

Vữa khô tự chảy không co có cường độ nén trên 80 MPa sử dụng xỉ lò cao nghiền mịn

Non-shrink, self-flowing dry mortar with a compressive strength of over 80 MPa using fine blast furnace slag

Thái Khắc Chiến

Trường Đại học Giao thông vận tải

*Tác giả liên hệ: khacchien.thai@utc.edu.vn

Ngày nhận bài: 02/01/2024 ; Ngày chấp nhận đăng: 15/01/2024

Tóm tắt:

Vữa khô tự chảy không co ngày càng được sử dụng phổ biến tại Việt Nam để sửa chữa các kết cấu bê tông bị rỗng, hư hỏng hoặc chèn vào các khe hở kết cấu. Chế tạo vữa tự chảy không co cần sử dụng rất nhiều loại phụ gia khác nhau. Ngoài ra, việc phối hợp chúng để vừa đạt yêu cầu về mặt kỹ thuật, vừa đạt yêu cầu về mặt kinh tế là rất khó khăn. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu chế tạo vữa khô tự chảy không co sử dụng xỉ lò cao nghiền mịn có cường độ chịu nén sau 28 ngày trên 80 MPa. Các vật liệu đầu vào đều được lựa chọn ở dạng bột khô. Tỷ lệ nước/vữa là 0,13. Hàm lượng xỉ lò cao nghiền mịn sử dụng là 15%, 20%, 25% và phụ gia siêu dẻo polycarboxylat dạng bột với hàm lượng 0,23% so với chất kết dính. Lượng nước và phụ gia siêu dẻo phải được lựa chọn sao cho đảm bảo ổn định cho tính công tác của vữa khô trong thực tế. Kết quả thí nghiệm về độ chảy, cường độ nén, cường độ kéo uốn và co ngót cho thấy vữa tự chảy không co đạt yêu cầu của loại vữa khô đóng bao.

Từ khóa: Vữa khô; Xỉ lò cao; Không co ngót; Tự chảy; Cường độ cao.

Abstract:

Non-shrink self-flowing dry mortar is commonly used in Vietnam to repair hollow, damaged concrete structures, or fill structural gaps. The manufacturing of non-shrink self-flowing mortar requires the use of many different types of additives. In addition, it is difficult to combine them to meet both technical and economic requirements. This article presents the results of research on producing non-shrink self-flowing dry mortar using fine blast furnace slag with a compressive strength after 28 days of over 80MPa. The input materials were all selected in dry powder form. The water/mortar ratio was 0,13. The fine blast furnace slag contents used were 15%, 20%, and 25%, and the powdered polycarboxylate superplasticizer was used at a content of 0.23% compared to the binder. In practice, the amount of water and superplasticizer must be chosen to maintain stability for the workability of dry mortar. The experimental results on flow, compressive strength, flexural tensile strength, and shrinkage show that the non-shrink self-flowing dry mortar meets the requirements of packaged dry mortar.

Keywords: Dry mortar; Fine blast furnace slag; Non-shrink; Self-flowing; High strength.

1. Giới thiệu

Để nâng cao chất lượng và tránh sai sót trong quá trình thi công, vữa khô đóng bao ngày càng được sử dụng phổ biến tại Việt Nam. Ưu điểm của nó là chỉ có một thành phần và cần trộn với một

lượng nước thích hợp để sử dụng. Các loại vữa khô tự chảy có đặc tính cao với thành phần vật liệu rất phức tạp. Vữa khô đóng bao không yêu cầu cao kiến thức chuyên môn về vật liệu xây dựng trong quá trình sử dụng, tránh được khó

khăn khi trộn lẫn hoặc bảo quản nhiều thành phần riêng biệt, đặc biệt là hàm lượng phụ gia. Các loại vữa khô có đặc tính đặc biệt, như cường độ cao, nếu cần chống thấm hoặc tăng cường dính bám với bê tông cũ và khả năng chống nứt thì giá thành rất cao và thường không phổ biến trên thị trường. Việc sử dụng phổ biến các loại vữa đã được đề cập bởi một số tác giả trên thế giới [1], [2].

