NGHIÊN CỨU NÂNG CAO CƯỜNG ĐỘ TUỔI SỚM CỦA BÊ TÔNG NHẸ CHỊU LỰC SỬ DỤNG HÀM LƯỢNG LỚN XỈ HẠT LÒ CAO NGHIỀN MỊN

IMPROVEMENT OF EARLY STRENGTH OF STRUCTURAL LIGHWEIGHT CONCRETE USING LARGE VOLUMES OF GROUND-GRANULATED BLAST FURNACE SLAG

Lưu Văn Nam[1], Nguyễn Văn Tuấn[2], Lê Trung Thành[3], Lê Việt Hùng[4], Nguyễn Công Thắng[5]

[1] Viện Khoa học công nghệ xây dựng, [3,4] Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

[2,5] Viện Vật liệu xây dựng

DOI: https://doi.org/10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses2-12

TÓM TẮT: Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của phụ gia $Ca(NO_3)_2$ đến cường độ tuổi sớm bê tông nhẹ chịu lực sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay và xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) hàm lượng lớn. Loại bê tông nhẹ chịu lực này sử dụng 27% (tính theo thể tích hỗn hợp bê tông) hạt vi cầu rỗng từ tro bay, còn gọi là cenosphere (FAC), có khối lượng thể tích trong khoảng từ 1.600 đến 1.900 kg/m^3, cường độ chịu nén trên 40 MPa. Khi đưa hàm lượng lớn xỉ hạt lò cao thay thế xi măng trong loại bê tông nhẹ này thì rất khó khăn và thách thức để đạt được cường độ tuổi sớm cao. Vì vậy, nghiên cứu này tập trung vào khảo sát sự ảnh hưởng của phụ gia hóa $Ca(NO_3)_2$ đến sự phát triển cường độ nén (ở điều kiện bảo dưỡng với nhiệt độ 27 ± 2^{o}C và độ ẩm tương đối 60 ± 5%) của bê tông nhẹ kết cấu sử dụng 50, 65 đến 80% GGBFS (theo khối lượng) thay thế xi măng poóc lăng thông thường (OPC). Kết quả cho thấy việc sử dụng phụ gia $Ca(NO_3)_2$ đã nâng cao được cường độ bê tông sử dụng của hệ chất kết dính hỗn hợp OPC và GGBFS hàm lượng lớn lên tới 11,6% và 9,0% tương ứng tại tuổi 3, 7 ngày.

TỪ KHÓA: Bê tông nhẹ chịu lực, hạt vi cầu rỗng từ tro bay, cenospheres, xỉ hạt lò cao nghiền mịn hàm lượng lớn, phụ gia hóa.

ABSTRACTS: This paper presents the experimetal results on the influence of chemical additive, i.e. $Ca(NO_3)_2$, on the compressive strength of structural lighweight concrete (LWC) containing high volume ground-granulated blast-furnace slag (GGBFS). Structural LWC using 27% (by vol. of concrete mixture) fly ash hollow microspheres, also known as cenosphere (FAC) is used up to 27% by volume of concrete mixture with a density in the range from 1.600 to 1.900 kg/m^3, compressive strength over 40 MPa. Achieving high early age compressive strength is difficult and challenging for lightweight concrete with high volume GGBFS. Therefore, the present study focused on the influence of $Ca(NO_3)_2$ on the strength development (under curing condition of 27 ± 2^{o}C and relative humidity of 60 ± 5%) of structural LWC containing 50, 65 to 80% GGBFS (replacing cement content by weight). The experimental results show that the addition of $Ca(NO_3)_2$ enhanced the early-age compressive strength of structural LWC up to 11,6% and 9,0% at the age of 3, 7 days, respectively.

KEYWORDS: Structural lighweight concrete, hollow microspheres from fly ash, cenospheres, ground granulated blast furnace slag, chemical additive.

1. GIỚI THIỆU

Xây dựng là một ngành quan trọng, đóng góp to lớn vào sự tăng trưởng kinh tế của một quốc gia, đặc biệt là quốc gia đang phát triển như Việt Nam. Ngày nay, ngành xây dựng đang chú trọng mạnh mẽ vào độ bền của các sản phẩm xi măng hoặc bê tông nhẹ có cường độ sớm cao để rút ngắn thời gian thi công cũng như giảm chi phí xây dựng. Việc nâng cao cường độ tuổi sớm cũng như độ bền lâu đối với bê tông nhẹ là một việc đầy thách thức, đặc biệt khi sử dụng hàm lượng phụ gia khoáng lớn chẳng hạn như xỉ hạt lò cao nghiền mịn, tro bay. Điều này đưa đến giải pháp về việc bổ sung phụ gia hóa học để có thể cải thiện cường độ tuổi sớm ngày.

