

Vữa nhẹ sử dụng cốt liệu cao su tái chế từ lốp xe và hạt vi cầu rỗng từ tro bay

Trần Đức Trung^{1*}

¹ Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

TỪ KHOÁ

Lốp xe phế thải

Cốt liệu cao su

Hạt vi cầu rỗng từ tro bay

Vữa nhẹ

Bề mặt hạt cao su

Phụ gia khoáng hoạt tính

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu, chế tạo vữa nhẹ trên cơ sở sử dụng cốt liệu cao su (CS) tái chế từ lốp xe và hạt vi cầu rỗng từ tro bay (CE), trong đó CS được xử lý bề mặt bằng cách ngâm với dung dịch NaOH nồng độ 20% trong 30 phút. Nghiên cứu cho thấy có thể sử dụng tỷ lệ về thể tích giữa CS và cát tự nhiên (CV) là 40:60 hoặc 50:50, hàm lượng CE sử dụng thay thế thể tích xi măng (XM) từ 10 ÷ 20%, lượng dùng XM là 450kg/m³, tỷ lệ N/CKD là 0,4 và phụ gia siêu dẻo (PGSD) để chế tạo vữa có khối lượng thể tích khô (KLTT) từ 1300 ÷ 1500kg/m³, cường độ nén ở tuổi 28 ngày lớn hơn 5MPa. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy KLTT, cường độ nén, cường độ uốn, cường độ bám dính, độ hút nước... của vữa phụ thuộc rất nhiều vào hàm lượng CS, CE và mô đun độ lớn của CS, nhưng hầu như không bị ảnh hưởng bởi phụ gia khoáng hoạt tính (PGK) sử dụng.

KEYWORDS

Recycled tyre

Rubber aggregate

Cenosphere

Lightweight mortar

Surface of rubber aggregate

Active mineral admixture

ABSTRACT

This study presents the lightweight mortar with recycled tyre rubber as aggregate and cenosphere. The surface of the rubber aggregate was treated by NaOH solution with a concentration of 20% for 30 minutes. The optimum mixture has a ratio of rubber aggregate to natural sand between 40:60 and 50:50 in volume, the amount of cenosphere replaced for cement volume in the range of 10 ÷ 20%, the cement content of 450 kg/m³, and a ratio of water to the binder of 0.4. Consequently, the mortar could approach the dry density of 1300 ÷ 1500kg/m³ and the compressive strength of over 5 MPa at the age of 28 days. Moreover, the properties of mortar, such as density, compressive strength, bending strength, adhesive strength, and absorption, were influenced significantly by the amount of rubber aggregate and cenosphere, as well as the fineness modulus of the aggregate. However, they were not affected by active mineral admixture.

1. Giới thiệu

Theo số liệu thống kê ở các nước công nghiệp phát triển, tốc độ sử dụng và thải bỏ các loại lốp xe ô tô trung bình là 1 chiếc/người/năm [[1]]. Theo Chang, N. B [[2]]; Jang, J. N và các cộng sự [[3]], trong vòng khoảng 10 năm tính từ đầu những năm 2000 trở lại đây, có khoảng 4 ÷ 6 tỉ chiếc lốp xe phế thải đã và đang được lưu tại nước Mỹ và các nước châu Âu. Do chúng chủ yếu không được lưu trữ đúng quy định nên tạo ra mối đe dọa không nhỏ đến môi trường sống và mối đe dọa ấy đang ngày càng tăng cao. Các kho dự trữ và các bãi rác chứa lốp xe phế thải chiếm không gian lớn, làm nơi sinh sống của côn trùng, đồng thời có nguy cơ gây cháy và gây ô nhiễm môi trường rất cao [[4], [5], [6]]. Ngày nay, lốp xe thường được xử lý bằng các quy trình nhiệt, được chôn lấp hoặc nghiền mịn để tái sử dụng [[7]]. Việc đốt lốp xe đòi hỏi kỹ thuật cao với quy trình nghiêm ngặt. Mặc dù vậy, một lượng lớn khí CO₂ và SO₂ độc hại được thải ra ngoài và hình thức xử lý này đã bị cấm tại EU [[8]]. Tại Úc, theo một báo cáo của cục Môi trường chỉ có 3 % lốp xe được tái chế và sử dụng trong công trình dân dụng, thấp hơn nhiều so với mức 9 ÷ 14 % tại các nước như Mỹ và châu Âu [[9]]. Để hạn chế ô nhiễm môi trường và các nguy cơ ảnh hưởng tới

sức khỏe con người gây ra bởi sự lưu giữ các loại lốp xe phế thải, hầu hết các nước công nghiệp phát triển đã ban hành và thực hiện các luật, quy định, hướng dẫn đối với vấn đề thu gom, vận chuyển, thải bỏ lốp xe một cách an toàn, hạn chế việc lưu giữ, đồng thời khuyến khích sử dụng các sản phẩm từ cao su tái chế [[1]].

Trong những năm gần đây ở Việt Nam, đặc biệt là các thành phố lớn như Hà Nội, Thành phố Hồ Chí Minh... nhu cầu đi lại của người dân và số lượng các phương tiện giao thông cơ giới (ô tô, xe máy...) gia tăng nhanh chóng. Theo Tổng cục đăng kiểm Việt Nam, số liệu thống kê cuối năm 2023 cho thấy lượng xe máy được đăng ký ở nước ta vào khoảng hơn 72 triệu chiếc, số lượng ô tô khoảng hơn 5 triệu chiếc và con số này vẫn tiếp tục tăng lên trong những năm tới. Đây là những thông số gián tiếp thể hiện nhu cầu sử dụng lốp xe mới cũng như lượng lốp xe phế thải hàng năm, tồn đọng tại các kho chứa, bãi thải trên địa bàn cả nước là rất lớn. Việc thu gom, lưu giữ, xử lý và thải bỏ các loại lốp xe này có nguy cơ tạo ra các tác động tiêu cực tới môi trường và sức khỏe con người. Các biện pháp xử lý hiện nay như đốt trong lò, đốt lộ thiên hoặc chôn lấp đều không giải quyết được căn bản vấn đề, số lượng xử lý còn hạn chế, đồng thời gây ô nhiễm môi trường nặng nề.

*Liên hệ tác giả: trungtd@huce.edu.vn

Nhận ngày 09/02/2024, sửa ngày 11/03/2024, chấp nhận đăng ngày 17/03/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2024.655>

Một số nghiên cứu trên thế giới đã đưa ra quy trình công nghệ nhằm tái sử dụng lớp xe phế thải làm cốt liệu cho vữa và bê tông, tuy nhiên các hạt cốt liệu này thường mang lại hiệu ứng tiêu cực đối với tính chất của vữa và bê tông. Theo Kamil, E. K và cộng sự [[10]], cao su tái chế sử dụng làm cốt liệu cho bê tông được nghiên cứu lần đầu tiên vào đầu thập niên 1990. Thời điểm đó, đây có thể được coi là ý tưởng sáng tạo, tuy nhiên kết quả cho thấy chất lượng của bê tông cao su thấp hơn khá nhiều so với bê tông sử dụng cốt liệu tự nhiên [[11], [12], [13], [14]] và điều này là không thích hợp cho các ứng dụng đối với bê tông chịu lực. Cụ thể, sử dụng cao su làm cốt liệu trong bê tông làm giảm hầu hết các tính chất của bê tông như: làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông [[15], [16], [17], [18]], giảm cường độ chịu nén [[14], [19], [20], [21]], giảm cường độ chịu kéo [[21]], giảm đáng kể độ mài mòn [[13], [22], [22]], giảm độ bền trong môi trường nước biển và nhiệt độ cao [[23]]. Đây là cơ sở để nhận định bê tông cốt liệu cao su không nên sử dụng trong các kết cấu chịu lực. Tuy nhiên, bê tông cốt liệu cao su cho thấy khả năng có thể phù hợp với những ứng dụng khác, tại các vị trí không yêu cầu cường độ cao cũng như các vị trí đặc biệt trong thiết kế. Tác giả Bisht, K. và cộng sự [[24]] đã nghiên cứu và kết luận có thể sử dụng cao su phế thải nghiền mịn để thay thế 4% cốt liệu mịn trong chế tạo bê tông. Mẫu bê tông có cường độ uốn, cường độ nén, khả năng chống mài mòn giảm không đáng kể so với mẫu bê tông đối chứng không sử dụng cao su. Mẫu bê tông này được tác giả kiến nghị sử dụng cho các kết cấu phi chịu lực. Theo Reschner, K. [[25]], để sử dụng cao su tái chế từ các loại lốp xe phế thải làm cốt liệu cho vữa hay bê tông thì yêu cầu đầu tiên là cần thực hiện gia công, nghiền và xử lý các loại lốp xe phế thải thành các mảnh vụn, hạt cao su có kích cỡ phù hợp.

