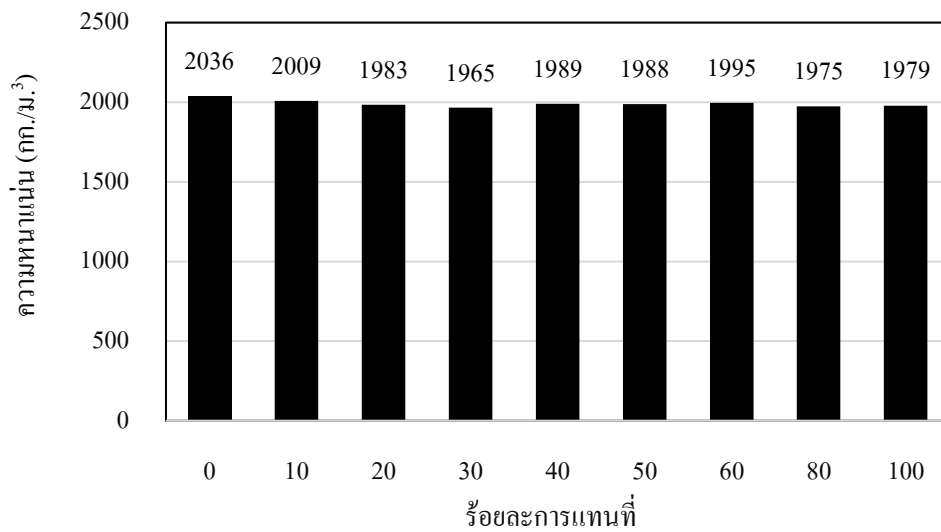
ค่าการดูดซึมน้ำและปริมาณโพรงของมอร์ตาร์แสดงดังรูปที่ 6 จากการทดสอบพบว่าการใช้เศษกระจกกรดยนต์เป็นส่วนผสมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำและปริมาณโพรงของมอร์ตาร์มีค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยการดูดซึมน้ำมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 6.8-7.5 และปริมาณโพรงมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 13.8-15.4 เนื่องจากเศษกระจกกรดยนต์มีการกระจายขนาดที่ใกล้เคียงกับทรายธรรมชาติ นอกจากนี้ยังพบว่ามอร์ตาร์ที่มีเศษกระจกกรดยนต์มีค่าการดูดซึมน้ำที่สัมพันธ์กับปริมาณโพรงของมอร์ตาร์ เมื่อปริมาณโพรงเพิ่มสูงขึ้นค่าการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่เมื่อปริมาณโพรงลดลงค่าการดูดซึมน้ำจะลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 6 การดูดซึมน้ำและปริมาณโพรงที่อายุ 28 วันของมอร์ตาร์

3.5 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของมอร์ตาร์ที่มีเศษกระจกกรดยนต์เป็นส่วนผสมที่อายุ 28 วัน แสดงดังรูปที่ 7 จากผลการทดสอบพบว่ามอร์ตาร์ที่มีเศษกระจกกรดยนต์เป็นส่วนผสมมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1965-2009 กก./ม.³ ซึ่งมีแนวโน้มที่ลดลงและน้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุมที่ไม่มีเศษกระจกกรดยนต์เป็นส่วนผสม (2036 กก./ม.³) เนื่องจากเศษกระจกกรดยนต์มีค่าความถ่วงจำเพาะและหน่วยน้ำหนักที่น้อยกว่าทรายธรรมชาติดังแสดงในตารางที่ 1 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Adesina และ Das [4] ที่พบว่ามอร์ตาร์ที่ใช้เศษแก้วรีไซเคิลเป็นส่วนผสมแทนที่ทรายธรรมชาติจะมีค่าความหนาแน่นที่ลดลงตามปริมาณการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น โดยมอร์ตาร์ที่ใช้เศษแก้วรีไซเคิลร้อยละ 100 จะมีความหนาแน่นลดลงร้อยละ 10 เทียบกับส่วนผสมควบคุม ในงานวิจัยนี้มอร์ตาร์ที่มีเศษกระจกกรดยนต์เป็นส่วนผสมร้อยละ 100 จะมีความหนาแน่นลดลงร้อยละ 3 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม



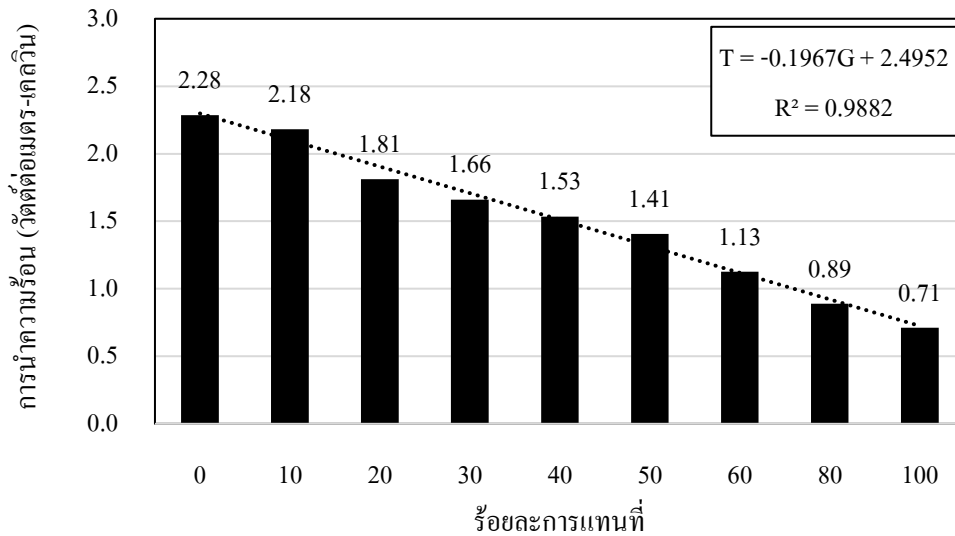
รูปที่ 7 ความหนาแน่นของมอร์ตาร์

3.6 การนำความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของมอร์ตาร์ที่มีเศษกระจกทดแทนเป็นส่วนผสมแสดงดังรูปที่ 8 จากการทดสอบพบว่ามอร์ตาร์มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดลงตามปริมาณของเศษกระจกทดแทนที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเศษกระจกทดแทนเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกั้นความร้อน ซึ่งทำให้พลังงานความร้อนเคลื่อนที่ไหลผ่านได้ยากขึ้น จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนแปรผกผันตามปริมาณของเศษกระจกทดแทนที่เพิ่มขึ้นดังสมการที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของมอร์ตาร์กับปริมาณเศษกระจกทดแทน สอดคล้องกับผลวิจัยของ Sikora และคณะ [5] ที่มีการนำเศษแก้วโซดาสีน้ำตาลที่ได้จากการบดขวดแก้วมาใช้เป็นมวลรวมละเอียดในงานมอร์ตาร์มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมที่ใช้มวลรวมจากทรายธรรมชาติ สำหรับการศึกษานี้มอร์ตาร์ที่มีเศษกระจกทดแทนเป็นส่วนผสมร้อยละ 100 (0.71 วัตต์/เมตร-เคลวิน) มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม (2.28 วัตต์/เมตร-เคลวิน) ถึงร้อยละ 69 จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจที่จะนำเศษกระจกทดแทนมาประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตมอร์ตาร์และคอนกรีตที่มีสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนในงานก่อสร้าง

$$T = -0.1967G + 2.4952 \quad (1)$$

โดยที่ T คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/เมตร-เคลวิน)
 G คือ ร้อยละการแทนที่ด้วยเศษกระจกทดแทน



รูปที่ 8 การนำความร้อนของมอร์ตาร์

4. สรุปผล

จากการศึกษาคุณสมบัติของมอร์ตาร์ที่ใช้เศษกระจกทดแทนเป็นส่วนผสมพบว่าการใช้เศษกระจกทดแทนที่ทรายธรรมชาติไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการทำงานได้ กำลังรับแรงอัด ปริมาณโพรง การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และความเร็วคลื่นที่วิ่งผ่านก้อนตัวอย่างมอร์ตาร์ เนื่องจากการกระจายขนาดของเศษกระจกทดแทนที่ใกล้เคียงกับทรายธรรมชาติ ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าเศษกระจกทดแทนมีสมบัติเป็นฉนวนกั้นความร้อน ดังนั้นมอร์ตาร์ที่มีเศษกระจกทดแทนเป็นส่วนผสมในการศึกษาครั้งนี้จึงเหมาะที่นำไปประยุกต์ใช้เป็นวัสดุฉนวนกั้นความร้อนสำหรับงานโครงสร้างได้

