

Nghiên cứu ảnh hưởng của phụ gia siêu dẻo đến tính chất của vữa Geopolyme sử dụng tro bay và xỉ lò cao

Lê Thanh Hà^{1*}, Đặng Thùy Chi¹, Nguyễn Thị Thu Thủy¹

¹ Trường Đại học Giao thông vận tải

TỪ KHOẢ

Phụ gia siêu dẻo
Tính công tác
Cường độ nén
Cường độ uốn
Vữa Geopolyme

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của hai loại phụ gia siêu dẻo (PGSD) đến tính chất của vữa Geopolyme sử dụng tro bay và xỉ lò cao. Vữa Geopolyme được chế tạo từ Natri metasilicate, tro bay, xỉ lò cao nghiền mịn, cát sông, nước và hai loại PGSD. Kết quả cho thấy mỗi loại phụ gia siêu dẻo có mức độ ảnh hưởng khác nhau đến tính chất của vữa Geopolyme, tuy nhiên không khác biệt nhiều. Việc tăng lượng dùng PGSD giúp cải thiện tính công tác của vữa Geopolyme, đồng thời làm giảm cường độ nén và kéo uốn ở tuổi sớm (3,7 ngày) nhưng ảnh hưởng không đáng kể ở tuổi 28 ngày. Vữa Geopolyme có cường độ nén và kéo uốn thấp hơn so với vữa xi măng PCB40. Ngoài ra, ảnh hưởng của PGSD đến tính chất của vữa xi măng hiệu quả hơn so với vữa Geopolyme.

KEYWORDS

Superplasticizer
Workability
Compressive Strength
Flexural Strength
Geopolymer Mortar

ABSTRACT

The paper investigates the influence of two types of superplasticizers (SP) on the properties of Geopolymer mortar made with fly ash and ground granulated blast furnace slag (GGBFS). The Geopolymer mortar was produced using sodium metasilicate, fly ash, GGBFS, river sand, water, and two types of SP. The results indicate that each superplasticizer has a different level of impact on the properties of the Geopolymer mortar, but the differences are not significant. Increasing the amount of SP enhances the workability of Geopolymer mortar while reducing compressive strength and flexural strength at early ages (3 and 7 days), with little effect at 28 days. The compressive and flexural strength of Geopolymer mortar are lower than that of PCB40 cement mortar. Additionally, the influence of SP on the properties of cement mortar is more effective compared to Geopolymer mortar.

1. Giới thiệu

Bê tông Geopolyme là một vật liệu bê tông đang ngày càng trở thành xu hướng. Chất kết dính Geopolyme được coi là một vật liệu thay thế cho xi măng Poocăng truyền thống. Trong bê tông xi măng thông thường, xi măng đóng vai trò là chất kết dính chính, giúp gắn kết các cốt liệu với nhau. Ước tính, quá trình sản xuất xi măng thải ra một tấn CO₂ cho mỗi tấn xi măng được sản xuất [1, 2]. Trên toàn cầu, ngành công nghiệp xi măng được ghi nhận là thải ra gần 7 % tổng lượng khí thải CO₂ vào khí quyển [3]. Năm 2014, lượng xi măng tiêu thụ trên thế giới là 3,7 tỷ tấn và tăng lên 4,7 tỷ tấn vào năm 2020, với tỷ lệ tăng trưởng hàng năm khoảng 4 % [4, 5]. Nguyên liệu thô cần thiết để sản xuất xi măng là tài nguyên không tái tạo và đang bị cạn kiệt với tốc độ nhanh chóng. Đồng thời, nhiều loại chất thải công nghiệp và nông nghiệp có tính chất giống xi măng vẫn tồn tại với số lượng nhiều nhưng thường bị bỏ bỏ trên các vùng đất có giá trị sử dụng [6]. Nhiều nỗ lực đã được thực hiện để sử dụng vật liệu thay thế cho xi măng Poocăng. Bê tông Geopolyme, như một vật liệu thay thế cho bê tông xi măng thông thường, đã được nghiên cứu từ vài thập kỷ trước và gần đây trở

nên phổ biến như một vật liệu xây dựng. Bê tông Geopolyme được làm từ các vật liệu thải công nghiệp (tro bay, xỉ lò cao hạt, silicafume và tro trấu) với sự hỗ trợ của dung dịch hoạt hóa kiềm (Alkaline Activator Solution - AAS). Dung dịch hoạt hóa đóng vai trò quan trọng trong quá trình polymer hóa. Việc lựa chọn nguồn vật liệu aluminosilicate dựa trên chi phí và ứng dụng cụ thể [6].



Hình 1. Cơ chế và Quá trình Geopolyme [7].