Tác giả Tâm, M. N. và cộng sự [[26]] tại Viện Vật liệu xây dựng, tác giả Kháng, Đ. Q. và cộng sự [[27]] tại Viện Hoá học - Viện KHCN Việt Nam đã nghiên cứu công nghệ nhiệt phân cao su phế thải để thu hồi nhiên liệu lỏng. Tác giả Long, H. V. và các cộng sự [[28]] tại trường Đại học Xây dựng Hà Nội đã nghiên cứu sử dụng cốt liệu cao su tái chế từ lốp ô tô phế thải để chế tạo bê tông. Nghiên cứu này sử dụng hạt cao su đã qua gia công có kích thước 2,5 ÷ 5mm làm cốt liệu nhỏ và hạt có kích thước 5 ÷ 10mm làm cốt liệu lớn. Kết quả nghiên cứu cho thấy, ở các tỷ lệ thay thế 20%, 30% và 40% theo thể tích, cốt liệu cao su không tác động nhiều đến tính công tác nhưng ảnh hưởng khá lớn đến độ đồng nhất của hỗn hợp bê tông. Khi tăng hàm lượng hạt cao su thì cường độ của bê tông giảm. Ở tỷ lệ 10 % hạt cao su thay thế cốt liệu lớn làm suy giảm 30,3 % cường độ nén. Khi thay thế đến 50 % thể tích cốt liệu tự nhiên, cường độ nén bê tông giảm đến 72,7 %. Cấp hạt 5 ÷ 10mm có mức độ suy giảm cường độ bê tông lớn hơn cấp hạt 2,5 ÷ 5mm, tuy nhiên bê tông vẫn đảm bảo đạt mác 200, 300 trên cơ sở sử dụng cấp phối bê tông thông dụng mác 400. Đồng thời hạt cao su thay thế cốt liệu nhỏ có sự phân bố, khả năng bám dính với đá chất kết dính tốt hơn so với hạt cao su thay thế cốt liệu lớn. Tại trường Đại học Bách khoa Đà Nẵng, tác giả Châu, L.Đ. [[28]] đã nghiên cứu sử dụng hạt cao su nghiền từ lốp xe phế thải có kích thước từ 0,06 ÷ 2,36mm,

thay thế cốt liệu mịn được nghiền mịn từ 0 ÷ 2,5 % để cải thiện khả năng chịu biến dạng của bê tông nhựa.

Một trong những nguyên nhân làm giảm đáng kể cường độ của vữa và bê tông sử dụng cốt liệu cao su là do sự khác nhau về đặc tính bề mặt và sự liên kết với đá chất kết dính của cao su so với cốt liệu tự nhiên. Một số nghiên cứu trên thế giới đã đưa ra giải pháp cải thiện đặc tính bề mặt của hạt cao su, nhằm nâng cao tính bám dính và khả năng liên kết giữa hạt cao su và đá xi măng [[13], [22]]. Tác giả Segre, N. và cộng sự [[29]] đã nghiên cứu và khẳng định: mẫu bê tông sử dụng cốt liệu cao su được xử lý bề mặt bằng dung dịch NaOH mang lại hiệu quả cao nhất trong việc cải thiện khả năng chịu mài mòn, cường độ nén và cường độ uốn.

CE có đặc điểm và nguồn gốc tương tự như tro bay. Tuy nhiên, chúng có kích thước lớn hơn và nhẹ hơn so với tro bay. Việc sử dụng CE cùng với xi măng đã được chứng minh là giúp giảm đáng kể trọng lượng, độ dẫn nhiệt, dẫn điện, chống thấm và khả năng chống co ngót của bê tông [[30]]. Tác giả Likov và cộng sự [[31]] đã nghiên cứu và chỉ ra rằng, KLTT của vật liệu sử dụng kết hợp giữa XM và CE làm giảm 11 %, 13 % và 16 % tương ứng với hàm lượng CE thay thế XM là 10 %, 15 % và 20 %. Nghiên cứu của tác giả Hanif [[32]] cũng cho thấy KLTT của vật liệu giảm đáng kể khi hàm lượng CE sử dụng thay thế thể tích XM tới 30 %. Tác giả Souza và cộng sự [[33]] đã sử dụng CE để thay thế một phần và toàn bộ cốt liệu mịn trong bê tông cường độ cao. Các kết quả từ nghiên cứu cho thấy sử dụng CE tương ứng là 33 %, 67 % và 100 % cốt liệu tự nhiên dẫn đến giảm cường độ nén lần lượt là 9 %, 19 % và 32 %. Như vậy có thể thấy các nghiên cứu đều khẳng định sử dụng CE làm giảm đáng kể KLTT của vật liệu, điều này có được là do hạt CE có KLTT thấp hơn nhiều so với các loại vật liệu thông dụng khác như XM hay cốt liệu. Tác giả Jin và cộng sự [[34]] đã đưa ra khuyến nghị nên sử dụng tối thiểu 10 % CE theo thể tích của hỗn hợp để đạt được hiệu quả trong việc làm giảm KLTT của vật liệu.

Theo tiêu chuẩn TCVN 4314:2022, vữa nhẹ là vữa có khối lượng thể tích không lớn hơn 1500kg/m³, độ lưu động của vữa tươi xác định theo phương pháp bàn dần đối với vữa hoàn thiện có kích thước hạt cốt liệu lớn nhất không lớn hơn 2,5mm đạt từ 155 ÷ 185mm, cường độ nén gồm các mác từ M1,0 đến M30 [[35]].

Các nghiên cứu trên thế giới thường sử dụng CS làm cốt liệu để chế tạo bê tông nhẹ, bê tông cách âm, tiêu âm trong đó CS có thể được xử lý bề mặt bằng hoá chất hoặc kết hợp với hạt CE, tuy nhiên việc sử dụng CS cho vữa chưa phổ biến, chưa có nghiên cứu kết hợp đồng thời giữa CS được xử lý bề mặt và hạt CE. Bên cạnh đó việc kết hợp sử dụng thêm PGK có thể giúp cải thiện cường độ của vữa.

2. Nguyên vật liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu sử dụng

CS được nghiền từ lốp xe phế thải, tùy thuộc vào khoảng cách giữa hai quả nghiền và kích thước mắt sàng sẽ tạo ra CS có kích thước khác nhau. Để sử dụng cho vữa thì hạt CS có kích thước lớn hơn 5mm được sàng loại bỏ. Trong nghiên cứu sử dụng hai loại CS1 và CS2 có

mô đun độ lớn khác, cát tự nhiên (CV), CE. Ngoài ra còn sử dụng xi măng PC40 Bút Sơn (XM), phụ gia khoáng meta cao lanh (MK), silica fume (SF), xi lò cao (XLC), nước (N) và phụ gia siêu dẻo (PGSD).

