NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA PHỤ GIA ĐẾN CƯỜNG ĐỘ TUỔI SỚM NGÀY CỦA BÊ TÔNG NHẸ SỬ DỤNG HẠT VI CẦU RỖNG TỪ TRO BAY VÀ XỈ HẠT LÒ CAO NGHIỀN MỊN HÀM LƯỢNG CAO

Lưu Văn Nam[1], Nguyễn Thanh Bình[2]

Viện Khoa học công nghệ xây dựng
Email: [1]namibst86@gmail.com; [2]ngtbinhibst@yahoo.com

DOI: https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses1-14

TÓM TẮT: Bê tông nhẹ sử dụng 50% hàm lượng xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) thay thế xi măng thường làm cường độ tuổi sớm ngày suy giảm. Để khắc phục nhược điểm này, việc kết hợp sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay (FAC) cùng xỉ hạt lò cao nghiền mịn và các loại phụ gia hóa học cho bê tông nhẹ đã được nghiên cứu. Bài báo này trình bày tóm tắt nghiên cứu ảnh hưởng của một số loại phụ gia hóa học ở Việt Nam đến cường độ tuổi sớm ngày của bê tông nhẹ sử dụng FAC và GGBFS hàm lượng lớn. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc sử dụng phụ gia hóa học NaOH và Na_2SO_4 đã nâng cao được cường độ bê tông sử dụng hỗn hợp xi măng Poóc lăng và GGBFS lên tới 22,2% tại tuổi 3 ngày.

TỪ KHÓA: Bê tông nhẹ, cenospheres hoặc hạt vi cầu rỗng từ tro bay (FAC), xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS), phụ gia hóa học, natri hydroxyde (NaOH), natri sulphat (Na_2SO_4).

ABSTRACT: Lightweight concrete using 50% ground granulated blast-furnace slag (GGBFS) to replace ordinary cement exhibits a reduction in early-age strength. To overcome this defect, the combination of hollow microspheres from fly ash (FAC) with GGBFS and various chemical admixtures for lightweight concrete has been investigated. This paper presents a summary of research on the influence of several chemical admixtures available in Vietnam on the early-age strength of lightweight concrete incorporating FAC and high amounts of GGBFS. The results show that the use of chemical admixtures NaOH and Na_2SO_4 increased the strength of concrete made with a mixture of ordinary Portland cement and GGBFS by up to 22.2% at 3 days of age.

KEYWORDS: Lighweight concrete, cenospheres or hollow microspheres from fly ash (FAC), ground granulated blast furnace slag (GGBFS), chemical admixtures, natri hydroxyde (NaOH), natri sulphat (Na_2SO_4).

1. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, xu hướng sử dụng tối đa các loại vật liệu xây dựng thân thiện với môi trường ngày càng được quan tâm nghiên cứu và ứng dụng trong thực tiễn, đặc biệt là việc sử dụng phế thải ngành công nghiệp với hàm lượng lớn như tro bay và xỉ hạt lò cao nghiền mịn để chế tạo, sản xuất bê tông. Tuy nhiên, việc sử dụng hàm lượng lớn GGBFS thay thế xi măng thường làm giảm đáng kể cường độ của bê tông ở tuổi sớm ngày. Để khắc phục nhược điểm này, các phụ gia hóa học đã được nghiên cứu đưa vào nhằm làm tăng cường độ tuổi sớm ngày của bê tông.

Hiện nay, có nhiều loại phụ gia hóa học [1, 2, 3, 4, 5] được sử dụng để đạt cường độ tuổi sớm ngày cho bê tông, như canxi clorua, canxi nitrat, canxinitrit, triethanolamine,... Trước đây, phụ gia canxi clorua thường được sử dụng rộng rãi, tuy nhiên do gây ra ăn mòn cốt thép trong bê tông nên hiện nay đã bị hạn chế sử dụng và được thay thế bằng các hợp chất không chứa clorua, có thể đẩy nhanh quá trình thủy hóa để tạo các sản phẩm hydrat hóa C-S-H trong giai đoạn đầu của bê tông có chứa hàm lượng silic cao [5]. Nhiều công trình nghiên cứu trên thế giới đã chỉ ra rằng trong các loại phụ gia phát triển cường độ bê tông sớm hệ Ca^+ như canxi nitrat ($Ca(NO_3)_2$), hoặc hệ Na^+ như natri hydroxyde (NaOH), natri sulphat (Na_2SO_4) v.v... là các loại phụ gia làm phát triển cường độ bê tông sớm, và cũng là chất chống ăn mòn hiệu quả cho cốt thép trong bê tông [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