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ทุนอัจฉริยภาพนักวิจัยรุ่นใหม่ (สัญญาเลขที่ N41A640107) และได้รับการสนับสนุนจากฝ่ายวิจัยและบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น และขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนทุนวิจัยในการจัดหาวัสดุและอุปกรณ์ในการทดสอบและศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กานต์ธิปภัก ฮามคำไพ, กิม เหนือคผล, พิชชา จงจิวัดสกุ และ เสวกชัย ตั้งอร่ามวงศ์. สมบัติทางกลของซีโอมอร์ตาร์คอนกรีตที่ใช้มวลรวมละเอียดรีไซเคิลจากเศษหินแกรนิต. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563, หน้า. 1-6.
- [2] Tamanna, N., Tuladhar, R., and Sivakugan, N. Performance of recycled waste glass sand as partial replacement of sand in concrete.

- Construction and Building Materials*, 2020, 239, pp. 117804.
- [3] ไทยรัฐออนไลน์. วิกฤติทรายขาดแคลนทั่วโลก กระทบการผลิต(ขวด)วัคซีนโควิด-19. วิกฤติทรายขาดแคลนทั่วโลก กระทบการผลิต(ขวด) วัคซีนโควิด-19, 2564 (thairath.co.th).[15 พ.ย. 2564]
- [4] Adesina, A., and Das, S. Mechanical performance of engineered cementitious composite incorporating glass as aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 260, pp. 121113.
- [5] Sikora, P. et al. Thermal Properties of Cement Mortars Containing Waste Glass Aggregate and Nanosilica. *Procedia Engineering*, 2017, 196, pp. 159–166.
- [6] อภินันท์ ศิริวัฒนกาญจน์. จีโอโพลิเมอร์คอนกรีตผสมมวลรวมจากเศษวัสดุระบอบอัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2562.
- [7] American Society for Testing and Materials. ASTM C33/C33M-13. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. USA: ASTM, 2016.
- [8] American Society for Testing and Materials. ASTM C128. *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. USA: ASTM, 2015.
- [9] American Society for Testing and Materials. ASTM C29. *Standard Test Method for Bulk Density ('Unit Weight') and Voids in Aggregate*. USA: ASTM, 2009.
- [10] American Society for Testing and Materials. ASTM C136/C136M: 2014. *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. USA: ASTM, 2014.
- [11] American Society for Testing and Materials. ASTM C109/C109M:2013. *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*. USA:ASTM, 2013.
- [12] American Society for Testing and Materials. ASTM C 305. *Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars*. USA: ASTM, 2015.
- [13] American Society for Testing and Materials. ASTM C1437. *Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar*. USA: ASTM, 2013.
- [14] American Society for Testing and Materials. ASTM C642. *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. USA: ASTM, 2013.
- [15] American Society for Testing and Materials. ASTM C1754/C1754M-12: 2021. *Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete*. USA: ASTM, 2021.
- [16] American Society for Testing and Materials. ASTM C597. *Standard Specification for Pulse Velocity Through Concrete*. USA: ASTM, 2009.
- [17] Wang, S., Peng, X., Tang, L., Cao, C. and Zeng, L. *Contact-hardening behavior of calcium silicate hydrate powders*. *Materials*, 2018, 11, PP. 1–17.
- [18] Estévez, E., Martín, D. A., Argiz, C., and Sanjuán, M. Á. *Ultrasonic pulse velocity compressive strength relationship for portland cement mortars cured at different conditions*. *Crystals*, 2020,10, pp. 133.
- [19] Hong, G., Oh, S., Choi, S., Chin, W. J., Kim, Y. J., and Song, C. *Correlation between the compressive strength and ultrasonic pulse velocity of cement mortars blended with silica fume: An analysis of microstructure and hydration kinetics*. *Materials (Basel)*, 2021,14, pp. 0–14.