Thành phần hoá, lượng mất khi nung (MKN) của XM, MK, SF, XLC, CE được thống kê tại Bảng 1. Các tính chất cơ lý của XM được thể hiện tại Bảng 2, của MK, SF, XLC và CE được thể hiện tại Bảng 3. Tính chất của XM thoả mãn theo yêu cầu của TCVN 2682-2020 [[36]], MK và SF thoả mãn theo TCVN 8827: 2020 [[37]] và XLC thoả mãn yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 4315:2007 [[38]]. Biểu đồ kích thước hạt XM, MK, SF, XLC và CE được xác định bằng thiết bị tán xạ lazer, thể hiện Hình 1. PGSD sử dụng có tên thương phẩm là PCE. Đây là loại PGSD

dạng bột màu trắng, có gốc polycarboxylate. N dùng trong nghiên cứu là nước máy, thỏa mãn theo tiêu chuẩn TCVN 4506: 2012 [[39]] đối với nước trộn vữa và bê tông. Để cải thiện cấu trúc bề mặt hạt, tăng khả năng liên kết giữa CS và đá XM, mẫu CS được rửa sạch, ngâm trong dung dịch 20 %NaOH với thời gian 30 phút, sau đó được vớt ra, rửa lại bằng nước sạch, sấy đều ở nhiệt độ 50 °C đến khối lượng không đổi trước khi sử dụng làm cốt liệu cho vữa.

CV được sử dụng phối hợp với hạt CS làm cốt liệu cho vữa. Các tính chất cơ lý của CV và CS được thể hiện tại Bảng 4, thành phần hạt được thể hiện tại Bảng 5. Hình dạng hạt của CV, CS1 và CS2 được thể hiện tại Hình 2, Hình 3 và Hình 4.

Bảng 1. Thành phần hoá của nguyên vật liệu sử dụng trong nghiên cứu.

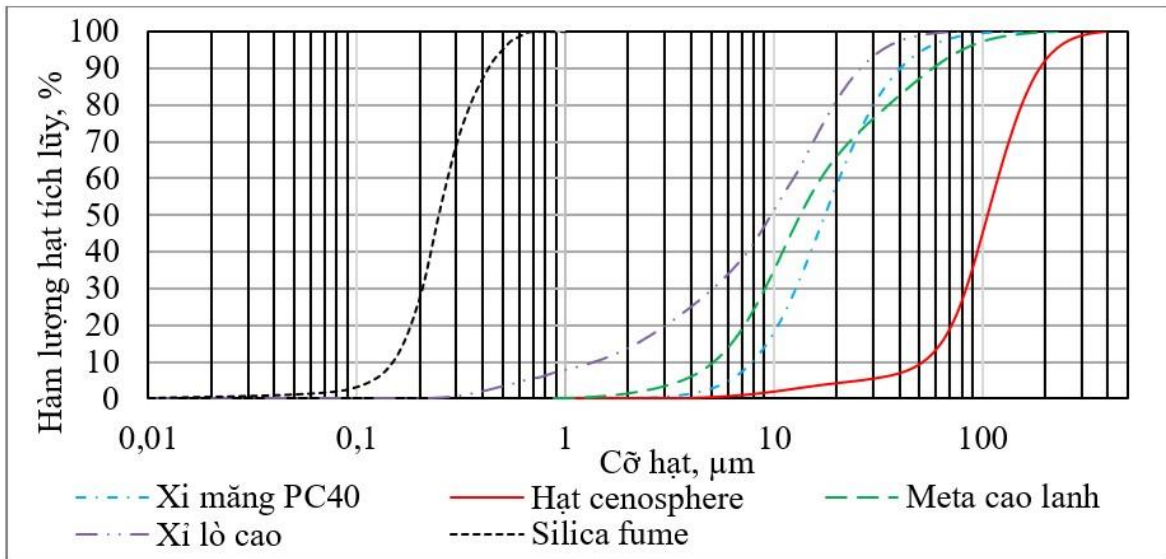
Nguyên vật liệu	Hàm lượng (%) các oxyt									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	SO ₃	MKN
XM	22,56	5,29	3,47	63,21	2,26	0,61	0,14	-	1,62	0,81
MK	54,92	40,88	1,74	0,23	0,47	0,41	0,05	-	0,28	0,87
SF	92,30	0,86	1,91	0,32	0,85	1,22	0,38	-	0,22	0,68
XLC	35,70	16,52	0,45	33,6	8,66	2,21	0,18	2,45	-	0,81
CE	59,62	27,13	2,47	0,31	2,06	5,61	0,64	-	-	0,51

Bảng 2. Tính chất cơ lý của xi măng.

Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	XM	Phương pháp thí nghiệm
Khối lượng riêng	g/cm ³	3,07	TCVN 4030:2003 [[40]]
Lượng sót sàng 90 µm	%	2,50	TCVN 4030:2003 [[40]]
Độ mịn Blaine	cm ² /g	3450	TCVN 4030:2003 [[40]]
Độ dẻo tiêu chuẩn.	%	29,0	TCVN 6017:2015 [[41]]
- Thời gian bắt đầu đông kết	Phút	130	TCVN 6017:2015 [[41]]
- Thời gian kết thúc đông kết	Phút	215	
Độ ổn định thể tích	mm	2,5	TCVN 6017:2015 [[41]]
Kích thước hạt trung bình	µm	17,52	Phương pháp lazer
- Cường độ nén ở tuổi 3 ngày	MPa	26,7	TCVN 6016:2011 [[42]]
- Cường độ nén ở tuổi 28 ngày	MPa	47,5	

Bảng 3. Tính chất cơ lý của PGK và CE.

Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	MK	SF	XLC	CE	Phương pháp thí nghiệm
Khối lượng riêng	g/cm ³	2,48	2,20	2,89	0,78	TCVN 4030:2003 [[40]] (riêng CE thay dầu bằng n-hexan)
Lượng sót sàng 45 µm	%	14,84	-	10,36	-	TCVN 4030:2003 [[40]]
Độ mịn Blaine	cm ² /g	4450	-	4580	-	TCVN 4030:2003 [[40]]
Kích thước hạt trung bình	µm	13,34	0,24	9,38	106,4	Phương pháp lazer
Chỉ số hoạt tính với XM	%	105	112	102	65,3	TCVN 8827:2020 [[37]] TCVN 4315:2007 [[38]]



Hình 1. Biểu đồ lượng hạt tích lũy.

Bảng 4. Tính chất cơ lý của CV và CS.

Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	CV	CS1	CS1	Phương pháp thí nghiệm [[43]]
Khối lượng riêng	g/cm ³	2,54	1,12	1,12	TCVN 7572-4:2006
Khối lượng thể tích hạt	g/cm ³	2,51	1,11	1,10	TCVN 7572-4:2006
Độ hút nước	%	1,42	0,57	0,64	TCVN 7572-4:2006
Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	1510	470	520	TCVN 7572-6:2006
Mô đun độ lớn	-	2,23	2,94	2,19	TCVN 7572-2:2006
Hàm lượng bụi bùn sét	%	0,27	-	-	TCVN 7572-8:2006

Bảng 5. Thành phần hạt của CV và CS.

Cỡ hạt (mm)	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.14
Lượng sót tích lũy (%) của CV	0	6,2	20,0	38,6	61,9	96,5
Lượng sót tích lũy (%) của CS1	0	9,6	38,5	63,6	82,9	99,4
Lượng sót tích lũy (%) của CS2	0	5,3	16,7	38,4	62,2	95,9



Hình 2. Hạt CV.



Hình 3. Hạt CS1.



Hình 4. Hạt CS2.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu đã sử dụng các phương pháp thí nghiệm tiêu chuẩn và phi tiêu chuẩn. Các phương pháp thí nghiệm dựa trên hệ thống tiêu chuẩn của Việt Nam gồm các thí nghiệm xác định các tính chất cơ lý của XM (TCVN 4030:2003 [[40]], TCVN 6017:2015 [[41]], TCVN 6016:2011 [[42]]), PGK, CE (TCVN 4030:2003 [[40]], TCVN 8827:2020 [[37]], TCVN 4315:2007 [[38]]), cốt liệu cho vữa CV, CE (TCVN 7572:2006 [[43]]), các tính chất cơ lý của vữa theo TCVN 3121:2022 [[44]]...Ngoài ra phương pháp thí nghiệm phi tiêu chuẩn được sử dụng để xác định sự phân bố kích thước hạt của XM, PGK (phương pháp tán xạ lazer), phương pháp chụp ảnh bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) để xác định cấu trúc của vữa. Hiện nay chưa có tiêu chuẩn thí nghiệm riêng đối với CS sử dụng cho vữa và bê tông, do đó nghiên cứu đã sử dụng tiêu chuẩn TCVN 7572:2006 đối với cốt liệu tự nhiên để thay thế.