Phụ gia hệ Ca^+ có tác dụng thúc đẩy quá trình thủy hóa của bê tông chứa hàm lượng GGBFS cao

bằng cách hòa tan trực tiếp và làm tăng độ bão hòa Ca^{2+} trong hỗn hợp bê tông nhưng không tham gia trực tiếp vào quá trình phá vỡ cấu trúc thủy tinh của GGBFS. Phụ gia hệ Na^{+} có tính kiềm mạnh, tác động trực tiếp vào cấu trúc thủy tinh, hòa tan Si^{4+}, Al^{3+}, Ca^{2+} từ GGBFS. Từ đó làm tăng nhanh nồng độ ion trong dung dịch để các phản ứng tạo C-S-H, C-A-S-H diễn ra mạnh mẽ hơn trong thời gian đầu.

Hiện nay, ở Việt Nam, chưa có nghiên cứu sâu về các phụ gia hệ Na^{+}. Việc nghiên cứu ảnh hưởng của phụ gia NaOH và Na_2SO_4 đến cường độ tuổi sớm ngày của bê tông nhẹ sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay và xỉ hạt lò cao nghiền mịn hàm lượng lớn đã được nhóm tác giả thực hiện. Kết quả nghiên cứu bước đầu cho thấy việc sử dụng phụ gia hóa học NaOH và Na_2SO_4 đã nâng cao được cường độ bê tông sử dụng hỗn hợp xi măng Poóc lăng thường (OPC) và GGBFS lên tới 22,2 % tại tuổi 3 ngày.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

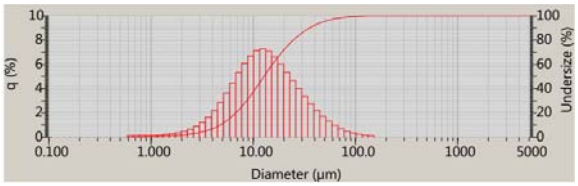
Vật liệu được sử dụng để nghiên cứu là các vật liệu sẵn có tại Việt Nam, được thử nghiệm và đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật quy định tại tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) hiện hành. Cụ thể như sau:

a. Chất kết dính

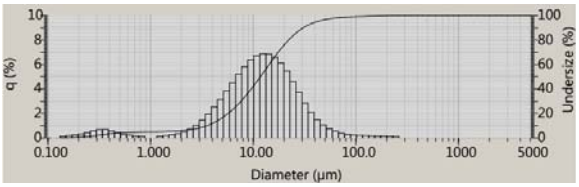
Chất kết dính (CKD) được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: xi măng poóc lăng Nghi Sơn PC50 phù hợp với TCVN 2682:2020 và xỉ hạt lò cao nghiền mịn S95 của Tập đoàn Hòa Phát đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 11586:2016. Một số tính chất của chất kết dính được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1: Tính chất cơ lý của xi măng Nghi Sơn PC50 và GGBFS - S95

Tính chất cơ lý	Xi măng	GGBFS
Khối lượng riêng, g/cm^3	3,07	2,85
Kích thước hạt trung bình, µm	12,73	11,73
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,%	-	108,2



Hình 1: Biểu đồ thành phần hạt của xi măng



Hình 2: Biểu đồ thành phần hạt của GGBFS

b. Cốt liệu

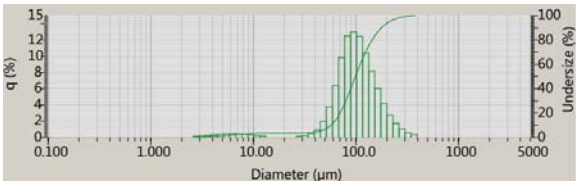
Hỗn hợp cốt liệu được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm:

- Cát vàng tự nhiên được sàng, sử dụng cỡ hạt từ 0,14 mm đến 1,25 mm, đạt loại thô (Mn = 2,25) theo TCVN 7570:2006.