Hiện nay, có nhiều loại phụ gia hóa học [1, 2, 3, 4, 5] đã được sử dụng để đạt cường độ tuổi sớm cho bê tông thường, chẳng hạn như canxi clorua, canxi nitrat, canxinitrit, triethanolamine,… Ban đầu, phụ gia canxi clorua được sử dụng rộng rãi nhất, nhưng lại gây ra ăn mòn cốt thép đối với bê tông cốt thép. Vì lý do này trong tiêu chuẩn xây dựng thường xuyên hạn chế sử dụng canxi clorua [6]. Một trong những giải pháp thay đổi là sử dụng canxi nitrat [5], một hợp chất làm rắn chắc không chứa clorua, có thể đẩy nhanh quá trình phản ứng của bê tông có chứa hàm lượng silic cao.

Một loạt công trình nghiên cứu của Dodson [7, 8] về các loại phụ gia phát triển cường độ sớm là các muối không chứa clorua, không gây ăn mòn cốt thép. Dodson xác định rằng canxi nitrat ($Ca(NO_3)_2$) đạt yêu cầu khá tốt về phát triển cường độ sớm, và đã được đăng ký nhãn hiệu năm 1969 [7, 8]. Sau đó, qua một số nghiên cứu toàn diện hơn [9, 10, 11, 12, 13], người ta đã xác định rằng $Ca(NO_3)_2$ cũng là chất chống ăn mòn khác hiệu quả cho cốt thép trong bê tông.

Việc nghiên cứu cải thiện cường độ tuổi sớm đối với bê tông nhẹ chưa được thực hiện nhiều, đặc biệt với bê tông nhẹ sử dụng hàm lượng phụ gia khoáng lớn. Nghiên cứu này nhằm mục đích khảo sát ảnh hưởng của phụ gia $Ca(NO_3)_2$ đến sự phát triển cường độ tuổi sớm của bê tông nhẹ sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn hàm lượng lớn. Các hàm lượng xỉ hạt lò cao nghiền mịn nghiên cứu khác nhau gồm 50; 65 và 80% thay thế xi măng theo khối lượng, và sử dụng canxi nitrat với hàm lượng 0; 0,5; 1,0; 1,5 và 2,0% theo khối lượng của chất kết dính.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Vật liệu nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ bao gồm chất kết dính (xi măng PC50, GGBFS), cốt liệu (cát tự nhiên cỡ hạt từ 0,15 đến 1,25 mm; cenospheres từ tro bay nhà máy nhiệt điện sử dụng công nghệ lò hơi đốt than phun - PC); phụ gia (Phụ gia giảm nước gốc polycarboxylate Ether và phụ gia phát triển cường độ tuổi sớm) và nước máy. Một số tính chất của vật liệu sử dụng được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Tính chất cơ lý của vật liệu sử dụng

Tính chất cơ lý	Xi măng	GGBFS	FAC	Cát vàng 0,15-1,25
Khối lượng riêng, g/cm^3	3,07	2,85	-	2,63
Khối lượng thể tích hạt, g/cm^3	-	-	0,785	-
Thời gian đông kết, phút Bắt đầu Kết thúc	 110 180	-	-	-
Bề mặt riêng, cm^2/g	3.845	5.065	-	-
Cường độ nén tuổi 28 ngày, MPa	52,3	-	-	-
Chỉ số hoạt tính 28 ngày, %	-	108,2	-	-

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Do nghiên cứu mang tính chất so sánh và bê tông sử dụng cốt liệu nhỏ nên các tính chất của bê tông được xác định theo TCVN 3121:2003. Giá trị độ chảy được lấy bằng trung bình đường kính của hai lần đo vuông góc. Cường độ nén và khối lượng thể tích được xác định với mẫu kích thước 40×40×160 mm.

2.3. Cấp phối và quy trình trộn

2.3.1. Cấp phối

Chất kết dính sử dụng gồm xi măng PC50 và GGBFS với tỷ lệ thay thế 50, 65 và 80% xi măng theo khối lượng. Các cấp phối được nghiên cứu với tỷ lệ sử dụng $Ca(NO_3)_2$ dạng bột thay đổi 0; 0,5; 1,0; 1,5 và 2,0% theo khối lượng so với chất kết dính (CKD). Các cấp phối có sử dụng hàm lượng cố định 27% FAC theo thể tích của hỗn hợp bê tông, tỷ lệ cát/FAC = 50% theo thể tích, tỷ lệ phụ gia siêu dẻo được điều chỉnh với hàm lượng thích hợp để tỷ lệ nước/chất kết dính (N/CKD) = 0,3 và độ lưu động của hỗn hợp đạt 180 ± 20 mm theo TCVN 3121-3:2003. Tổng hàm lượng CKD cố định là 850 kg/m^3. Chi tiết tỷ lệ vật liệu sử dụng trong nghiên cứu thể hiện ở Bảng 2.