Kết quả thí nghiệm cường độ nén, cường độ uốn được đúc trong khuôn hình lăng trụ có kích thước 40x40x160mm, được thí nghiệm ở

tuổi 7 ngày và 28 ngày. Kết quả thí nghiệm KLTT và cường độ bám dính được thí nghiệm ở tuổi 28 ngày.

3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

3.1. Thiết kế thành phần cấp phối vữa

Để nghiên cứu ảnh hưởng của hạt CS và CE sử dụng đến tính chất của vữa, nghiên cứu đã sử dụng 11 cấp phối được chia làm 2 nhóm: nhóm sử dụng hạt CS1 và nhóm sử dụng hạt CS2. Các cấp phối sử dụng hàm lượng XM là 450kg/m³, tỷ lệ về thể tích giữa CS:CV là 0:100; 40:60; 50:50, tỷ lệ N/CKD là 0,4 và hàm lượng CE sử dụng thay thế XM theo thể tích là 0 %; 10 %; 20 % và 40 %. Để nghiên cứu ảnh hưởng của PGK đến tính chất của vữa, nghiên cứu đã sử dụng 6 cấp phối, trong đó hàm lượng PGK sử dụng thay thế XM theo thể tích là 15 %. Do lượng nước sử dụng là cố định nên PGSD được sử dụng nhằm điều chỉnh độ chảy của hỗn hợp vữa đạt 155 ÷ 185 mm. Sử dụng phương pháp tính thể tích tuyệt đối sẽ tính được lượng dùng vật liệu cho 1m³ vữa. Kết quả được thống kê tại Bảng 6, Bảng 7 và Bảng 8.

Bảng 6. Cấp phối nghiên cứu ảnh hưởng của hạt CS

Ký hiệu	CS:CV	XM (Kg)	CV (kg)	CS1(kg)	CS2(kg)	N (lít)
CP1	0	450	1406	0	0	180
CP2-T	40	450	843	248	0	180
CP3-T	50	450	703	310	0	180
CP4-N	40	450	843	0	248	180
CP5-N	50	450	703	0	310	180

Bảng 7. Cấp phối nghiên cứu ảnh hưởng của hạt CE.

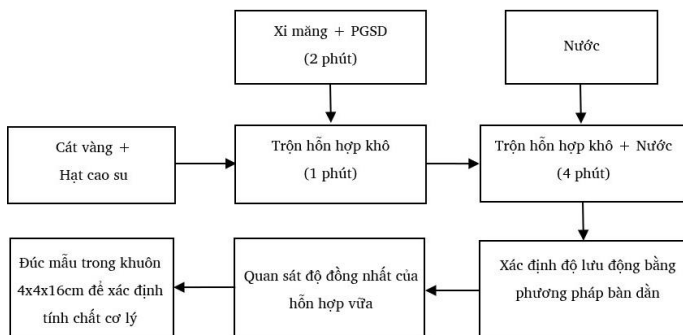
Ký hiệu	CS:CV	XM (Kg)	CE (kg)	CV (kg)	CS1(kg)	CS2(kg)	N (lít)
CP2-T	40	450	0	843	248	0	180
CP2-T10CE	40	405	11,5	843	248	0	180
CP2-T20CE	40	360	23,0	843	248	0	180
CP2-T40CE	40	270	46,0	843	248	0	180
CP4-N	40	450	0	843	0	248	180
CP4-N10CE	40	405	11,5	843	0	248	180
CP4-N20CE	40	360	23,0	843	0	248	180
CP4-N40CE	40	270	46,0	843	0	248	180

Bảng 8. Cấp phối nghiên cứu ảnh hưởng của PGK.

Ký hiệu	CS:CV	XM (Kg)	PGK(kg)	CV (kg)	CS1(kg)	CS2(kg)	N (lít)
CP2-T	40	450	0	843	248	0	180
CP2-T15MK	40	382	55	843	248	0	180
CP2-T15SF	40	382	48	843	248	0	180
CP2-T15XLC	40	382	64	843	248	0	180
CP4-N	40	450	0	843	0	248	180
CP4-N15MK	40	382	55	843	0	248	180
CP4-N15SF	40	382	48	843	0	248	180
CP4-N15XLC	40	382	64	843	0	248	180

3.2. Quy trình trộn và chế tạo mẫu

Do PGSD được sử dụng ở dạng bột khô nên sẽ được trộn đều với XM trước. Sử dụng máy trộn hành tinh để trộn hỗn hợp. Sau khi trộn, hỗn hợp vữa được thí nghiệm độ lưu động bằng bàn dần và độ đồng nhất bằng quan sát cảm quan. Độ lưu động của hỗn hợp vữa cần đảm bảo có độ chảy từ 155 ÷ 185 mm theo tiêu chuẩn TCVN 4314:2003 đối với vữa nhẹ, bên cạnh đó mẫu cần có độ đồng nhất tốt, không bị tách nước hoặc rời rạc, kém liên kết. Mẫu đạt độ lưu động và độ đồng nhất sẽ được tiến hành đúc mẫu để thí nghiệm các tính chất cơ lý như: cường độ nén, cường độ uốn, độ hút nước, khối lượng thể tích...trong khuôn 40x40x160 mm và đúc mẫu thí nghiệm độ bám dính. Quy trình trộn và chế tạo mẫu thể hiện tại Hình 5.



Hình 5. Quy trình chế tạo và thí nghiệm với hỗn hợp vữa.

3.3. Độ lưu động của hỗn hợp vữa

Kết quả nghiên cứu độ chảy của hỗn hợp vữa tại Bảng 9 cho thấy: với cùng lượng XM sử dụng là 450kg/m³, tỷ lệ N/CKD = 0,4 và độ chảy của hỗn hợp vữa như nhau thì với lượng dùng CS1 là 40 % sẽ làm giảm 25 % lượng dùng PGSD và khi lượng dùng CS1 tăng lên đến 50 % thì mức độ giảm PGSD là 12,5 % so với cấp phối sử dụng 100 % CV. Trong khi đó, sử dụng CS2 làm tăng rất lớn

lượng dùng PGSD so với cấp phối sử dụng 100 % CV, cụ thể khi CS2 sử dụng ở mức 40 % làm tăng 300 % và con số này là 375 %. Điều này có thể được lý giải là do CS có tính “kỵ nước” cao nên với hàm lượng CS1 sử dụng chưa quá lớn (40 %) sẽ làm tăng mật độ nước tự do trên bề mặt hạt (nhưng chưa đến mức làm cho hỗn hợp vữa bị tách nước) từ đó làm cho tính công tác của hỗn hợp tăng hay nói cách khác là lượng dùng PGSD giảm khi độ lưu động không thay đổi. Khi hàm lượng CS1 tăng lên 50 % sẽ làm giảm chiều dày lớp hồ bao bọc trên bề mặt CS1, làm tăng nội ma sát giữa các hạt làm giảm độ lưu động của hỗn hợp vữa, bằng chứng là lượng dùng PGSD tăng lên. Với CS2 có thể được lý giải là do chúng có tỷ diện tích bề mặt lớn hơn khá nhiều so với CS1. Do đó với cùng hàm lượng sử dụng thì CS1 có diện tích tiếp xúc giữa các hạt nhỏ hơn nhiều so với CS2 hay chúng cần lượng PGSD thấp hơn nhiều so với CS2 để đạt được cùng tính công tác.