*Liên hệ tác giả: halethanh@utc.edu.vn

Nhận ngày 06/02/2025, sửa xong ngày 21/02/2025, chấp nhận đăng ngày 24/02/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2025.837>

Nỗ lực sản xuất bê tông Geopolyme với phương pháp bảo dưỡng ở điều kiện môi trường tự nhiên (nhiệt độ thường) được đánh giá là kinh tế hơn so với các phương pháp bảo dưỡng khác, như bảo dưỡng nhiệt độ cao. Việc bổ sung xi lò cao nghiền mịn (XLC) đã mang lại kết quả tốt hơn trong điều kiện bảo dưỡng tự nhiên. Hadi và cộng sự đã chỉ ra rằng bê tông Geopolyme chứa 100% XLC đạt được cường độ sớm cao hơn. Thời gian đông kết kéo dài và cường độ nén giảm một phần do bổ sung các vật liệu phụ gia như tro bay (FA), metakaolin (MK) và silicafume (SF) [8]. Omer và cộng sự đã nghiên cứu mối quan hệ giữa cường độ nén và vận tốc sóng siêu âm (UPV) của vữa Geopolyme sử dụng XLC trong điều kiện bảo dưỡng nhiệt. Kết quả thí nghiệm cho thấy tính chất cường độ tăng lên khi hàm lượng natri silicate tăng. Tuy nhiên, cường độ bị giảm khi nhiệt độ tăng [9]. Venkatesan và Pazhani đã kiểm tra các tính chất về cường độ và độ bền của bê tông Geopolyme chứa XLC và tro trấu đen. Kết quả cho thấy độ thấm nước giảm khoảng 47 % khi sử dụng 10 % tro trấu và giảm 43 % khi sử dụng 20 % tro trấu so với hỗn hợp đối chứng. Ngoài ra, hỗn hợp chứa 10 % tro trấu còn cho thấy khả năng chống thấm ion chloride tốt [6].

Trong nghiên cứu này, vữa Geopolyme được chế tạo từ Natri metasilicate, tro bay, xi lò cao, cát sông, nước và hai loại PGSD. Ảnh hưởng của hai loại PGSD này đến tính công tác, cường độ nén, cường độ kéo uốn của vữa Geopolyme được nghiên cứu. Cường độ của vữa Geopolyme được thí nghiệm ở tuổi 3,7 và 28 ngày. Vữa xi măng PCB40 cũng được chế tạo để nghiên cứu so sánh các tính chất với vữa Geopolyme.

2. Nguyên vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên vật liệu

Bảng 1. Thành phần hoá và đặc tính kỹ thuật của xi măng PCB40, XLC và Tro bay.

Thành phần hóa (%)	PCB40	XLC	TB
SiO ₂	21,29	35,88	59,5
Al ₂ O ₃	5,72	12,99	24,48
Fe ₂ O ₃	3,30	-	5,74
CaO	63,18	38,13	0,84
MgO	1,10	7,50	1,60
Na ₂ O	0,12	0,23	0,17
K ₂ O	0,30	0,78	3,17
L.O.I	0,193	1,00	2,62
Khối lượng riêng (g/cm ³)	3,10	2,83	2,26
Kích thước hạt trung bình(μm)	16,12	0,29	16,39
Tỷ diện tích Blaine SSA[BET-SSA] (m ² /g)	0,369	[0,52]	[2,14]

L.O.I: Loss on ignition

Các nguyên liệu được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm: tro bay (TB) loại F, xi lò cao nghiền mịn (XLC), chất hoạt hóa Natri

metasilicate, cát vàng sông Lô, và hai loại phụ gia siêu dẻo: Sika ViscoCrete 3000-20M (PGA) và Sika ViscoCrete-8565 (PGB). Xi măng PCB40 Vissai cũng được sử dụng để so sánh.

2.1.1. Phụ gia siêu dẻo

Hai loại phụ gia siêu dẻo được sử dụng: Sika ViscoCrete 3000-20M (PGA) phù hợp với tiêu chuẩn ASTM C 494 loại G và Sika ViscoCrete-8565 (PGB) phù hợp với tiêu chuẩn ASTM C494 loại F.

2.1.2. Xi lò cao nghiền mịn

Xi lò cao nghiền mịn cấp S95 của nhà máy Hòa Phát - Hải Dương được sử dụng trong nghiên cứu này. Xi lò cao nghiền mịn có khối lượng riêng 2,83 g/cm³ và diện tích bề mặt riêng 5200 cm²/g, phù hợp với các yêu cầu của TCVN 11586-2016. Thành phần hóa và đặc tính kỹ thuật được trình bày trong Bảng 1.

2.1.3. Tro bay

Tro bay được sử dụng trong nghiên cứu có nguồn gốc từ nhà máy nhiệt điện Phả Lại, có thành phần hóa học đáp ứng yêu cầu của tro bay loại F theo tiêu chuẩn TCVN 10302-2014, với khối lượng riêng 2,26 g/cm³. Thành phần hóa và đặc tính kỹ thuật được trình bày trong Bảng 1.