2.3.2. Quy trình trộn

Máy trộn sử dụng trong nghiên cứu là máy trộn hành tinh 5 lít. Quy trình trộn như sau: các thành phần khô được trộn đều trong máy trong vòng 3 phút. Sau đó cho khoảng 70% lượng nước nhào trộn đều trong 3 phút, dùng bay tròn vét sạch cối trộn.

Trộn thêm 3 phút sau khi cho dung dịch gồm phụ gia siêu dẻo và 30% lượng nước còn lại. Lượng phụ gia siêu dẻo được điều chỉnh sao cho độ lưu động của hỗn hợp đạt 180 ± 20 mm theo TCVN 3121-3:2003.

Bảng 2. Tỷ lệ thành phần vật liệu nghiên cứu

STT	Tên cấp phối	Hàm lượng FAC (% theo thể tích HHBT)	Tỷ lệ Cát/FAC (% theo thể tích)	Tỷ lệ N/CKD	Xỉ thay thế xi măng (% theo khối lượng)	$Ca(NO_3)_2$ so với CKD (% theo khối lượng)
1	M50CN0	27	50	0,3	50	0
2	M50CN0,5	27	50	0,3	50	0,5
3	M50CN1,0	27	50	0,3	50	1,0
4	M50CN1,5	27	50	0,3	50	1,5
5	M50CN2,0	27	50	0,3	50	2,0
6	M65CN0	27	50	0,3	65	0
7	M65CN0,5	27	50	0,3	65	0,5
8	M65CN1,0	27	50	0,3	65	1,0
9	M65CN1,5	27	50	0,3	65	1,5
10	M65CN2,0	27	50	0,3	65	2,0
11	M80CN0	27	50	0,3	80	0
12	M80CN0,5	27	50	0,3	80	0,5
13	M80CN1,0	27	50	0,3	80	1,0
14	M80CN1,5	27	50	0,3	80	1,5
15	M80CN2,0	27	50	0,3	80	2,0

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ BÀN LUẬN

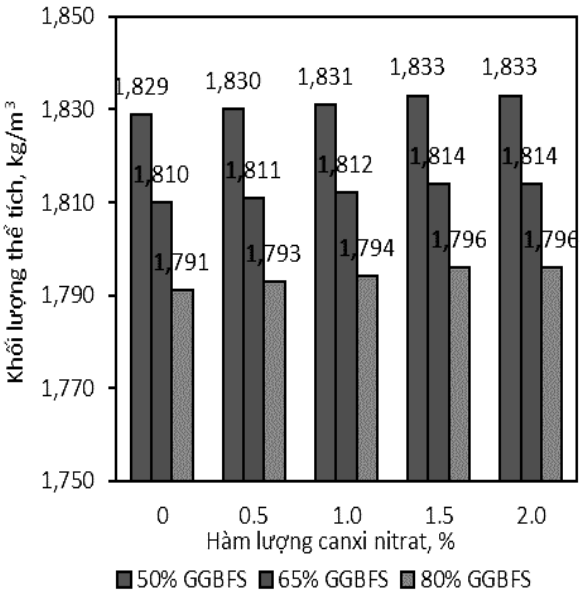
3.1. Khối lượng thể tích

Sự ảnh hưởng của hàm lượng canxi nitrat và tỷ lệ thay thế xi măng bằng GGBFS đến khối lượng thể tích của bê tông được thể hiện trong Hình 1 có thể thấy, khi giữ nguyên hàm lượng GGBFS và tăng hàm lượng canxi nitrat từ 0; 0,5; 1,0; 1,5 đến 2,0% thì khối lượng thể tích của bê tông gần như không thay đổi nhiều. Tuy vậy, khi giữ nguyên hàm lượng canxi nitrat và tăng hàm lượng dùng GGBFS từ 50, 65 đến 80% thì khối lượng thể tích của bê tông giảm. Từ kết quả nghiên cứu ta thấy, khối lượng thể tích của bê tông đạt giá trị thấp nhất 1.791 kg/m^3 khi lượng dùng canxi nitrat thấp nhất và hàm lượng GGBFS cao nhất. Khối lượng thể tích của bê tông đạt giá trị cao nhất là 1.833 kg/m^3 khi lượng dùng canxi nitrat cao nhất và hàm lượng GGBFS thấp nhất. Điều này có thể giải thích do có sự chênh lệch về khối lượng riêng của vật liệu sử dụng, trong đó khối lượng riêng của GGBFS (2,85 g/cm^3) nhỏ hơn so với xi măng (3,07 g/cm^3) thay thế, do đó khi hàm lượng thay thế theo khối lượng càng lớn thì khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông càng giảm.