Sử dụng CE làm tăng đáng kể lượng dùng PGSD so với cấp phối sử dụng 100 % XM đối với cả hạt CS1 và CS2 (Bảng 10). Cụ thể đối với hạt CS1, khi tăng lượng dùng CE thay thế thể tích XM từ 10 ÷ 40% cần tăng tương ứng hàm lượng PGSD từ 50 ÷ 150 %, đối với hạt CS2 con số này là 12,5 ÷ 50 %. Theo lý thuyết hạt CE có kích thước lớn hơn đáng kể so với XM, nên chúng có tỷ diện tích nhỏ hơn so với XM, mặt khác chúng lại có dạng hạt hình cầu nên khả năng tạo ra tính linh động cho hỗn hợp vữa nhờ hiệu ứng ổ bi sẽ tốt hơn so với XM, do đó với cùng tính công tác của hỗn hợp vữa thì chúng cần lượng dùng PGSD ít hơn. Kết quả nghiên cứu lại cho giá trị hoàn toàn ngược lại. Như vậy vấn đề được lý giải ở đây có thể là do CE có cấu trúc rỗng, trên bề mặt có thể có nhiều vết nứt, vỡ. Vì vậy nước và PGSD có thể sẽ bị hấp thụ một phần vào bên trong, làm giảm lượng nước và PGSD thực thể sử dụng cho quá trình bôi trơn bề mặt các hạt là yếu tố tạo tính linh động cho hỗn hợp vữa. Từ đó làm giảm tính công tác của hỗn hợp vữa.

Kết quả nghiên cứu tại Bảng 11 cho thấy: Đối với cả hạt CS1 và CS2 thì PGK làm thay đổi không nhiều lượng dùng PGSD, cụ thể MK làm tăng và XLC có xu hướng làm giảm lượng dùng PGSD, trong khi sử dụng SF hầu như không làm thay đổi lượng dùng PGSD.

Bảng 9. Ảnh hưởng của cốt liệu cao su đến lượng dùng PGSD.

Ký hiệu	CS:CV	XM (kg)	N (lít)	Độ lưu động (mm)	PGSD (%)
CP1	0	450	180	160	0,40
CP2-T	40	450	180	170	0,30
CP3-T	50	450	180	165	0,35
CP4-N	40	450	180	168	1,20
CP5-N	50	450	180	165	1,50

Bảng 10. Ảnh hưởng của hạt vi cầu rỗng đến lượng dùng PGSD.

Ký hiệu	CS:CV	XM (kg)	CE (kg)	N (lít)	Độ lưu động (mm)	PGSD (%)
CP2-T	40	450	0	180	170	0,30
CP2-T10CE	40	405	11,5	180	176	0,45
CP2-T20CE	40	360	23,0	180	164	0,50
CP2-T40CE	40	270	46,0	180	160	0,75
CP4-N	40	450	0	180	168	1,20
CP4-N10CE	40	405	11,5	180	155	1,35
CP4-N20CE	40	360	23,0	180	170	1,45
CP4-N40CE	40	270	46,0	180	158	1,80

Bảng 11. Ảnh hưởng của phụ gia khoáng đến lượng dùng PGSD.

Ký hiệu	CS:CV	XM (kg)	PGK (kg)	N (lít)	Độ lưu động (mm)	PGSD (%)
CP2-T	40	450	0	180	170	0,30
CP2-T15MK	40	382	55	180	160	0,35
CP2-T15SF	40	382	48	180	162	0,30
CP2-T15XLC	40	382	64	180	170	0,25
CP4-N	40	450	0	180	168	1,20
CP4-N15MK	40	382	55	180	155	1,40
CP4-N15SF	40	382	48	180	158	1,30
CP4-N15XLC	40	382	64	180	160	1,15

3.4. Cường độ nén và khối lượng thể tích

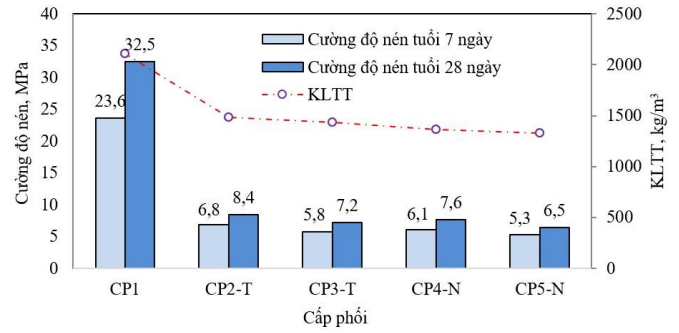
Kết quả nghiên cứu từ Hình 6 cho thấy: CS làm giảm rất mạnh cường độ nén của mẫu vữa cả ở tuổi 7 ngày và 28 ngày so với cấp phối sử dụng 100 % CV. Khi lượng CS tăng từ 40 ÷ 50 % làm giảm cường độ nén từ 13 ÷ 15 % tùy thuộc vào loại CS sử dụng. Hạt CS1 có xu hướng tạo ra cường độ nén của mẫu vữa cao hơn so với CS2 khi sử dụng cùng

hàm lượng vật liệu. Mức độ tăng đối với tuổi 7 ngày từ 8 ÷ 13 % và đối với tuổi 28 ngày từ 6 ÷ 12 %. Nghiên cứu còn cho thấy sử dụng CS làm giảm đáng kể khối lượng thể tích khô (KLTT) của mẫu vữa. Tất cả các cấp phối đều nghiên cứu đạt yêu cầu đối về KLTT với vữa nhẹ ($\leq 1500\text{kg/m}^3$). Kết quả có thể được lý giải là do CV có KLR lớn hơn khá nhiều so với CS, mặt khác CS có cấu trúc bề mặt hạt tương đối phẳng, nhẵn, tính kỵ nước cao nên có thể trong quá trình nhào trộn chúng sẽ

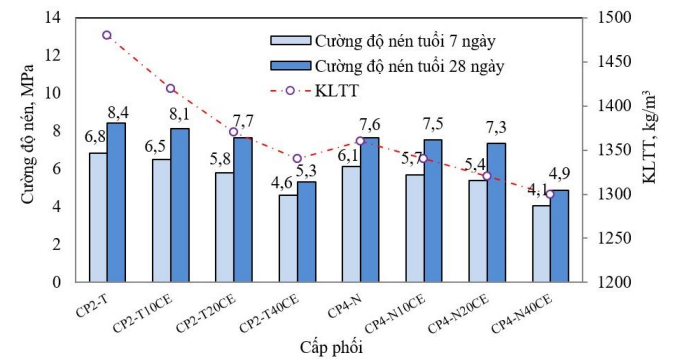
cuốn một lượng không khí vào trong hỗn hợp vữa cao hơn so với mẫu vữa sử dụng CV, mặt khác trong quá trình đầm chặt, tạo hình, CS có tính đàn hồi nên có thể làm cho hỗn hợp vữa khó được đầm chặt hơn so với hỗn hợp vữa sử dụng CV. Mẫu vữa sử dụng CS1 có KLTT lớn hơn 2 ÷ 8 % so với mẫu vữa sử dụng CS2. Với lượng dùng XM, CV, tỷ lệ N/CKD và KLR của 2 loại CS như nhau nên về mặt lý thuyết mẫu vữa phải có KLTT như nhau. Do đó kết quả nghiên cứu này có thể được lý giải là do CS có đặc tính cuốn khí, vì vậy với tỷ diện tích bề mặt của CS1 nhỏ hơn so với CS2 nên chúng có thể sẽ cuốn một hàm lượng khí vào bên trong hỗn hợp thấp hơn. Khi đóng rắn sẽ để lại lỗ rỗng trong mẫu vữa thấp hơn, từ đó làm cho KLTT mẫu vữa dùng hạt CS1 cao hơn so với hạt CS2. Điều này có thể được kiểm chứng thông qua thí nghiệm độ hút nước của vữa.