2.1.4. Chất hoạt hóa

Chất hoạt hóa (CHH) được sử dụng là chất hoạt hóa dạng bột khô, trong đó thành phần hóa học chính là muối silicat natri kết tinh rắn (Na₂O.SiO₂.nH₂O). Chất hoạt hóa ở dạng khô được trộn trực tiếp với tro bay và xi lò cao, giúp quá trình chế tạo vữa, bê tông Geopolyme trở nên đơn giản và an toàn, tương tự như chế tạo vữa, bê tông xi măng thông thường. Ngoài ra, chất hoạt hóa khô còn có ưu điểm là dễ hòa tan trong nước, tỏa nhiệt, giúp nâng cao hiệu suất phản ứng trùng hợp, cải thiện cường độ của vữa, bê tông.



Hình 2. Xi lò cao nghiền mịn S95 (a) và tro bay (b).

2.1.5. Xi măng

Xi măng Vissai PCB40 được sử dụng để so sánh với Geopolyme, đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 6260:2020. Thành phần hóa và đặc tính kỹ thuật được trình bày trong Bảng 1.

2.1.6. Nước

Nước được sử dụng để chế tạo vữa Geopolyme là nước sinh hoạt từ nhà máy nước Hà Nội, đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 4506:2012 về nước trộn vữa và bê tông.

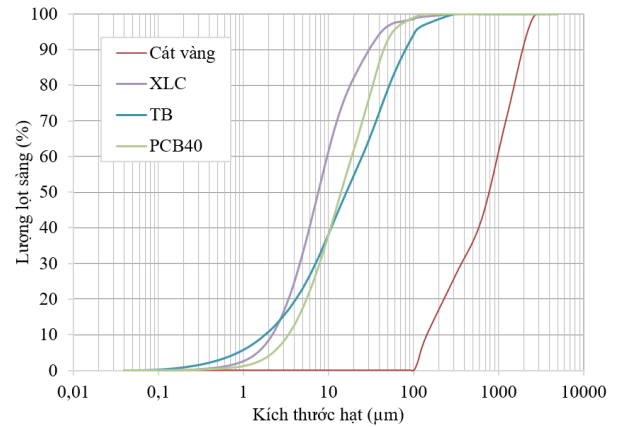
2.1.7. Cốt liệu

Bảng 2. Tính chất kỹ thuật của cốt liệu sử dụng.

Chỉ tiêu kỹ thuật	Giá trị	Phương pháp thí nghiệm
Khối lượng riêng (g/cm ³)	2,65	TCVN 7572-4:2006
Độ hút nước (%)	2,0	TCVN 7572-4:2006
Khối lượng thể tích (kg/m ³)	1440	TCVN 7572-6:2006
Mô đun độ lớn	2,6	TCVN 7572-2:2006

Cốt liệu sử dụng trong nghiên cứu là cát vàng sông Lô có kích thước hạt < 5 mm. Sau khi được thu thập, cát được sấy khô, sàng để

loại bỏ các hạt lớn hơn 5 mm và bảo quản trong túi kín chống ẩm. Một số tính chất của loại cát này được trình bày trong Bảng 2.



Hình 3. Thành phần hạt của xi măng PCB40, XLC, tro bay và cát vàng.

2.2. Thành phần cấp phối vữa Geopolyme

Thành phần cấp phối của vữa Geopolyme được thiết kế dựa trên cơ sở cấp phối dùng để xác định cường độ xi măng theo quy định trong TCVN 6016:2011. Thành phần cấp phối của vữa Geopolyme và vữa xi măng được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Thành phần cấp phối vữa Geopolyme.

Cấp phối	CHH (kg)	TB (kg)	XLC (kg)	PGSD (kg)	Cát (kg)	Nước (kg)
GEO.PG0.00	67,5	229,5	153	0	1350	225
GEO.PG0.50	67,5	229,5	153	2,25	1350	225
GEO.PG1.00	67,5	229,5	153	4,5	1350	225
GEO.PG1.50	67,5	229,5	153	6,75	1350	225
XM.PG0.00	67,5	229,5	153	0	1350	225
XM.PG1.00	67,5	229,5	153	4,5	1350	225

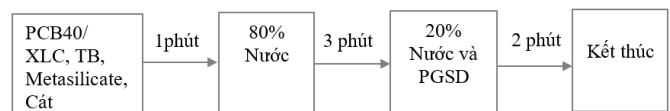
2.3. Phương pháp nghiên cứu

Tính công tác của vữa Geopolyme được đánh giá thông qua độ xòe xác định theo phương pháp bàn dần theo TCVN 3121-3:2003.

Cường độ nén và kéo uốn được xác định theo TCVN 3121-11:2003: Xác định cường độ uốn và nén của vữa đã đóng rắn. Các tổ hợp mẫu có kích thước 160x40x40 mm được bảo dưỡng đến 3, 7 và 28 ngày để thí nghiệm xác định cường độ chịu uốn và chịu nén. Mẫu thử sau khi đúc xong cần để gọn vào nơi khô ráo tránh sự tiếp xúc trực tiếp của ánh nắng mặt trời nhằm tránh hiện tượng co ngót cục bộ do mất nước. Các tổ mẫu bảo dưỡng chuẩn sẽ được đậy kín bằng tấm nhựa tránh mất nước. Mẫu được tháo khuôn sau 24h kể từ khi đúc.