Nghiên cứu làm chủ công nghệ sản xuất các loại vữa khô đóng bao và tối ưu hóa việc sử dụng các thải phẩm công nghiệp giúp làm sạch môi trường là xu hướng của tương lai. Thành phần của vữa khô bao gồm các tỷ lệ hợp lý của cốt liệu nhỏ, xi măng, các loại bột trợ, phụ gia siêu dẻo giảm nước, phụ gia tăng dính bám, phụ gia nở chống co ngót, phụ gia tăng nhớt tránh tách nước phân tầng, phụ gia siêu mịn hoạt tính. Hàm lượng của các loại phụ gia trộn thêm rất nhỏ so với xi măng nhưng mang lại nhiều tính năng đặc biệt. Việc sử dụng sai hàm lượng phụ gia có thể tạo nên sự cố cho vữa như tách nước, phân tầng, co ngót, gỉ cốt thép [3]. Nhiều nghiên cứu cho thấy ảnh hưởng của chất kết dính phụ thêm [4]-[6] và ảnh hưởng của phụ gia hóa học [7], [8]. Vữa khô thiết kế với giá trị cường độ chịu nén mục tiêu là trên 80 MPa có sử dụng xi lò cao nghiên mịn. Hàm lượng xi lò cao được dùng lần lượt là 15%, 20% và 25% thay thế cho xi măng nhằm mục tiêu xác định ảnh hưởng của xi lò cao đến cường độ chịu nén và kéo uốn của vữa theo thời gian 1, 3, 7, 28 ngày tuổi. Hàm lượng phụ gia nở được dùng lần lượt là 2%, 4%, 6%, thay thế xi măng nhằm xác định ảnh hưởng đến sự thay đổi thể tích của vữa. Kết quả nghiên cứu là cấp phối vữa đạt cường độ chịu nén, tính công tác và có đặc tính co ngót thích hợp. Các thí nghiệm được tiến hành tại phòng thí nghiệm Vật liệu xây dựng thuộc Trường Đại học Giao thông vận tải.

2. Nghiên cứu thực nghiệm

2.1. Vật liệu chế tạo và thiết kế thành phần

Xi măng được sử dụng là xi măng Poóc lăng Bút Sơn PC50, có các chỉ tiêu kỹ thuật thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 2682:2020 [9]. Khối lượng

riêng $3,1\text{g/cm}^3$. Cường độ nén được xác định theo tiêu chuẩn của TCVN 6016:2011 [10]. Giá trị thí nghiệm sau 28 ngày đạt cường độ nén 55,8 MPa.

Xi lò cao nghiên mịn: Là xi Hòa Phát S95 có độ hoạt tính ở 28 ngày đạt 96%, khối lượng riêng $2,86\text{ g/cm}^3$, tỷ diện tích bề mặt trên $5000\text{ cm}^2/\text{g}$. Các yêu cầu kỹ thuật thỏa tiêu chuẩn TCVN 11586:2016 [11].

Phụ gia siêu dẻo: Là loại ở dạng bột có gốc Polycarboxylate (PCE) cải tiến có khả năng giảm nước cao, hàm lượng chất rắn $98\pm 1\%$, khối lượng thể tích $0,6\text{g/cm}^3$.

Phụ gia nở: Là loại CSA 20 thành phần chứa Canxi Sunphua Aluminat từ các thành phần đá vôi, thạch cao và quặng bô xít, có tác dụng bù co ngót cho vữa.

Phụ gia giữ nước (HPMC): Thành phần là Hydroxypropyl Methylcellulose có tác dụng giữ nước, tránh tách nước, phân tầng, làm tăng cường độ dính bám và cường độ chịu kéo cho vữa.

Nước: Được dùng theo nước sử dụng trong bê tông xi măng thường, đạt yêu cầu tiêu chuẩn TCVN 4506:2012 [11].

Phụ gia phá bọt AP488: Có tác dụng ngăn sự hình thành bọt khí và phá bọt đã hình thành trong vữa.

Cốt liệu nhỏ: Được sử dụng trong thí nghiệm là loại cát sông Đà, kích thước hạt lớn với mô đun $M_k = 2,76$. Khối lượng riêng $2,56\text{ g/cm}^3$. Cốt liệu được rửa sạch, phơi khô trước khi thí nghiệm và có cấp phối thỏa tiêu chuẩn ASTM C33 [13].