Sử dụng CE làm giảm cường độ nén của mẫu vữa ở cả tuổi 7 ngày và 28 ngày đối với cả hai loại CS1 và CS2. Mức độ giảm cường độ sẽ tăng lên khi tăng hàm lượng CE, đặc biệt tất cả các mẫu vữa sử dụng lượng CE đến 40 % đều có cường độ nén ở tuổi 28 ngày thấp hơn 5MPa (Hình 7). Điều này có thể được lý giải là do CE có hàm lượng các oxit hoạt tính thấp, chúng có kích thước hạt trung bình lớn hơn XM khá nhiều, vì vậy việc sử dụng chúng thay thế một phần XM sẽ làm giảm cường độ của đá XM, từ đó dẫn đến làm giảm cường độ của mẫu vữa. Kết quả nghiên cứu này hoàn toàn phù hợp với kết quả thí nghiệm chỉ số hoạt tính của CE với XM. Khi dùng lượng CE càng lớn (đến 40 %) thì chất lượng của chất kết dính giảm đi rõ rệt. Đây là nguyên nhân làm cho cường độ của mẫu vữa giảm mạnh. Mặt khác khi thay thế một phần thể tích XM bằng hạt CE thì KLTT của mẫu vữa giảm, hàm lượng thay thế càng lớn thì mức độ giảm KLTT càng nhiều. Điều này là hoàn toàn phù hợp do CE có KLR nhỏ hơn rất nhiều so với XM. Việc thay thế đến 20 %, thậm chí 40 % về thể tích là một lượng thay thế lớn, các hạt CE có kích thước khá lớn so với XM nên không có tác dụng cải thiện độ rỗng cho đá XM. Kết quả thí nghiệm còn cho thấy mức độ giảm KLTT khi sử dụng hạt CE đối với hạt CS1 là lớn hơn so với hạt CS2.

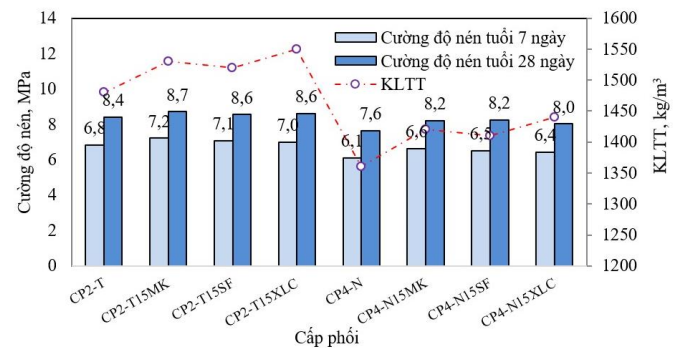
Nghiên cứu cũng cho thấy PGK làm tăng cường độ nén của vữa ở tuổi 7 ngày từ 3 ÷ 8 % và từ 2 ÷ 9 % ở tuổi 28 ngày đối với cả hai loại hạt CS1 và CS2 (Hình 8). Mức độ tăng này là không lớn so với mức độ tăng thông thường khi chúng được sử dụng trong vữa và bê tông dùng cốt liệu tự nhiên. Giữa các loại PGK cũng không có sự thay đổi đáng kể cường độ của mẫu vữa. Nguyên nhân có thể được lý giải là khi sử dụng những loại PGK này có thể làm tăng đáng kể cường độ của đá XM. Tuy nhiên việc tăng cường độ của đá XM không giúp nhiều cho việc tăng cường độ của mẫu vữa do cốt liệu cao su có cường độ thấp hơn nhiều so với đá XM, đây có thể được xem như cường độ “tới hạn” của hệ đá XM - CS - CV với hàm lượng CS, XM và tỷ lệ N/CKD định sẵn. Ngoài ra sử dụng PGK hoạt tính (MK, SF và XLC) làm tăng KLTT của mẫu vữa so với mẫu sử dụng 100 % XM. Điều này ngược lại so với lý thuyết vì khối lượng riêng (KLR) của XM lớn hơn KLR của PGK. Như vậy rõ ràng PGK đã được lấp vào trong hệ thống lỗ rỗng do cấu trúc của vữa để lại, làm tăng độ đặc chắc nhưng hầu như không làm thay đổi thể tích chung của hệ. PGK nào có KLR cao hơn sẽ làm tăng KLTT của mẫu vữa nhiều hơn.



Hình 6. Ảnh hưởng của CS đến cường độ nén và KLTT của vữa.



Hình 7. Ảnh hưởng của CE đến cường độ nén và KLTT của vữa.

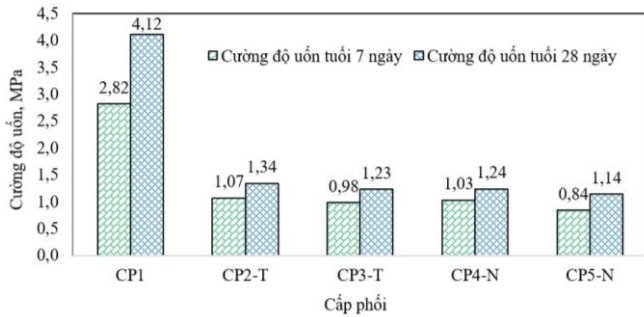


Hình 8. Ảnh hưởng của PGK đến cường độ nén và KLTT của vữa.

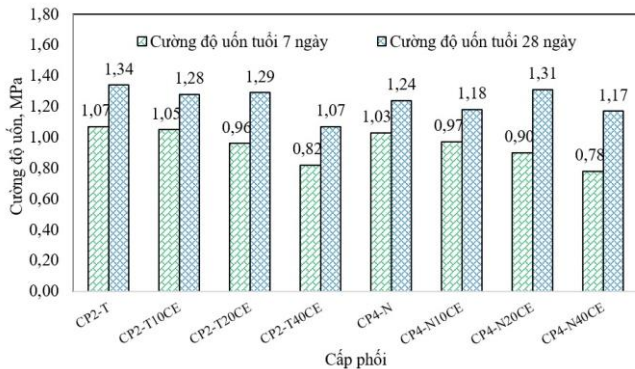
3.5. Cường độ uốn

Tương tự như cường độ nén, sử dụng CS làm giảm mạnh cường độ uốn cả ở tuổi 7 ngày và 28 ngày so với cấp phối sử dụng 100 % CV, tuy nhiên mức độ suy giảm thấp hơn so với mức độ suy giảm của cường độ nén. Kết quả nghiên cứu còn cho thấy, cường độ uốn ở tuổi 7 ngày so với tuổi 28 ngày với mẫu vữa sử dụng CS lớn hơn so với mẫu sử dụng 100 % CV, cụ thể với mẫu sử dụng 100 % CV thì cường độ uốn ở tuổi 7 ngày đạt 68 % so với cường độ uốn ở tuổi 28 ngày, tuy nhiên khi sử dụng CS tỷ lệ này đạt từ 74 ÷ 83 %. Mặt khác cường độ uốn của mẫu vữa sử dụng CS1 lớn hơn so với mẫu CS2 từ 4 ÷ 17 % tùy thuộc vào tuổi của vữa (Hình 9).

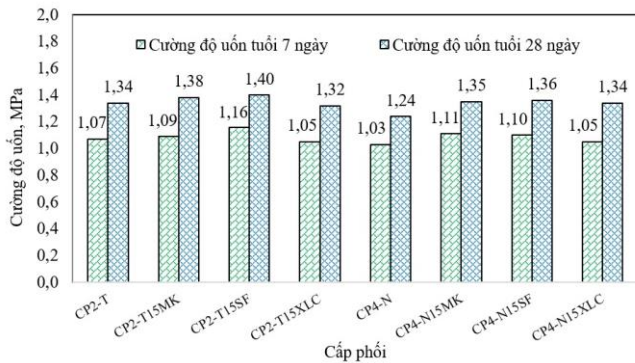
Sử dụng CE làm giảm cường độ uốn của mẫu vữa ở cả tuổi 7 ngày và 28 ngày đối với cả hai loại cốt liệu CS1 và CS2. Mức độ giảm cường độ uốn sẽ tăng lên khi tăng hàm lượng CE và lớn nhất khi lượng CE đến 40 % (Hình 10). Kết quả nghiên cứu tại Hình 11 cho thấy: Đối với cả hai loại hạt CS1 và CS2 thì PGK hầu như không làm thay đổi cường độ uốn của mẫu vữa ở cả tuổi 7 ngày và 28 ngày.



Hình 9. Ảnh hưởng của CS đến cường độ uốn của vữa.



Hình 10. Ảnh hưởng của CE đến cường độ uốn của vữa.