3.2. Cường độ nén

3.2.1. Ảnh hưởng của việc tăng hàm lượng canxi nitrat khi giữ nguyên tỷ lệ thay thế xi măng

Nhận thấy rằng, khi sử dụng canxi nitrat thì nâng cao cường độ của bê tông nhẹ có chứa 50%, 65%, 80% ở tất cả các tuổi 3, 7, 28 ngày và ảnh hưởng mạnh nhất là 3 ngày đầu. Khi tăng hàm lượng sử dụng canxi nitrat từ 0; 0,5; 1,0; 1,5 đến 2,0% thì cường độ của các mẫu bê tông tăng dần và đạt cực đại tại hàm lượng sử dụng 1,0%. Sau khi vượt qua tỷ lệ 1,0% thì cường độ nén bê tông bắt đầu giảm nhẹ khi liều lượng canxi nitrat tăng lên.



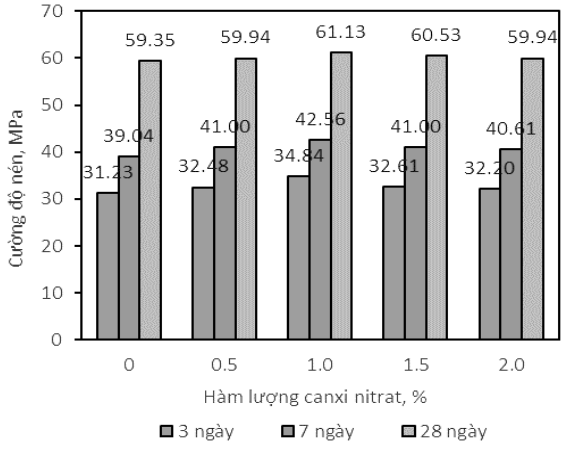
Hình 1. Ảnh hưởng của hàm lượng canxi nitrat và tỷ lệ thay thế xi măng đến khối lượng thể tích

Ảnh hưởng của việc tăng hàm lượng canxi nitrat từ 0; 0,5; 1,0; 1,5 đến 2,0% và giữ nguyên tỷ lệ thay thế xi măng bằng GGBFS là 50% được thể

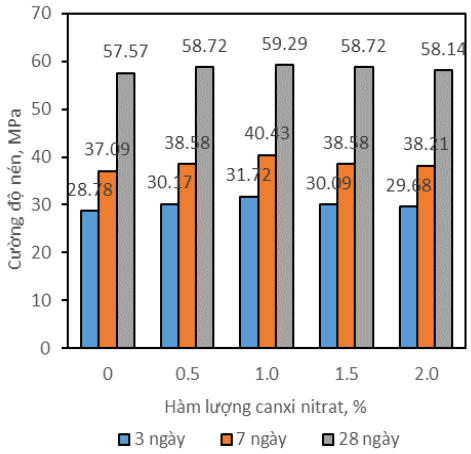
hiện trong Hình 2a. Khi tăng hàm lượng canxi nitrat thì cường độ bê tông đạt được cường độ cao nhất ở tỷ lệ 1,0% theo khối lượng so với chất kết dính tại cả tuổi 3, 7 và 28 ngày, tương ứng với các giá trị 34,8; 42,6 và 61,2 MPa. Tỷ lệ tăng cường độ nén của mẫu sử dụng hàm lượng 1,0% canxi nitrat so với mẫu đối chứng là 11,5%, 9,0%; 3,0% tương ứng mẫu ở tuổi 3, 7 và 28 ngày tuổi.

Ảnh hưởng của việc tăng hàm lượng canxi nitrat từ 0; 0,5; 1,0; 1,5 đến 2,0% và giữ nguyên tỷ lệ thay thế xi măng bằng GGBFS là 65% được thể hiện trong Hình 2b. Khi tăng hàm lượng canxi nitrat thì cường độ bê tông đạt được cường độ cao nhất ở tỷ lệ 1,0% theo khối lượng so với chất kết dính tại cả tuổi 3, 7 và 28 ngày, tương ứng với các giá trị 31,7; 40,4 và 59,3 MPa. Tỷ lệ tăng cường độ nén của mẫu sử dụng hàm lượng 1,0% canxi nitrat so với mẫu đối chứng là 10,2%, 9,0%; 3,0% tương ứng mẫu ở tuổi 3, 7 và 28 ngày tuổi.