2.2. Hỗn hợp thí nghiệm

Thành phần vữa khô được tính toán theo phương pháp thể tích tuyệt đối, bỏ qua thể tích lỗ rỗng cuốn khí và lựa chọn tỷ lệ nước/xi măng dựa vào cường độ mục tiêu. Hàm lượng nước/vữa là 0,13 dựa vào kinh nghiệm và điều chỉnh trong phòng thí nghiệm, công thức thành phần vữa khô được trình bày tại Bảng 1. Trong đó, CP1 là cấp phối đối chứng sử dụng 100% xi măng; CP2, CP3,

CP4 là cấp phối sử dụng 15%, 20%, 25% xi lò cao nghiền mịn thay thế xi măng; CP5, CP6, CP7 là cấp phối sử dụng 15% xi và lần lượt thêm 2%, 4%, 6% phụ gia nở. Hàm lượng phụ gia siêu dẻo được chọn là 0,23% khối lượng xi măng. Hàm lượng HPMC là 0,03% khối lượng xi măng. Hàm lượng AP488 là 0,3% khối lượng xi măng. Các mẫu thử được tháo khuôn sau 24 giờ và bảo dưỡng ở điều kiện nhiệt độ $27\pm 1^{\circ}\text{C}$, độ ẩm tương

đối > 90% cho đến ngày thí nghiệm. Các mẫu thí nghiệm nén và uốn được thực nghiệm với kích thước $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ theo tiêu chuẩn TCVN 6016:2011 [10]. Mẫu sau khi trộn được tiến hành đo độ chảy Suttard. Thí nghiệm co ngót được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM C490 [14]. Các kết quả đo độ chảy, cường độ nén, cường độ kéo uốn và co ngót được trình bày ở mục 3.

Bảng 1. Thành phần cấp phối vữa.

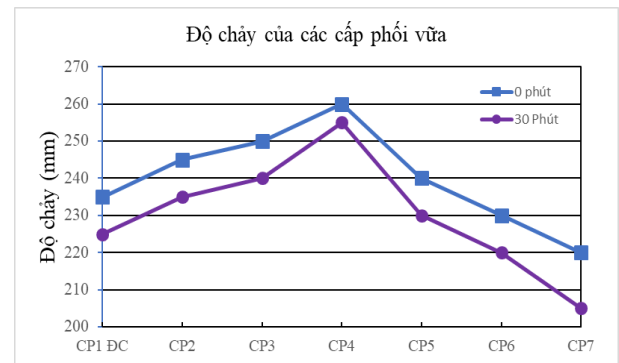
Vật liệu	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
	100% XM	15% Xi	20% Xi	25% Xi	15% Xi + 2% CSA	15% Xi + 4% CSA	15% Xi + 6% CSA
XM PC50 (kg)	730	621	584	548	606	591	577
Cát (kg)	1285	1285	1285	1285	1285	1285	1285
Xi S95 (kg)		110	146	182.5	110	110	110
Nước (kg)	263	263	263	263	263	263	263
CSA (kg)					14.6	29.2	43.8
PGSD (kg)	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83
HPMC (kg)	0.219	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
AP488 (kg)	2.190	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19

3. Kết quả thực nghiệm và thảo luận

3.1. Tính công tác

Dựa vào kết quả thí nghiệm cho thấy, độ chảy của các hỗn hợp tăng dần khi tăng hàm lượng xi lò cao và giảm dần khi tăng hàm lượng phụ gia nở. CP4 có độ chảy cao nhất ứng với hàm lượng xi lò cao nghiền mịn lớn nhất, CP2 và CP3 có hàm lượng xi lò cao và độ chảy thấp hơn. CP5, CP6, CP7 là ba cấp phối sử dụng phụ gia nở CSA đều có độ chảy giảm. Mức giảm lớn nhất là 12% ứng với CP7, sử dụng 6% phụ gia nở CSA. Điều này được giải thích bởi xi lò cao hấp thụ nước và phụ gia siêu dẻo ít hơn so với xi măng, phụ gia nở hấp thụ nhiều nước, phụ gia siêu dẻo hơn so với xi măng nên khi sử dụng chúng sẽ làm giảm hoặc tăng ma sát giữa các hạt rắn, từ đó, làm tăng hoặc giảm tính công tác của vữa. Kết quả này cũng tương tự như nghiên cứu [15]. Theo yêu cầu tại tiêu chuẩn TCVN 9204:2012 [16] về vữa tự chảy không co thì tất cả các cấp

phối đều đạt yêu cầu và có độ chảy lớn hơn 200 mm và độ chảy sau 30 phút đạt trên 180 mm.