Hình 11. Ảnh hưởng của PGK đến cường độ uốn của vữa.

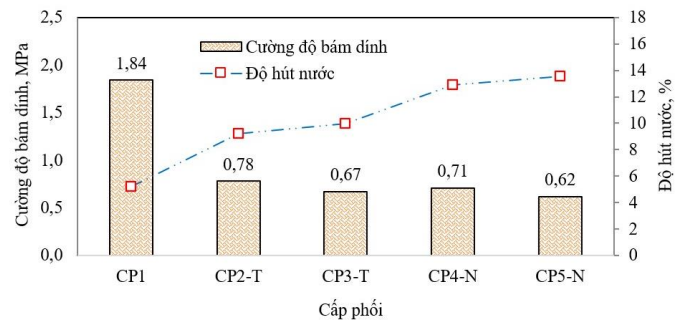
3.6. Cường độ bám dính và độ hút nước

Mẫu vữa sử dụng CS có độ hút nước lớn hơn đáng kể so với mẫu vữa sử dụng 100 % CV, trong khi độ hút nước của CS lại thấp hơn so với CV. Mức độ hút nước của mẫu vữa tăng lên khi tăng hàm lượng CS. Hạt CS1 có độ hút nước thấp hơn từ 1 ÷ 3 % so với hạt CS2. Điều

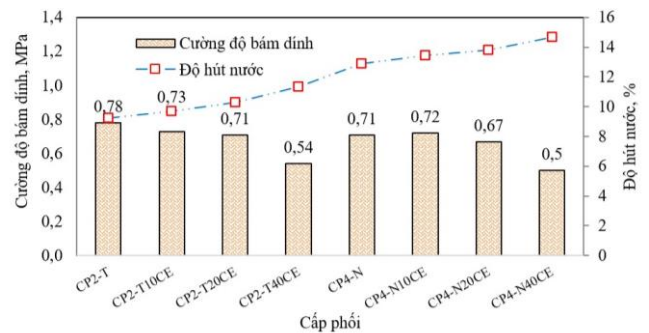
này có thể được lý giải do mức độ cuốn khí khi nhào trộn của CS lớn hơn đáng kể so với CV, của hạt CS1 nhỏ hơn so với hạt CS2. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu về KLTT. Bên cạnh đó mẫu vữa sử dụng CS có cường độ bám dính thấp hơn đáng kể so với mẫu vữa sử dụng 100 % CV. Cường độ bám dính của mẫu vữa giảm khi tăng hàm lượng CS. Hạt CS1 có cường độ bám dính cao hơn so với hạt CS2 (Hình 12). Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu khác đã được thực hiện (cường độ nén, cường độ uốn, độ hút nước, KLTT).

Tương tự đối với cường độ nén, sử dụng CE làm giảm cường độ bám dính của mẫu vữa. Mức độ giảm là không lớn khi sử dụng hàm lượng CE từ 10-20 % đối với cả CS1 và CS2. Tuy nhiên khi hàm lượng CE tăng lên đến 40 % thì cường độ bám dính giảm đến 31 % với CS1 và khoảng 29 % với CS2. Sử dụng CE làm tăng độ hút nước của mẫu vữa, giá trị độ hút nước càng tăng khi tăng hàm lượng CE. Điều này có thể được lý giải là do hạt CE có cấu trúc rỗng, trên bề mặt có thể có nhiều vết nứt, vỡ. Vì vậy khi nhào trộn, nước sẽ bị hấp thụ một phần vào bên trong, làm tăng độ hút nước của mẫu vữa. Đây có thể cũng là nguyên nhân làm cho cường độ bám dính của mẫu vữa giảm khi sử dụng CE so với mẫu 100 % XM (Hình 13).

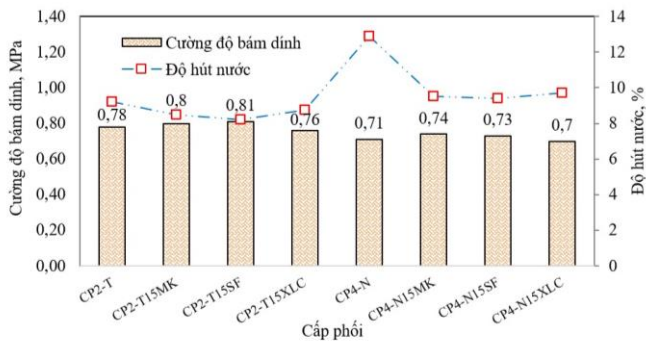
Cường độ bám dính của mẫu vữa với nền sử dụng PGK hầu như không có sự thay đổi đáng kể so với mẫu vữa sử dụng 100 % XM (Hình 14). Việc sử dụng PGK có tác dụng lấp đầy một phần hệ thống lỗ rỗng của mẫu vữa, làm tăng độ đặc chắc cấu trúc của vữa. Đây là nguyên nhân không những làm cho mẫu vữa có KLTT tăng lên mà còn làm giảm một phần độ hút nước của vữa.



Hình 12. Ảnh hưởng của CS đến cường độ bám dính và độ hút nước của vữa.



Hình 13. Ảnh hưởng của CE đến cường độ bám dính và độ hút nước của vữa.



Hình 14. Ảnh hưởng của PGK đến cường độ bầm dính và độ hút nước của vữa.

4. Kết luận

- Với lượng dùng XM = 450kg/m³, tỷ lệ N/CKD = 0.4, tỷ lệ CS:CV theo thể tích là 40:60 hoặc 50:50, hàm lượng CE sử dụng thay thế thể tích XM từ 0 ÷ 20 % và PGSD có thể chế tạo được mẫu vữa có độ lưu động và độ đồng nhất tốt, cường độ nén ở tuổi 28 ngày lớn hơn 5MPa và có KLTT từ 1300 ÷ 1500kg/m³.

- Cốt liệu CS làm giảm rất mạnh cường độ nén và cường độ uốn ở cả tuổi 7 ngày và 28 ngày, đồng thời làm giảm đáng kể cường độ bầm dính, giảm KLTT nhưng làm tăng độ hút nước của mẫu vữa so với cấp phối sử dụng 100 % CV. Mẫu vữa sử dụng CS1 có xu hướng tạo ra cường độ nén cao hơn từ 8 ÷ 13 % ở tuổi 7 ngày và từ 6 ÷ 12 % ở tuổi 28 ngày, độ hút thấp hơn từ 1 ÷ 3 %, KLTT lớn hơn 2 ÷ 8 %, cường độ bầm dính tăng không nhiều so với mẫu vữa sử dụng CS2.

- Hạt CE làm giảm cường độ nén ở tuổi 7 ngày từ 5 ÷ 34 %, tuổi 28 ngày từ 4 ÷ 37 %, giảm cường độ uốn ở tuổi 7 ngày từ 2 ÷ 24 %, tuổi 28 ngày từ 4 ÷ 21 % và giảm cường độ bầm dính từ 6 ÷ 31 % so với mẫu vữa sử dụng 100 % XM. Mức độ giảm phụ thuộc vào hàm lượng CE và mạnh nhất khi sử dụng CE đến 40 %. Tuy nhiên CE lại làm giảm KLTT, tăng độ hút nước của mẫu vữa.

- Sử dụng PGK cải thiện không đáng kể cường độ uốn và cường độ bầm dính của mẫu vữa, trong khi cường độ nén ở tuổi 7 ngày tăng từ 3 ÷ 8 %, ở tuổi 28 ngày tăng từ 2 ÷ 9 %. Bên cạnh đó PGK làm tăng KLTT và giảm độ hút nước của mẫu vữa, tuy nhiên mức độ thay đổi là không lớn.

Tài liệu tham khảo

[1]. Luong, N. D., Giang, H. M., Thanh, B. X. and Hung, N. T. (2013). Challenges for municipal solid waste management practices in Vietnam. *Waste Technology* Volume 1(1): pp 17-21. Doi: <http://dx.doi.org/10.12777/wastech.1.1.2013.17-21>

[2]. Chang, N. B. (2008). Economic and policy instrument analyses in support of the scrap tire recycling program in Taiwan. *Journal of Environmental Management*, Volume 86, Issue 3: Pages 435-450.