Quy trình trộn: Vật liệu sau khi được cân đong đủ khối lượng cho 1 mẻ trộn thì tiến hành trộn. Máy trộn được sử dụng là máy trộn

vữa cường bức. Sau khi hỗn hợp hạt rắn (cát vàng, XLC, tro bay, natri metasilicate) được nhào trộn sơ bộ, nước và PGSD được bổ sung và trộn theo quy trình dưới đây.



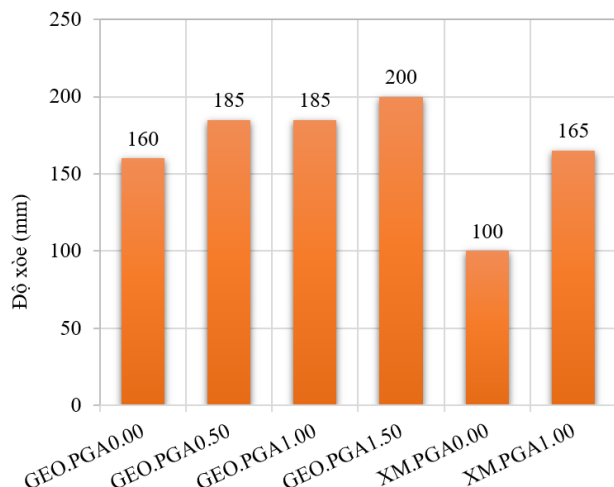
Hình 4. Quy trình trộn hỗn hợp vữa Geopolyme.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Ảnh hưởng của phụ gia siêu dẻo đến tính công tác của vữa Geopolyme

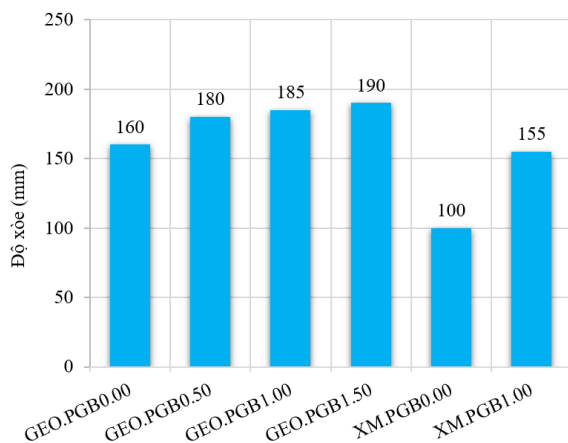
Phụ gia siêu dẻo có ảnh hưởng đến tính công tác của vữa Geopolyme. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của phụ gia Sika ViscoCrete

3000-20M (PGA) đến độ chảy xê của vữa GEO và vữa xi măng được thể hiện trong Hình 5.



Hình 5. Ảnh hưởng của PGA đến độ chảy xê của hỗn hợp vữa GEO và vữa XM.

Kết quả cho thấy khi hàm lượng PGA tăng, độ chảy xê của vữa GEO và vữa xi măng cũng tăng. Hiệu quả của PGA làm tăng độ chảy xê của vữa XM lớn hơn so với độ chảy xê của vữa GEO.



Hình 6. Ảnh hưởng của PGB đến độ chảy xê của hỗn hợp vữa GEO và vữa XM.

Ảnh hưởng của phụ gia Sika ViscoCrete-8565 (PGB) đến độ chảy xê của vữa GEO và vữa XM được thể hiện trong Hình 6. Có thể thấy, khi tăng lượng dùng PGB tăng cũng làm tăng độ chảy xê của vữa GEO và vữa XM. Ảnh hưởng của PGB đến tính công tác của vữa xi măng hiệu quả hơn so với vữa GEO. Kết quả này cũng tương tự như ảnh hưởng của PGA ở trên. Cả hai loại phụ gia PGA (loại G) và PGB (loại F) đều là Phụ gia siêu dẻo thế hệ thứ 3 gốc Polycarboxylate (PCE) có cùng mức độ giảm nước mạnh khoảng 30-40 % nên cho hiệu quả giảm nước tương tự nhau. Ngoài ra, cả hai loại phụ gia này đều ảnh hưởng lên