Hình 1. Độ chảy theo khuôn Suttard.

3.2. Cường độ chịu nén

Cường độ chịu nén được xác định tại 1, 3, 7 và 28 ngày tuổi. Kết quả thí nghiệm cường độ nén trung bình tại các ngày tuổi khác nhau của những mẫu vữa được thể hiện tại Bảng 2. Ảnh hưởng của xi lò cao nghiền mịn đến cường độ chịu nén của vữa được biểu diễn qua Hình 2 và Hình 3. Khi thay thế hàm lượng xi lò cao lần lượt là 15%,

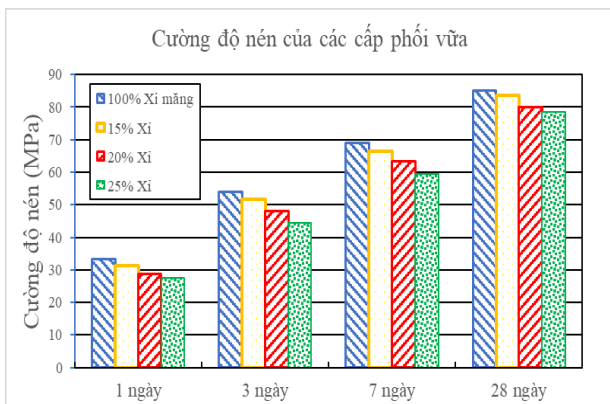
20% và 25%, cường độ của vữa giảm so với mẫu đối chứng tại tất cả các ngày tuổi. CP1 có 100% xi măng với cường độ chịu nén cao nhất là 85,2 MPa sau 28 ngày tuổi. Các cấp phối sử dụng 15%, 20% và 25% xỉ lò cao có cường độ nén lần lượt là 83,5, 80,1, 78,6 MPa. Mức giảm cường độ ở tuổi 28 ngày là 2,0% nhưng không đáng kể, khi dùng 15% xỉ lò cao, nếu tăng thành 25% xỉ lò cao thì mức giảm cường độ tương ứng là 7,8%. Tốc độ phát triển cường độ ở tuổi sớm (1, 3, 7 ngày) của các tổ mẫu đối chứng dùng 100% xi măng cao hơn so với các mẫu dùng xỉ lò cao. Tỷ số cường độ ở tuổi sớm/cường độ ở 28 ngày của mẫu đối chứng lần lượt là 0,39, 0,63 và 0,81, mẫu dùng 15% xỉ lò cao có tỷ lệ tương ứng là 0,37, 0,62 và 0,80, tỷ lệ này thấp hơn khi dùng

20% và 25% xỉ lò cao. Tuy nhiên, tốc độ phát triển cường độ của tất cả các tổ mẫu đều thỏa mãn yêu cầu của vữa khô trộn sẵn theo tiêu chuẩn TCVN 9204:2012 [16] với tỷ lệ bắt buộc là 0,35, 0,50 và 0,75.

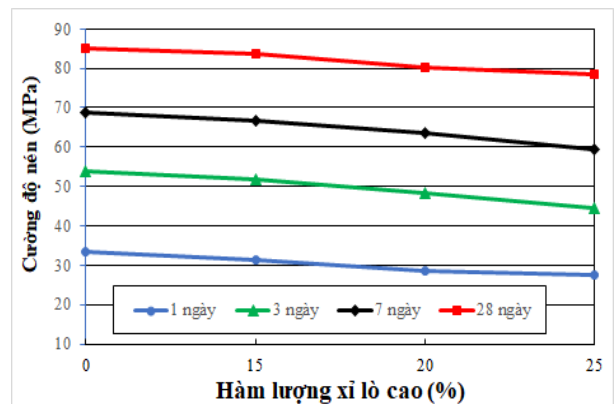
Phụ gia nở thêm vào 2%, 4%, 6%, nhằm mục tiêu hạn chế co ngót của vữa khô và ảnh hưởng đến cường độ nén. CP5, CP6 và CP7 được thêm vào phụ gia nở để so sánh với CP2 không sử dụng phụ gia nở. Ở tuổi 28 ngày tại mức 2%, 4% và 6%, phụ gia nở làm giảm cường độ nén, tuy nhiên, không đáng kể, với các giá trị giảm lần lượt là 1,3%, 2,1% và 3,4%. Phụ gia nở làm tăng cường độ sớm tại 1, 3 và 7 ngày tuổi. Tỷ số cường độ ở tuổi sớm/cường độ ở 28 ngày tuổi của mẫu 6% phụ gia nở lần lượt là 0,42, 0,65, 0,84. Các giá trị này cao hơn so với CP1 dùng 100% xi măng.