[3]. Jang, J. W., Yoo, T. S., Oh, J. H., Iwasaki, I. (1998). Discarded tire recycling practices in the United States, Japan and Korea. *Resources Conservation and Recycling*, Volume 22, Issue 1-2: Pages 1-14.

[4]. Bowles, A. J., Fowler, G. D., O'Sullivan, C., Parker, K. (2020). Sustainable rubber recycling from waste tyres by waterjet: A novel mechanistic and practical analysis. *Sustainable Materials and Technologies*, Volume 25, September 2020, e00173.

[5]. Nadal, M., Rovira, J., Díaz-Ferrero, J., Schuhmacher, M., Domingo, J. L. (2016). Human exposure to environmental pollutants after a tire landfill fire in Spain: Health risks. *Environment International*, Volume 97: Pages 37-44.

[6]. Sienkiewicz, M., Borzędowska-Labuda, K., Wojtkiewicz, A., Janik, H. (2017). Development of methods improving storage stability of bitumen modified with ground tire rubber: A review. *Fuel Processing Technology*, Volume 159, May 2017: Pages 272-279.

[7]. Arabiourrutia, M., Lopez, G., Artetxe, M., Alvarez, J., Bilbao, J., Olazar, M. (2020). Waste tyre valorization by catalytic pyrolysis - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 129, September 2020, 109932.

[8]. European Commission (2008). *Directive of the European Parliament and of the Council on Waste and Repealing Certain Directives. 2008/98/EC*; European Commission: Bruxelles, Belgium.

[9]. Houghton, N., Preski, K., Rockcliffe, N., Tsolakis, D. (2005). Economics of tyre recycling: final report. *Transportation Research Board, The National Academies of Sciences Engineering Medicine, Contract Report, Issue Number: RC3765: Pages 63P*.

[10]. Kaloush, K. E., Way, G. B., Zhu, H. (2005). Properties of Crumb Rubber Concrete. *Journal of the Transportation Research Board*, Volume 1914, Issue 1: Pages 8-14.

[11]. Khatib, Z. K., and Bayomy, F. (1999). Rubberized Portland Cement Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Volume. 11, No. 3: Pages 206-213.

[12]. Khaloo, A. R., Dehestani, M., Rahmatbadi, P. (2008). Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire-rubber particles. *Waste Management*, Volume 28: Pages 2472-2482.

[13]. Ling, T. C., Nor, H. M., Hainin, M. R., Chik, A. A. (2009). Laboratory performance of crumb rubber concrete block pavement. *International Journal of Pavement Engineering*, Volume 10, Issue 5: Pages 361-374.

[14]. Aiello, M. A., Leuzzi, F. (2010). Waste tyre rubberized concrete: properties at fresh and hardened state. *Waste Management*, Volume 30, Issues 8-9: Pages 1696-1704.

[15]. Cairns, R. A., Kew, H. Y., Kenny, M. J. (2004). The use of recycled rubber tyres in concrete construction, *Final Report. The Onyx Environmental Trust, University of Strathclyde, Glasgow*.

[16]. Albano, C., Camacho, N., Reyes, J., Feliu, J. L., Hernández, M. (2005). Influence of scrap rubber addition to Portland I concrete composites: Destructive and non-destructive testing. *Composite Structures*, Volume 71, Issues 3-4: Pages 439-446.

[17]. Bignozzi, M. C., Sandrolini, F. (2006). Tyre rubber waste recycling in self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, Volume 36: Pages 735-739.

[18]. Batayneh, M. K., Marie, I., Asi, I. (2008). Promoting the use of crumb rubber concrete in developing countries. *Waste Management* 28: Pages 2171-2176.

[19]. Ghaly, A., Cahill, J. D. (2005). Correlation of strength, rubber content, and water to cement ratio in rubberized concrete. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Volume 32: Pages 1075-1081.

[20]. Valadares, F. (2009). *Mechanical performance of structural concretes containing rubber waste from waste tires*. Master Dissertation in Civil Engineering, ISTUTL, Lisbon.

- [21]. Guneyisi, E., Gesoglu, M., Ozturan, T. (2004). Properties of rubberized concretes containing silica fume. *Cement and Concrete Research*, Volume 34: Pages 2309-2317.
- [22]. Sukontasukkul, P., Chaikaew, C. (2006). Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber. *Construction and Building Materials*, Volume 20, Issue Number 7: Pages 450-457.
- [23]. Topçu, I. B., Demir, A. (2007). Durability of rubberized mortar and concrete. *Journal Materials Civil Engineering*, Volume 19, No.2: Pages 910-1000.
- [24]. Bisht, K., Ramana, P. V. (2017). Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 155, 30 November 2017, Pages 811-817.
- [25]. Reschner, K. (2008). A Summary of Prevalent Disposal and Recycling Methods. *Scrap Tire Recycling*. Pages 1-16
- [26]. Tâm, M. N. (2008). *Nghiên cứu công nghệ tái chế cao su phế thải làm nhiên liệu lỏng*, Báo cáo tổng kết đề tài Viện Vật liệu xây dựng.
- [27]. Kháng, Đ. Q., Tâm, M. N., Hải, L. N. (2009). Nghiên cứu nhiệt phân cao su phế thải để thu hồi nhiên liệu lỏng, *Tạp chí Hoá học*, T.47 (6B), Trang 177-182
- [28]. Long, H. V., Lững, N. Đ., Thái, N. D., Tuân, N. K., Phạm Văn Quang, P. V. (2017). “Nghiên cứu chế tạo bê tông sử dụng cốt liệu cao su thay thế cốt liệu tự nhiên”, *Tạp chí xây dựng*, số 5.2017, Trang 81-84.
- [29]. Segre, N., Joekes, I. (2000). Use of tire rubber particles as addition to cement paste, *Cem Concr Res* Volum 30: Pages 1421-1425.
- [30]. Kolay, P. K., Singh, D. N. (2001). Physical, chemical, mineralogical, and thermal properties of cenospheres from an ash lagoon. *Cement and Concrete Research*, Volume 31, Issue 4, April 2001, Pages 539-542.
- [31]. Lilkov, V.; Djabarov, N.; Bechev, G.; Kolev, K. (1999). Properties and hydration products of lightweight and expansive cements Part I: Hydration products. *Cement Concrete Research*, Volume 29, Pages 1635–1640.
- [32]. Hanif, A., Lu, Z., Diao, S., Zeng, X. and Li, Z. (2017). Properties investigation of fiber reinforced cement-based composites incorporating cenosphere fillers. *Construction and Building Materials*, Volume. 140, Pages. 139-149.
- [33]. Souza, F. B., Montedo, O. R. K. (2020). Lightweight high-strength concrete with the use of waste cenosphere as fine aggregate. *Developments in the Built Environment* -Volume 4, November 2020, 100029.
- [34]. Jin, Q^a, Li, V. C^a. (2019). Development of lightweight engineered cementitious composite for durability enhancement of tall concrete wind towers. *Cement and Concrete Composites*, Volume 96, Pages 87-94.
- [35]. TCVN 4314:2022, *Vữa xây dựng - Yêu cầu kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [36]. TCVN 2682:2020, *Xi măng poóc lăng*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [37]. TCVN 8827: 2020, *Phụ gia khoáng hoạt tính cao dùng cho bê tông và vữa*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [38]. TCVN 4315:2007, *Xi hạt lò cao dùng để sản xuất xi măng*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [39]. TCVN 4506: 2012, *Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam
- [40]. TCVN 4030:2003, *Xi măng - Phương pháp xác định độ mịn*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam
- [41]. TCVN 6017:2015, *Xi măng - Phương pháp xác định thời gian đông kết và độ ổn định thể tích*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam
- [42]. TCVN 6016:2011, *Xi măng – Phương pháp thử - Xác định cường độ*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam
- [43]. TCVN 7572:2006, *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [44]. TCVN 3121:2022, *Vữa xây dựng - Phương pháp thử*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.