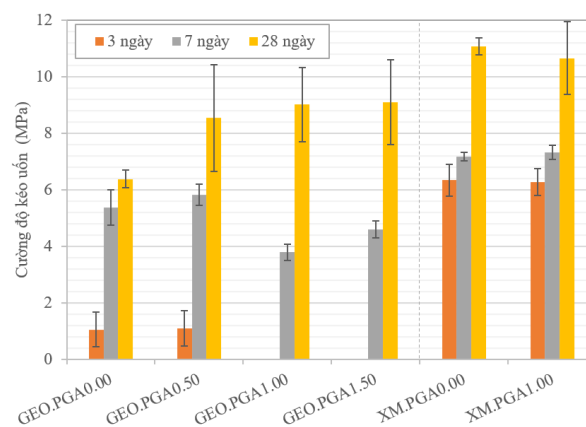
tính công tác của vữa xi măng hiệu quả hơn so với vữa GEO có thể do sự khác biệt về một số vấn đề liên quan đến cơ chế hóa học của PCE tác động lên vữa xi măng bằng cách phân tán các hạt xi măng, giảm lực hút tĩnh điện giữa chúng từ đó làm tăng độ linh động, các phản ứng thủy hóa xảy ra từ từ, cho phép phụ gia siêu dẻo duy trì độ linh động trong thời gian dài. Đối với vữa GEO do chất kết dính gốc aluminosilicate hoạt hóa bởi dung dịch kiềm, phụ gia siêu dẻo có thể không tương thích tốt với môi trường kiềm mạnh, dẫn đến hiệu quả giảm ma sát giữa các hạt không cao như trong môi trường bê tông xi măng, sự tạo Gel aluminosilicate xảy ra nhanh hơn trong một số trường hợp, làm giảm khả năng duy trì độ linh động [6, 10].

3.2. Ảnh hưởng của phụ gia siêu dẻo đến cường độ kéo uốn của vữa Geopolymer

Ảnh hưởng của hàm lượng PGA đến cường độ kéo uốn của vữa GEO và vữa XM được thể hiện trong Bảng 4 và Hình 7.

Bảng 4. Cường độ kéo uốn (MPa) của vữa GEO và vữa XM sử dụng PGA.

Cấp phối	3 ngày	7 ngày	28 ngày
GEO.PGA0.00	1,1	5,4	6,4
GEO.PGA0.50	1,1	5,8	8,5
GEO.PGA1.00	0,0	3,8	9,0
GEO.PGA1.50	0,0	4,6	9,1
XM.PGA0.00	6,3	7,2	11,1
XM.PGA1.00	6,3	7,3	10,7



Hình 7. Cường độ kéo uốn của vữa GEO và vữa XM sử dụng PGA.

Kết quả cho thấy, khi tăng hàm lượng PGA, cường độ kéo uốn của vữa GEO giảm ở tuổi sớm (3 và 7 ngày), tuy nhiên, có xu hướng làm cường độ kéo uốn tăng ở tuổi 28 ngày. Cụ thể, cường độ kéo uốn của mẫu GEO.PGA0.00 ở 3 ngày là 1,1 MPa giảm còn 0 MPa cho các mẫu vữa GEO khác có hàm lượng PGA tăng dần từ 1,0-1,5 %. Tương tự như vậy, ở 7 ngày tuổi cường độ kéo uốn giảm từ 5,4 MPa xuống còn 3,8 MPa và 4,6MPa. Tuy nhiên, ở tuổi 28 ngày thì cường độ kéo uốn lại tăng từ 6,4MPa lên 8,5MPa; 9,0MPa; 9,1MPa tương ứng.

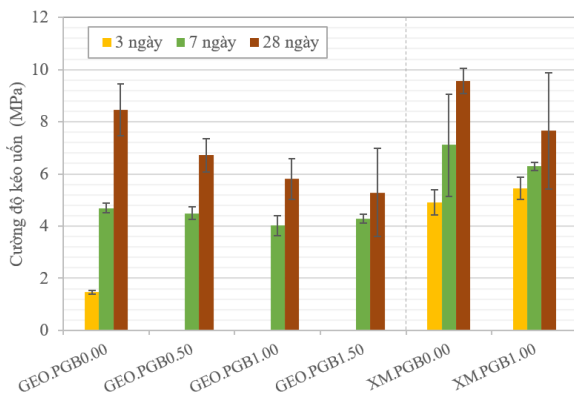
Cường độ kéo uốn của vữa GEO tương đương với vữa XM. Việc

sử dụng PGA không làm ảnh hưởng đến cường độ kéo uốn của vữa XM. Cụ thể, mẫu vữa XM đối chứng XM.PGA0.00 có cường độ kéo uốn ở tuổi 3,7,28 ngày lần lượt là 6,3MPa; 7,2MPa; 11,1MPa không thay đổi nhiều so với mẫu vữa XM.PGA1.00 có cường độ kéo uốn ở 3,7,28 ngày lần lượt là 6,3MPa; 7,3MPa; 10,7MPa.

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của PGB đến cường độ kéo uốn của vữa GEO và vữa XM được trình bày trong Bảng 5 và trên Hình 8.

Bảng 5. Cường độ kéo uốn (MPa) của vữa GEO và vữa XM sử dụng PGB.

Cấp phối	3 ngày	7 ngày	28 ngày
GEO.PGB0.00	1,5	4,7	8,5
GEO.PGB0.50	0,0	4,5	6,7
GEO.PGB1.00	0,0	4,0	5,8
GEO.PGB1.50	0,0	4,3	5,3
XM.PGB0.00	4,9	7,1	9,6
XM.PGB1.00	5,4	6,3	7,6



Hình 8. Cường độ kéo uốn của vữa GEO và vữa XM sử dụng PGB.