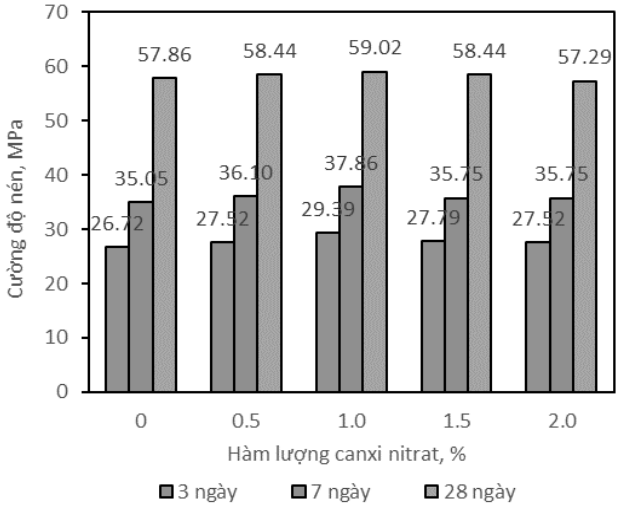
Ảnh hưởng của việc tăng hàm lượng canxi nitrat từ 0; 0,5; 1,0; 1,5 đến 2,0% và giữ nguyên tỷ lệ thay thế xi măng bằng GGBFS là 80% được thể hiện trong Hình 2c. Khi tăng hàm lượng canxi nitrat thì cường độ bê tông đạt được cường độ cao nhất ở tỷ lệ 1,0% theo khối lượng so với chất kết dính tại cả tuổi 3, 7 và 28 ngày, tương ứng với các giá trị 29,4; 37,9 và 59,0 MPa. Tỷ lệ tăng cường độ nén của mẫu sử dụng hàm lượng 1,0% canxi nitrat so với mẫu đối chứng là 10,0%, 8,0%; 2,0% tương ứng mẫu ở tuổi 3, 7 và 28 ngày tuổi.



(a) GGBFS=50%



(b) GGBFS=65%



(c) GGBFS=80%

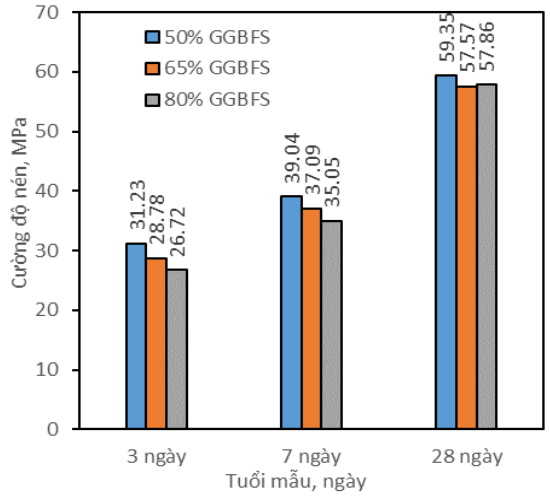
Hình 2. Ảnh hưởng của hàm lượng canxi nitrat đến cường độ nén của bê tông ở các tỷ lệ GGBFS thay thế xi măng khác nhau

Ta thấy rằng, khi giữ nguyên tỷ lệ thay thế GGBFS thì mức độ ảnh hưởng của hàm lượng sử dụng canxi nitrat đạt mức cao nhất tại 1,0% và tại tuổi 3 ngày. Khi tuổi bê tông càng cao thì mức độ ảnh hưởng của phụ gia phát triển cường độ sớm canxi nitrat yếu dần và gần như không còn tác dụng ở tuổi 28 ngày.

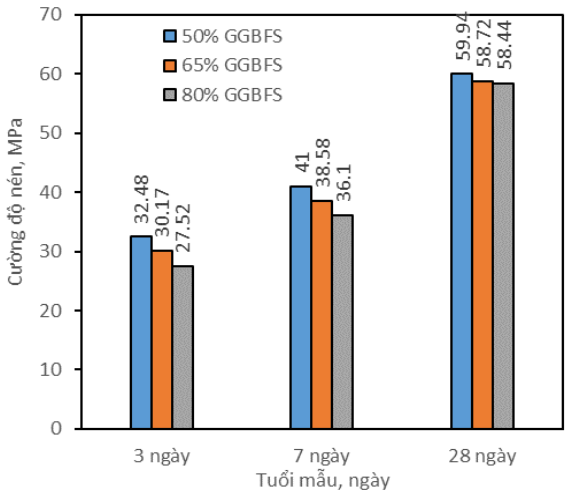
3.2.2. Ảnh hưởng của việc tăng tỷ lệ GGBFS thay thế xi măng và giữ nguyên hàm lượng canxi nitrat

Nhận thấy rằng, khi tăng tỷ lệ thay thế xi măng bằng GGBFS từ 50, 65 đến 80% thì cường độ của bê tông nhẹ giảm dần ở tất cả các tỷ lệ sử dụng canxi nitrat. Khi tăng tỷ lệ sử dụng GGBFS thì cường độ giảm ở tất cả các tuổi và mức giảm mạnh nhất ở tuổi 3 ngày. Khi tăng tỷ lệ thay thế GGBFS thêm 15% (tăng từ 50% lên 65%, từ 65% lên 80%) và giữ nguyên hàm lượng canxi nitrat thì cường độ nén của bê tông nhẹ giảm đến 9,0%; 7,3% và 3,0% tương ứng tại các tuổi 3, 7 và 28 ngày.