Bảng 2. Cường độ chịu nén trung bình.

Cấp phối	Cường độ chịu nén (MPa)			
	1 ngày	3 ngày	7 ngày	28 ngày
CP1	33,3	53,8	68,9	85,2
CP2	31,2	51,8	66,6	83,5
CP3	28,6	48,2	63,4	80,1
CP4	27,5	44,5	59,4	78,6
CP5	31,6	51,0	67,5	82,5
CP6	33,3	51,5	67,9	81,8
CP7	33,5	52,7	67,7	80,7



Hình 2. Cường độ chịu nén của vữa theo thời gian với hàm lượng xỉ khác nhau.



Hình 3. Ảnh hưởng của xỉ lò cao đến cường độ chịu nén của vữa.

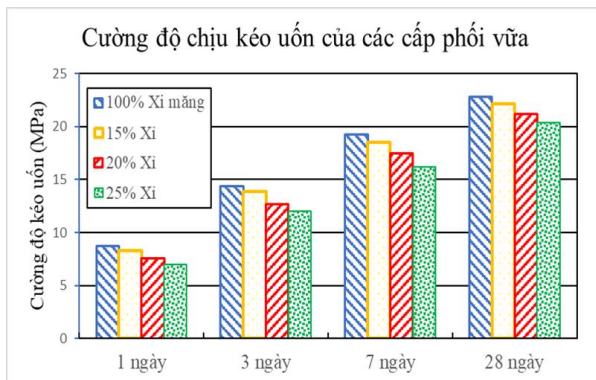
3.3. Cường độ chịu uốn

Kết quả thí nghiệm cường độ chịu kéo khi uốn được trình bày trong Bảng 3 và Hình 4. Cường độ chịu kéo giảm khi sử dụng xỉ lò cao thay thế xỉ măng. Mức giảm cường độ sau 28 ngày tuổi khi thay thế 15%, 20% và 25% xỉ lần lượt là 2,64%, 6,91% và 10,72%. Giá trị này lớn hơn so với kết quả ảnh hưởng của xỉ lò cao đến cường độ chịu nén. Tỷ số cường độ chịu kéo ở tuổi sớm/cường độ ở 28 ngày của mẫu 100%

xỉ măng là 0,38, 0,63 và 0,85, với mẫu dùng 15% xỉ là 0,37, 0,62 và 0,84. Có thể thấy rằng tốc độ phát triển cường độ chịu kéo ở tuổi 1 ngày chậm hơn tốc độ phát triển cường độ chịu nén nhưng nhanh hơn ở tuổi 7 ngày. Phụ gia nở làm giảm cường độ chịu kéo. Hàm lượng phụ gia nở sử dụng 2%, 4% và 6% có cường độ chịu kéo giảm 6,26%, 9,47% và 10,80%. Mức giảm này lớn hơn so với mức giảm của cường độ chịu nén.

Bảng 3. Cường độ chịu kéo uốn trung bình.

Cấp phối	Cường độ chịu kéo uốn (MPa)			
	1 ngày	3 ngày	7 ngày	28 ngày
CP1	8,7	14,4	19,3	22,8
CP2	8,3	13,9	18,5	22,2
CP3	7,6	12,7	17,5	21,2
CP4	7,0	12,0	16,2	20,3
CP5	7,6	12,8	17,7	20,8
CP6	7,3	12,3	17,0	20,1
CP7	7,6	12,5	17,2	19,8



Hình 4. Cường độ chịu kéo khi uốn của vữa với hàm lượng xỉ khác nhau.