Kết quả cho thấy, việc tăng hàm lượng PGB sẽ làm giảm cường độ kéo uốn của vữa GEO ở cả tuổi sớm (3 và 7 ngày) và tuổi 28 ngày. Ở tuổi 3 ngày, cường độ kéo uốn của vữa GEO có sử dụng PGB rất thấp và không xác định được giá trị thí nghiệm (0 MPa). Ở tuổi 7 ngày cường độ kéo uốn của mẫu vữa GEO.PGB0.00 là 4,7 MPa giảm còn 4,5 MPa; 4,0 MPa; 4,3 MPa cho các mẫu GEO khác có hàm lượng PGB tăng dần từ 0,5 % lên 1,0 %, 1,5 %. Tương tự như vậy ở tuổi 28 ngày cường độ kéo uốn cũng giảm từ 8,5 MPa còn 6,7 MPa; 5,8 MPa; 5,3 MPa tương ứng.

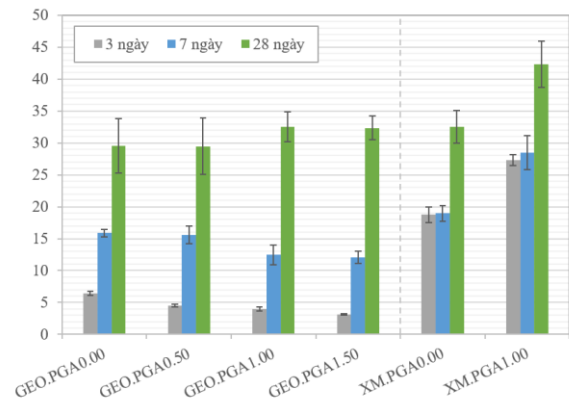
Ngoài ra, ở tuổi 28 ngày, cường độ kéo uốn của vữa GEO.PGB1.00 là 5,8 MPa thấp hơn so với vữa XM.PGB1.00 có cùng hàm lượng PGB (7,6 MPa). Việc sử dụng PGB làm giảm cường độ kéo uốn của mẫu vữa XM ở tuổi 28 ngày từ 9,6 MPa xuống còn 7,6 MPa, tương tự như PGA.

3.3. Ảnh hưởng của phụ gia siêu dẻo đến cường độ nén của vữa Geopolyme

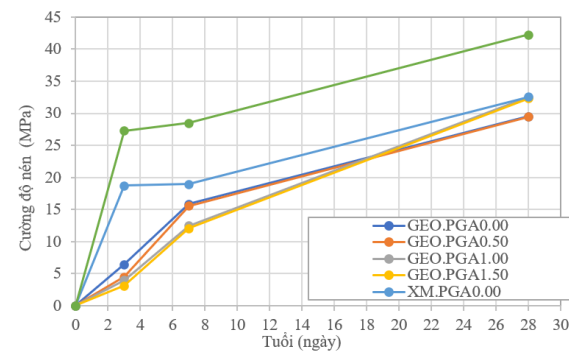
Ảnh hưởng của PGA đến cường độ nén của vữa GEO và vữa XM được thể hiện trong Bảng 6 và trên Hình 9 và Hình 10.

Bảng 6. Cường độ nén (MPa) của vữa GEO và vữa XM sử dụng PGA.

Cấp phối	3 ngày	7 ngày	28 ngày
GEO.PGA0.00	6,4	15,9	29,5
GEO.PGA0.50	4,5	15,6	29,5
GEO.PGA1.00	4,0	12,5	32,5
GEO.PGA1.50	3,1	12,1	32,4
XM.PGA0.00	18,7	19,0	32,6
XM.PGA1.00	27,3	28,5	42,3



Hình 9. Cường độ nén của vữa GEO và vữa XM sử dụng PGA.



Hình 10. Sự phát triển cường độ nén của vữa GEO và vữa XM sử dụng PGA.

Kết quả cho thấy, việc tăng hàm lượng PGA làm giảm cường độ nén của vữa GEO ở tuổi sớm (3 và 7 ngày), tuy nhiên, cường độ nén có xu hướng tăng lên ở tuổi 28 ngày. Cụ thể, cường độ nén của mẫu GEO.PGA0.00 ở 3 ngày là 6,4 MPa giảm còn 4,5 MPa; 4,0 MPa; 3,1 MPa cho các mẫu GEO khác có hàm lượng PGA tăng dần từ 0,5-1,5 %. Tương tự như vậy, ở tuổi 7 ngày cường độ nén giảm từ 15,9 MPa xuống còn 15,6 MPa; 12,5 MPa; và 12,1 MPa. Tuy nhiên, ở tuổi 28 ngày cường độ nén lại tăng nhẹ từ 29,5 MPa lên 29,5 MPa; 32,5 MPa; 32,4 MPa tương ứng.