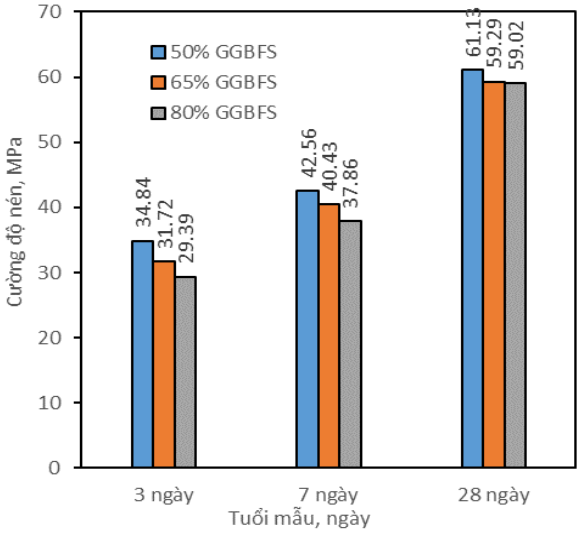
Ảnh hưởng của tỷ lệ thay thế xi măng bằng GGBFS và không phụ gia canxi nitrat được thể hiện trong Hình 3a. Khi tăng tỷ lệ thay thế GGBFS và không sử dụng canxi nitrat thì cường độ bê tông nhẹ đạt giá trị cao nhất ở tỷ lệ thay thế là 50% tại cả tuổi 3, 7 và 28 ngày tương ứng với giá trị 31,2; 39,0 và 59,4 MPa. Khi tăng tỷ lệ thay thế GGBFS thêm 15% (tăng từ 50% lên 65%, từ 65% lên 80%) thì cường độ nén của bê tông nhẹ giảm đến 7,8%; 5,5% và 3,0% tương ứng tại các tuổi 3, 7 và 28 ngày.



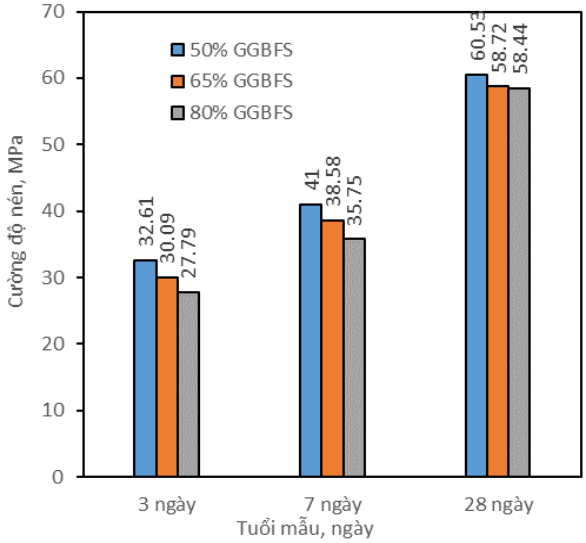
(a) Hàm lượng $Ca(NO_3)_2$=0%



(b) Hàm lượng $Ca(NO_3)_2$=0,5%

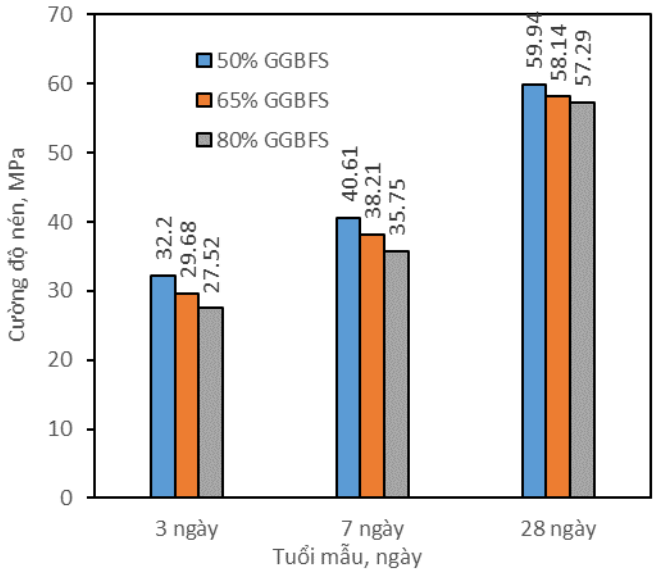


(c) Hàm lượng $Ca(NO_3)_2$=1,0%



(d) Hàm lượng $Ca(NO_3)_2$=1,5%

Hình 3. Ảnh hưởng của việc tăng tỷ lệ GGBFS thay thế xi măng đến cường độ nén của bê tông ở các hàm lượng canxi nitrat khác nhau