3.4. Co ngót

Giá trị co ngót được tiến hành đo với các cấp phối có sử dụng phụ gia nở là CP5, CP6, CP7 và so sánh với CP1 là cấp phối sử dụng 100% xỉ măng (Bảng 4). Trong đó, ĐC2* là cấp phối đối chứng được đo giá trị co ngót trong cùng điều kiện thí nghiệm của một sản phẩm vữa khô có tính năng tương tự, rất phổ biến tại thị trường Việt Nam. Kết quả cho thấy, khi chưa sử dụng phụ gia nở, các giá trị co ngót đo được sau 28 ngày tuổi ở mức trên 600/1.000.000

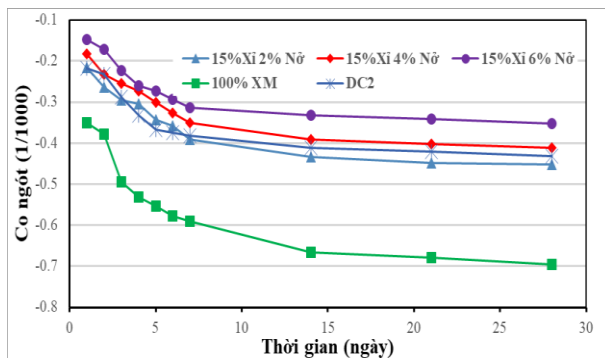
hay 0,6/1000 và có giá trị âm tức là mẫu bị co lại khi để khô tự nhiên trong không khí. Các mẫu được bảo dưỡng trong không khí có độ ẩm thấp (50%) theo tiêu chuẩn ASTM C490 [14] của Hoa Kỳ. Trong 7 ngày đầu tiên co ngót của tất cả các tổ mẫu đều tăng nhanh và đạt khoảng 80% so với giá trị co ngót sau 28 ngày. Điều này chỉ ra rằng, cần thiết phải bảo dưỡng ẩm 7 ngày đầu tiên kể từ khi đổ ván khuôn nhằm hạn chế được phần lớn co ngót khô trong giai đoạn đầu. Phụ gia nở có tác dụng giảm mạnh co ngót của vữa tự chảy. Khi chưa có phụ gia nở, co ngót sau 28 ngày của cấp phối CP1 đạt -0,695/1000, co ngót của cấp phối chứa 2%, 4% và 6% phụ gia nở lần lượt là -0,452/1000, -0,412/1000 và -0,353/1000. Giá trị co ngót giảm lần lượt là 35,0%, 40,7%, 49,2% so với mẫu đối chứng. Cần chú ý phụ gia nở có tác dụng mạnh ở những ngày đầu do phản ứng của các khoáng vật alumin phản ứng rất nhanh. Mức độ giảm co ngót chưa xét đến hiệu quả do phụ gia nở trong 24 giờ đầu tiên

trước khi mẫu được tháo khuôn. Vì quy trình đo co ngót chỉ xác định kể từ sau khi tháo khuôn nên co ngót tổng có thể nhỏ hơn giá trị

thí nghiệm. CP5 và CP6 có giá trị co ngót tương tự như ĐC2*, có thể thấy tiềm năng của sản phẩm nghiên cứu này.

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm co ngót của vữa.

Ngày	Co ngót tổng của các mẫu vữa theo thời gian (1/1000)				
	CP1	ĐC2*	CP5	CP6	CP7
1	-0,351	-0,218	-0,216	-0,183	-0,148
2	-0,379	-0,232	-0,264	-0,233	-0,172
3	-0,494	-0,288	-0,296	-0,254	-0,224
4	-0,531	-0,333	-0,304	-0,273	-0,26
5	-0,553	-0,368	-0,344	-0,3	-0,274
6	-0,578	-0,375	-0,358	-0,326	-0,293
7	-0,591	-0,382	-0,392	-0,351	-0,314
14	-0,666	-0,411	-0,433	-0,391	-0,333
21	-0,679	-0,421	-0,448	-0,402	-0,342
28	-0,695	-0,431	-0,452	-0,412	-0,353



Hình 5. Co ngót tổng của các mẫu vữa.

4. Kết luận và kiến nghị

Vữa khô tự chảy không co có cường độ cao là sản phẩm phức tạp vì nó sử dụng nhiều thành phần vật liệu khác nhau. Trong đó, yêu cầu khắc khe không chỉ về cấp phối cốt liệu, hàm lượng các loại phụ gia sử dụng và tính tương thích của chúng. Nghiên cứu này đã đưa ra thành phần vữa khô phù hợp có sử dụng xỉ lò cao nghiền mịn và kết hợp với phụ gia nở để đảm bảo tính không co ngót, đồng thời giảm lượng xi măng sử dụng. Vữa khô của các cấp phối CP5, CP6 và CP7 sau khi chế tạo đạt được độ chảy 220 – 240 mm, cường độ chịu nén đạt trên 80 MPa, cường độ chịu kéo khoảng 20 MPa, tốc độ phát triển cường độ theo thời gian thể hiện qua tỷ lệ cường độ