Cường độ nén của vữa GEO thấp hơn so với vữa XM. Cụ thể, ở tuổi 28 ngày, cường độ nén của vữa GEO.PGA1.00 là 32,5 MPa thấp hơn so với vữa XM.PGA1.00 có cùng hàm lượng PGA (42,3 MPa). Việc sử dụng PGA làm cường độ nén của mẫu vữa XM tăng ở cả 3 ngày tuổi.

Cụ thể, ở tuổi 3 ngày cường độ nén tăng từ 18,7 MPa lên 27,3 MPa; ở tuổi 7 ngày tăng từ 19 MPa lên 28,5 MPa; ở tuổi 28 ngày tăng từ 32,6 MPa lên 42,3 MPa.

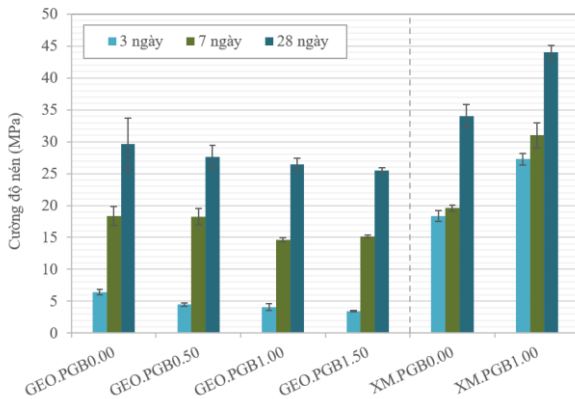
Kết quả trên

Hình 10 cho thấy PGA làm tăng nhanh cường độ nén của vữa XM ở tuổi 0-3 ngày, tăng chậm ở tuổi 7 ngày (tại tuổi 3,7 ngày cường độ nén mẫu XM.PGA1.00 là 27,3 MPa; 28,5 MPa). Trong khi đó PGA làm tăng nhanh cường độ của vữa GEO ở tuổi 3-7 ngày (tăng gần 4 lần). Cũng có thể thấy PGA làm tăng cường độ nén của vữa XM đáng kể (tại 28 ngày tăng gần 30 % so với mẫu đối chứng) trong khi đó cường độ nén của vữa GEO lại không tăng hoặc tăng nhẹ so với mẫu đối chứng.

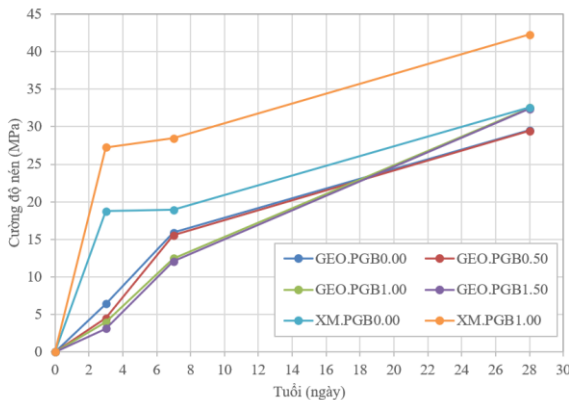
Ảnh hưởng của PGB đến cường độ nén của vữa GEO và vữa XM được thể hiện trong Bảng 7, Hình 11 và Hình 12.

Bảng 7. Cường độ nén (MPa) của vữa GEO và vữa XM sử dụng PGB.

Cấp phối	3 ngày	7 ngày	28 ngày
GEO.PGB0.00	6,4	18,3	29,6
GEO.PGB0.50	4,5	18,2	27,6
GEO.PGB1.00	4,1	14,6	26,5
GEO.PGB1.50	3,5	15,2	25,5
XM.PGB0.00	18,4	19,6	34,1
XM.PGB1.00	27,3	31,0	44,0



Hình 11. Cường độ nén của vữa GEO và vữa XM sử dụng PGB.



Hình 12. Sự phát triển cường độ nén của vữa GEO và vữa XM sử dụng PGB.

Kết quả cho thấy, việc tăng hàm lượng PGB làm giảm cường độ nén của vữa GEO ở cả 3, 7, 28 ngày tuổi. Cụ thể, cường độ nén của mẫu GEO.PGB0.00 ở tuổi 3 ngày là 6,4 MPa giảm còn 4,5 MPa; 4,1 MPa; 3,5 MPa cho các mẫu GEO khác có hàm lượng PGB tăng dần từ 0,5-1,5 %. Ở tuổi 7 ngày cường độ nén giảm từ 18,3 MPa xuống còn 18,2 MPa; 14,6 MPa; và 15,2 MPa. Tương tự, ở tuổi 28 ngày cường độ nén giảm từ 29,6 MPa xuống còn 27,6 MPa; 26,5 MPa; 25,5 MPa tương ứng.