(e) Hàm lượng $Ca(NO_3)_2$=2,0%

Hình 3 *(tiếp theo)*. **Ảnh hưởng của việc tăng tỷ lệ GGBFS thay thế xi măng đến cường độ nén của bê tông ở các hàm lượng canxi nitrat khác nhau**

Ảnh hưởng của tỷ lệ thay thế xi măng bằng GGBFS và hàm lượng phụ gia canxi nitrat bằng 0,5% được thể hiện trong Hình 3b. Khi tăng tỷ lệ thay thế GGBFS và hàm lượng sử dụng canxi nitrat 0,5% thì cường độ bê tông nhẹ đạt giá trị cao nhất ở tỷ lệ thay thế là 50% tại cả tuổi 3, 7 và 28 ngày tương ứng với giá trị 32,5; 41,0; 59,9 MPa. Khi tăng tỷ lệ thay thế GGBFS thêm 15% (tăng từ 50% lên 65%, từ 65% lên 80%) và thì cường độ nén của bê tông nhẹ giảm đến 8,8%; 6,4% và 2,0% tương ứng tại các tuổi 3, 7 và 28 ngày.

Ảnh hưởng của tỷ lệ thay thế xi măng bằng GGBFS và hàm lượng phụ gia canxi nitrat bằng 1,0% được thể hiện trong Hình 3c. Khi tăng tỷ lệ thay thế GGBFS và hàm lượng sử dụng canxi nitrat 1,0% thì cường độ bê tông nhẹ đạt giá trị cao nhất ở tỷ lệ thay thế là 50% tại cả tuổi 3, 7 và 28 ngày tương ứng với giá trị 34,8; 42,6; 61,2 MPa. Khi tăng tỷ lệ thay thế GGBFS thêm 15% (tăng từ 50% lên 65%, từ 65% lên 80%) và thì cường độ nén của bê tông nhẹ giảm đến 9,0%; 6,4% và 3,0% tương ứng tại các tuổi 3, 7 và 28 ngày.

Ảnh hưởng của tỷ lệ thay thế xi măng bằng GGBFS và hàm lượng phụ gia canxi nitrat bằng 1,5% được thể hiện trong Hình 3d. Khi tăng tỷ lệ thay thế GGBFS và hàm lượng sử dụng canxi nitrat 1,5% thì cường độ bê tông nhẹ đạt giá trị cao nhất ở tỷ lệ thay thế là 50% tại cả tuổi 3, 7 và 28 ngày tương ứng với giá trị 32,6; 41,0; 60,5 MPa. Khi tăng tỷ lệ thay thế GGBFS thêm 15% (tăng từ 50% lên 65%, từ 65% lên 80%) và thì cường độ nén của bê tông giảm đến 7,7%; 7,3% và 3,0% tương ứng tại các tuổi 3, 7 và 28 ngày.

Ảnh hưởng của tỷ lệ thay thế xi măng bằng GGBFS và hàm lượng phụ gia canxi nitrat bằng 2,0% được thể hiện trong Hình 3d. Khi tăng tỷ lệ thay thế GGBFS và hàm lượng sử dụng canxi nitrat 2,0% thì cường độ bê tông nhẹ đạt giá trị cao nhất ở tỷ lệ thay thế là 50% tại cả tuổi 3, 7 và 28 ngày tương ứng với giá trị 32,2; 40,6; 59,5 MPa. Khi tăng tỷ lệ thay thế GGBFS thêm 15% (tăng từ 50% lên 65%, từ 65% lên 80%) và thì cường độ nén của bê tông nhẹ giảm đến 7,8%; 6,4% và 3,0% tương ứng tại các tuổi 3, 7 và 28 ngày.

Ta thấy rằng, khi tăng tỷ lệ thay thế GGBFS và giữ nguyên tỷ lệ sử dụng canxi nitrat thì cường độ của bê tông giảm mạnh nhất ở tuổi 3 ngày. Khi tuổi bê tông càng tăng thì mức độ ảnh hưởng của canxi nitrat càng kém. Điều đó chứng tỏ, vai trò thúc đẩy cường độ của bê tông của canxi nitrat giảm dần và gần như không còn tác dụng ở tuổi 28 ngày.