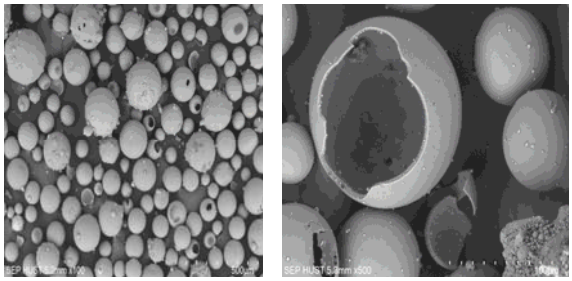
- Cenospheres - hạt vi cầu rỗng từ tro bay (FAC): Kết quả phân tích thành phần hạt cho thấy FAC được sử dụng có kích thước hạt từ 5 µm đến 400 µm, tập trung chủ yếu trong khoảng 50 µm đến 180 µm. Thông qua hình ảnh chụp SEM các hạt FAC dập vỡ có chiều dày thành vách của các hạt chủ yếu trong khoảng 5 µm đến 20 µm tùy thuộc vào đường kính của hạt. Vì vậy, hạt Cenospheres được phân loại thành cốt liệu nhẹ, mịn trong hỗn hợp bê tông [13]. Các tính chất của cốt liệu thử nghiệm được đưa ra ở Bảng 2.

Bảng 2: Các tính chất cơ lý của cốt liệu thử nghiệm

Tính chất cơ lý	FAC	Cát vàng 0,14-1,25
Khối lượng riêng, g/cm^3	-	2,63
Khối lượng thể tích hạt, g/cm^3	0,785	-
Hàm lượng bụi, bùn, sét, %	0,14	0,3
Kích thước hạt trung bình, µm	98,8	-



Hình 3: Biểu đồ thành phần hạt của hạt cenospheres



Hình 4: Hình dạng bề mặt hạt Cenospheres qua kính hiển vi điện tử SEM

c. Phụ gia

Hỗn hợp phụ gia được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: Phụ gia giảm nước gốc polycarboxylate Ether (PCE) thỏa mãn yêu cầu theo TCVN 8826:2024 và phụ gia phát triển cường độ tuổi sớm: NaOH và Na_2SO_4. Một số tính chất của phụ gia được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3: Một số tính chất của phụ gia

Tính chất cơ lý	PCE	NaOH	Na_2SO_4
Tỷ trọng, g/cm^3	1,09	2,1	2,66
Khả năng giảm nước so với bê tông đối chứng, %	35,1	-	-

d. Nước trộn

Nước sinh hoạt được sử dụng làm nước trộn trong nghiên cứu thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 4506:2012.

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 3121:2022. 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

a. Cấp phối

Chất kết dính gồm xi măng PC50 và GGBFS với tỷ lệ thay thế 50 % khối lượng xi măng với tổng hàm lượng chất kết dính là 850 kg/m^3, tỷ lệ nước/chất kết dính (N/CKD) = 0,3.

Cấp phối sử dụng cố định hàm lượng FAC bằng 28 % theo thể tích của hỗn hợp bê tông, tỷ lệ cát/ FAC = 52% theo thể tích.

Phụ gia sử dụng trong nghiên cứu bao gồm:

- Na_2SO_4 với các hàm lượng: 0; 0,5; 1,0; 1,5 và 2,0% theo khối lượng so với hỗn hợp chất kết dính (CKD).

- NaOH sử dụng với tỷ lệ: 0; 0,1; 0,2; 0,3 và 0,4% theo khối lượng so với hỗn hợp chất kết dính (CKD).

- Phụ gia PCE sử dụng với hàm lượng trung bình là 1,4% hàm lượng CKD, và được điều chỉnh đạt độ lưu động của hỗn hợp ngay sau khi trộn 180 ± 20 mm theo TCVN 3121-3:2022.