sớm/cường độ 28 ngày và giá trị co ngót phù hợp. Đặc biệt là hai cấp phối CP6 và CP7 có giá trị co ngót thấp. Trong các nghiên cứu tiếp theo, có thể xem xét đến tối ưu hóa hai cấp phối này nhằm mục tiêu cải thiện cường độ nén và độ chảy trên cơ sở bổ sung thêm muối silic và tăng hàm lượng phụ gia siêu dẻo.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải trong đề tài mã số T2023-XD-KDN-005.

Tài liệu tham khảo

- [1] F. Ascione, M. Lamberti, A. Napoli, and R. Realfonzo, “Experimental bond behavior of steel reinforced grout systems for strengthening concrete elements,” *Constr Build Mater.*, vol. 232, Jan. 2020, Art. no. 117105, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117105.
- [2] M. J. Shannag, “High-performance cementitious grouts for structural repair”, *Cem Concr Res.*, vol. 32, no. 5, pp. 803-808, May 2002, doi:10.1016/S0008-8846(02)00710-X.

- [3] D. J. Kim, G. J. Park, H. V. Le, and D. Moon, "Fresh and hardened properties of steel fiber-reinforced grouts containing ground granulated blast-furnace slag," *Constr. Build. Mater.*, vol. 122, pp. 332-342, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.005.
- [4] M. Vasumithran, K. B. Anand, and D. Sathyan, "Effects of fillers on the properties of cement grouts," *Constr. Build. Mater.*, vol. 246, Jun. 2020, Art. no. 118346, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118346
- [5] S. Zhang, W. -G. Qiao, P. -C. Chen, and K. Xi, "Rheological and mechanical properties of microfine-cement-based grouts mixed with microfine fly ash, colloidal nanosilica and superplasticizer", *Constr. Build. Mater.*, vol. 212, pp. 10-18, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.314
- [6] Y. Kim, Y. -S. Chu, S.- K. Seo, and J. J. Kim, "The non-shrinkage grout to use ground fly ash as admixture", *J. Ceram. Process. Res.*, vol. 19, no. 6, pp. 509-513, 2018. [Online]. Available: [http://pdf.hanrimwon.com/journal.aspx?journal_code=JCPR&journal_vol=019&journal_issue=06&pdf_file=12.%202018-158\(509-513\).pdf&kinds=JOU](http://pdf.hanrimwon.com/journal.aspx?journal_code=JCPR&journal_vol=019&journal_issue=06&pdf_file=12.%202018-158(509-513).pdf&kinds=JOU).
- [7] P. Zhan and Z. He, "Application of shrinkage reducing admixture in concrete: A review," *Constr. Build. Mater.*, vol. 201, pp. 676-690, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.12.209
- [8] G. Zhang, D. Qiu, S. Wang, and P. Wang, "Effects of plastic expansive agent on the fluidity, mechanical strength, dimensional stability and hydration of high performance cementitious grouts," *Constr. Build. Mater.*, vol. 243, May 2020, Art. no. 118204, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118204.
- [9] *Xi măng Poóc lãng*, TCVN 2682:2020, Bộ KHCN, HN, VN, 2020.
- [10] *Xi măng - Phương pháp thử - Xác định độ bền*, TCVN 6016:2011, Bộ KHCN, HN, VN, 2011.
- [11] *Xi hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa*, TCVN 11586:2016, Bộ KHCN, HN, VN, 2016.
- [12] *Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*, TCVN 4506:2012, Bộ KHCN, HN, VN, 2012.
- [13] *Standard specification for concrete aggregates*, ASTM C33/C33M-18, ASTM Int., 2018.
- [14] *Standard practice for use of apparatus for the determination of length change of hardened cement paste, mortar, and concrete*, ASTM C490-07, ASTM Int., 2007.
- [15] H. Al-Baijat, M. Sarireh, "The use of fine blast furnace slag in improvement of properties of concrete," *Open J. Civ. Eng.*, vol. 9, no. 2, pp. 95-105, Jun. 2019, doi: 10.4236/ojce.2019.92007.
- [16] *Vữa xi măng khô trộn sẵn không co*, TCVN 9204:2012, Bộ KHCN, HN, VN, 2012.