4. KẾT LUẬN

Cường độ tuổi sớm của bê tông nhẹ chịu lực sử dụng FAC và GGBFS với các hàm lượng khác nhau đã được nâng cao với sự có mặt của phụ gia canxi nitrat theo các quy luật như sau:

- Khi giữ nguyên tỷ lệ thay thế xi măng bằng GGBFS, cường độ nén của các mẫu bê tông nhẹ đạt giá trị cao nhất ở hàm lượng canxi nitrat sử

dụng 1,0% ở tất cả các tuổi 3, 7 và 28 ngày. Phụ gia canxi nitrat đã thúc đẩy cường độ chịu nén của bê tông nhẹ đạt hiệu quả cao nhất trong 3 ngày đầu và sau đó giảm dần mức ảnh hưởng ở các tuổi 7 và 28 ngày.

- Khi giữ nguyên hàm lượng sử dụng canxi nitrat và thay đổi tỷ lệ thay thế xi măng bằng GGBFS từ 50, 65 đến 80% thì cường độ nén của bê tông nhẹ giảm dần ở tất cả các tuổi. Tuy nhiên, ở các mẫu 28 ngày tuổi mức độ ảnh hưởng của canxi nitrat gần như không đáng kể.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] P.Narasimha Reddy, J.Ahmed Naqash. (2019). *"Development of high early strength in concrete incorporating alccofine and non-chlorid accelerator"*. SN Applied Sciences (2019) 1:755 | https://doi.org/10.1007/s42452-019-0790-z.

[2] D Takehisa, N Nakajima, Y Uno and S Date. (2017). *"Effect of setting accelerator to the initial strength of mortar with blast furnace slag cement"*. Materials Science and Engineering 264 (2017) 012003.

[3] Nader Ghafoori, Meysam Najimi, Matthew Maler. (2017). *"High-Early-Strength High-Performance Concrete for Rapid Pavement Repair"*. Final Project Report of SOLARIS Consortium - Department of Civil and Environmental Engineering and Construction – University of Nevada Las Vegas.

[4] Jin-Hyoung Kim, Han-Seung Lee. (2017). *"Improvement of Early strength of Cement mortar Containing granulated blast furnace slag using industrial byproducts"*. Materials Journal 2017, 10, 1050.

[5] P. Ananyachandran, V. Vasugi, 2018. *"Influence of Accelerators on cement replacement by large volumes of Fly ash to achieve early strength"*. Electronic Journal of Structural Engineering 18(2) 2018.

[6] Cheung, Moe MS, Kevin KL So, and Xueqing Zhang. 2012. *"Life cycle cost management of concrete structures relative to chloride-induced reinforcement corrosion."* Structure and Infrastruture Engineering 8.12 (2012): 1136-1150.

[7] Dodson, VH. *Concrete admixture.* New York: CN Reinhold; 1990.

[8] Dodson, VH & Rosenberg, A. M. (1965). U.S. Patent No. 3,210,207. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

[9] Justnes, H., and E. C. Nygaard. 1994. *"The influence of technical calcium nitrate additions on the chloride binding capacity of cement and the rate of chloride incluced corrosion of steel embedded in mortars"*. Proceedings of the international conference on corrosion protection of steel in concrete, Sheffield.

[10] Justnes, Harald, and Erik C. Nygaard. 1995. *"Technical Calcium nitrate as set accelerator for cement at low temperatures"* Cement and Concrete Research 25.8 (1995).

[11] Kicaite, Asta, Ina Pundiene, and Gintautas Skrip Kiunas. 2017. *"The influence of calcium nitrate on setting and hardening rate of Portland cement concrete at different temperatures"*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 251. No. 1. IOP Publishing, 2017

[12] Karagöl, Fatma, et al. "*The influence of calcium nitrate as antifreeze admixture on the compressive strength of concrete exposed to low temperatures".* Cold Regions Science and Technology 89 (2013): 30-35

[13] Oey, Tandre, et al. *"Comparison of $Ca(NO_3)_2$ and $CaCl_2$ admixtures on reaction, setting, and strength evolutions in plain and blended cementing formulations".* Journal of Materials in Civil Engineering 27.10 (2014)

[14] A. Hanif, Z. Lu, and Z. Li, 2017. *"Utillization of fly ash cenosphere as lightweight filler in cemnet based composite -- A review"*. Constrution and Building Material, vol. 144

[15] Y. Wu, J.Y.Wang, P.J.M. Monteiro, and M.H. Zhang, 2015. *"Development of ultra-lightweight cement composites with low thermal conductivity and high specific strength for energy eficient buildings"*. Construction and Building Materials, vol. 87, pp. 100-112.

[16] Lê Việt Hùng, Lê Trung Thành, Nguyễn Văn Tuấn, 2021. *"Nghiên cứu sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay thay thế một phần cốt liệu nhỏ cho chế tạo bê tông nhẹ chịu lực"*. Tạp chí vật liệu và xây dựng tập 11, số 6.