Cường độ nén của vữa GEO thấp hơn so với vữa XM. Cụ thể, ở tuổi 28 ngày, cường độ nén của vữa GEO.PGB1.00 là 26,5 MPa thấp hơn so với vữa XM.PGB1.00 có cùng hàm lượng PGB (44,0 MPa). Việc sử dụng PGB làm tăng cường độ nén của mẫu vữa XM ở cả 3 ngày tuổi. Cụ thể, ở tuổi 3 ngày cường độ nén tăng từ 18,4 MPa lên 27,3 MPa; ở tuổi 7 ngày tăng từ 19,6 MPa lên 31,0 MPa; ở 28 ngày tuổi tăng từ 34,1 MPa lên 44,0 MPa.

Kết quả cho thấy rằng, việc sử dụng PGB, đối với mẫu GEO ở các hàm lượng đều cho cường độ nén giảm ở cả 3 ngày tuổi so với mẫu đối chứng. Tuy nhiên, với mẫu XM, sử dụng PGB lại làm tăng cường độ nén ở cả 3 ngày tuổi so với mẫu đối chứng (ở 28 ngày tuổi cường độ nén mẫu XM.PGB1.00 tăng gần 30 % so với mẫu đối chứng XM.PGB0.00)

4. Kết luận

Ảnh hưởng của phụ gia siêu dẻo đến tính công tác, cường độ nén, cường độ kéo uốn đã được nghiên cứu. Từ kết quả nghiên cứu rút ra được các kết luận sau:

- Phụ gia siêu dẻo có thể được sử dụng để cải thiện tính công tác của vữa GEO. khi tăng hàm lượng PGSD (Sika ViscoCrete 3000-20M và Sika ViscoCrete-8565) làm tăng tính công tác của vữa GEO và vữa XM. Hiệu quả của PGSD làm tăng tính công tác của vữa XM lớn hơn so với vữa GEO. Ảnh hưởng của hai loại PGSD đến tính công tác của vữa Geopolyme và vữa xi măng là tương tự nhau.
- Tăng hàm lượng Sika ViscoCrete 3000-20M làm giảm cường độ uốn của vữa GEO ở tuổi sớm (3 và 7 ngày), tuy nhiên, có xu thế làm tăng cường độ uốn của vữa GEO ở 28 ngày. Tăng hàm lượng Sika ViscoCrete-8565 làm giảm cường độ uốn của vữa GEO ở tất cả các tuổi (3, 7 và 28 ngày). Ở 28 ngày, cường độ uốn của vữa GEO tương đương với vữa XM.
- Tăng hàm lượng Sika ViscoCrete 3000-20M làm giảm cường độ nén của vữa GEO ở tuổi sớm (3 và 7 ngày), tuy nhiên, làm tăng cường độ nén của vữa GEO ở 28 ngày. Tăng hàm lượng Sika ViscoCrete-8565 làm giảm cường độ nén của vữa GEO ở tất cả các tuổi (3, 7 và 28 ngày). Ở 3, 7 và 28 ngày, cường độ nén của vữa GEO thấp hơn so với vữa XM.
- Việc sử dụng PGSD làm tăng nhanh cường độ nén của vữa XM ở tuổi 0-3 ngày, trong khi đó làm tăng nhanh cường độ nén của vữa GEO ở tuổi 3-7 ngày. Tốc độ phát triển cường độ của vữa XM cao hơn so với vữa GEO.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Davidovits, J., *Environmentally Driven Geopolymer Cement Applications*. 2002.
- [2]. Davidovits, J., *False Values on CO2 Emission for Geopolymer Cement/Concrete*. 2015.
- [3]. McLellan, B., et al., *Costs and carbon emissions for Geopolymer pastes in comparison to ordinary Portland cement*. Journal of Cleaner Production - J CLEAN PROD, 2011. **19**: p. 1080-1090.
- [4]. Phoo-ngernkham, T., et al., *A Mix Design Procedure for Alkali-Activated High Calcium Fly Ash Concrete Cured at Ambient Temperature*. Advances in Materials Science and Engineering, 2018. **2018**.
- [5]. Reed, M., W. Lokuge, and W. Karunasena, *Fibre-reinforced Geopolymre concrete with ambient curing for in situ applications*. Journal of Materials Science, 2014. **49**.
- [6]. Jithendra, C. and S. Elavenil, *Role of Superplasticizer on GGBS based Geopolymer Concrete under ambient curing*. Materials Today: Proceedings, 2019. **18**: p. 148-154.
- [7]. Mabroum, S., et al., *Mine wastes based Geopolymes: A critical review*. Cleaner Engineering and Technology, 2020. **1**: p. 100014.
- [8]. Hadi, M.N.S., N.A. Farhan, and M.N. Sheikh, *Design of Geopolymer concrete with GGBFS at ambient curing condition using Taguchi method*. Construction and Building Materials, 2017. **140**: p. 424-431.
- [9]. Omer, S.A., R. Demirboga, and W.H. Khushefati, *Relationship between compressive strength and UPV of GGBFS based Geopolymer mortars exposed to elevated temperatures*. Construction and Building Materials, 2015. **94**: p. 189-195.
- [10]. Ramachandran, V.S., *Concrete Admixtures Handbook: Properties, Science and Technology*. 1996: William Andrew.