Tỷ lệ vật liệu sử dụng cho 1 m^3 bê tông thể hiện ở Bảng 4.

b. Trộn, đúc mẫu và bảo dưỡng

Quá trình trộn, đúc và bảo dưỡng được thực hiện theo TCVN 3121:2022.

Bảng 4: Tỷ lệ thành phần vật liệu sử dụng cho 1 m^3 bê tông

STT	Cấp phối thử nghiệm	Hàm lượng FAC (% theo thể tích)	Tỷ lệ Cát/FAC (% theo thể tích)	Tỷ lệ N/CKD	PCE so với CKD (% theo khối lượng)	NaOH so với CKD (% theo khối lượng)	Na_2SO_4 so với CKD (% theo khối lượng)
1	M0 (Mẫu đối chứng)	27	50	0,3	1,4	0	0
2	M1-NA 0,1	27	50	0,3	1,4	0,1	-
3	M2-NA 0,2	27	50	0,3	1,4	0,2	-
4	M3-NA 0,3	27	50	0,3	1,4	0,3	-
5	M4-NA 0,4	27	50	0,3	1,4	0,4	-
6	M5-NS 0,5	27	50	0,3	1,4	-	0,5
7	M6-NS 1,0	27	50	0,3	1,4	-	1,0
8	M7-NS 1,5	27	50	0,3	1,4	-	1,5
9	M8-NS 2,0	27	50	0,3	1,4	-	2,0

3. KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM

Để đánh giá hiệu quả của phụ gia, các mẫu thử sử dụng phụ gia được tiến hành xác định khối lượng thể tích và cường độ nén theo TCVN 3121-10,11:2022 và so sánh với mẫu đối chứng không sử dụng phụ gia (M0). Kết quả thử nghiệm được thể hiện trong Bảng 5.

Bảng 5: Kết quả cường độ nén và khối lượng thể tích

Cấp phối thử nghiệm	KLTT Kg/m^3	Cường độ nén, MPa		
		R_3 / % $R_3^{ĐC}$	R_7 / % $R_7^{ĐC}$	R_{28} / % $R_{28}^{ĐC}$
M0	1.748	31,23	39,04	59,35
		100	100	100
M1-NA 0,1	1.749	34,99	41,74	59,42
		12,04	6,92	0,12
M2-NA 0,2	1.750	37,21	43,27	60,18
		19,15	10,84	1,40
M3-NA 0,3	1.750	38,15	45,58	60,54
		22,16	16,75	2,01
M4-NA 0,4	1.751	37,08	43,34	58,86
		18,73	11,01	-0,83
M5-NS 0,5	1.753	34,40	40,76	59,56
		10,15	4,41	0,35
M6-NS 1,0	1.755	34,78	42,22	60,79
		11,37	8,15	2,43
M7-NS 1,5	1.756	32,52	41,57	59,55
		4,13	6,48	0,34
M8-NS 2,0	1.759	31,89	40,33	57,88
		2,11	3,30	-2,48

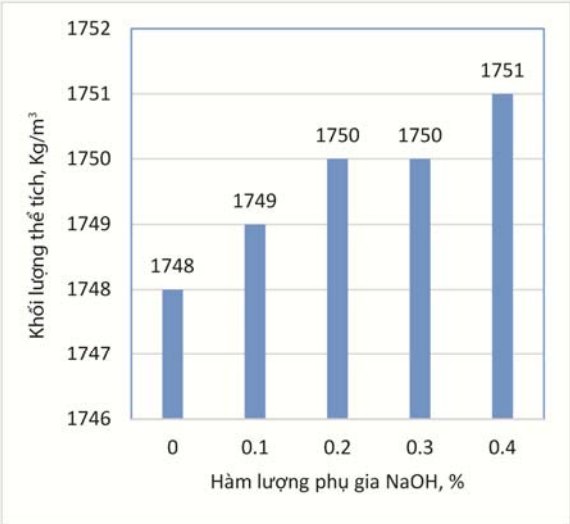
Qua kết quả thí nghiệm, bước đầu có thể phân tích, đánh giá hiệu quả sử dụng các loại phụ gia như sau:

3.1. Về khối lượng thể tích

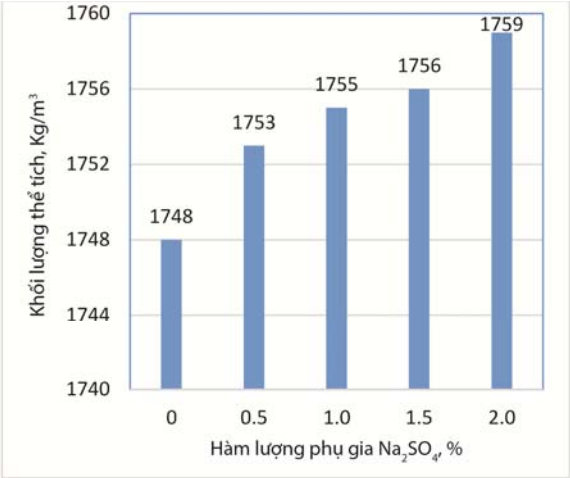
Sự ảnh hưởng của hàm lượng NaOH và Na_2SO_4 đến khối lượng thể tích của bê tông được thể hiện trong Hình 5 và Hình 6.

Từ kết quả thử nghiệm (Hình 5,6) cho thấy khối lượng thể tích của bê tông tăng tỷ lệ thuận với hàm lượng phụ gia hệ Na^+. Khi hàm lượng phụ gia NaOH tăng từ 0% đến 0,4% và Na_2SO_4 tăng từ 0% lên 2,0% thì khối lượng thể tích của bê tông tăng không đáng kể, khoảng 0,17% và 0,63%.

Do hàm lượng sử dụng và khối lượng riêng của Na_2SO_4 cao hơn so với NaOH nên khối lượng thể tích bê tông dùng Na_2SO_4 cho giá trị cao hơn so với dùng NaOH, tuy nhiên vẫn nằm trong phạm vi của loại bê tông nhẹ (khối lượng thể tích nhỏ hơn 2.000 kg/m^3).



Hình 5: Ảnh hưởng của hàm lượng NaOH đến khối lượng thể tích

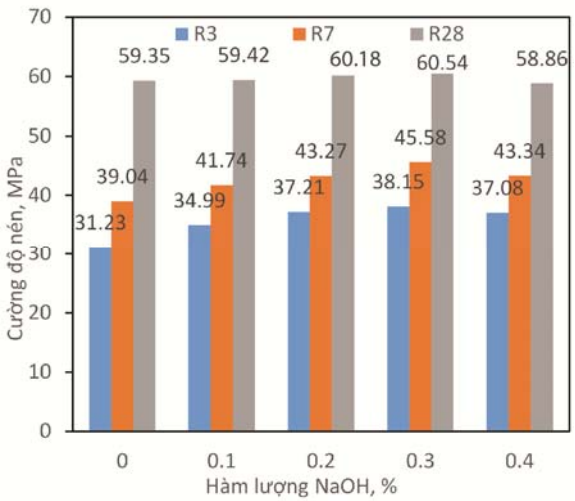


Hình 6: Ảnh hưởng của hàm lượng Na_2SO_4 đến khối lượng thể tích

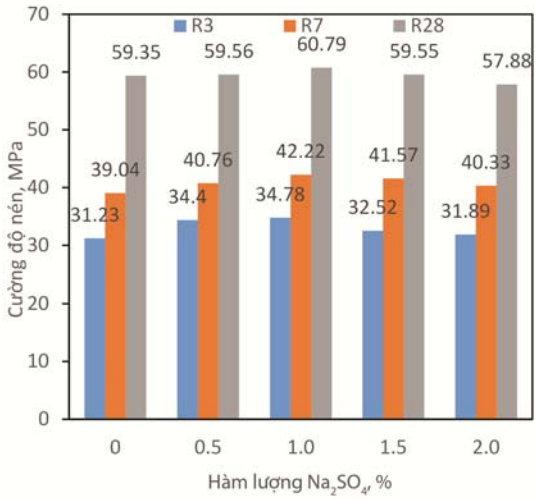
3.2. Về cường độ nén

a. Ảnh hưởng của hàm lượng natri hydroxyde

Sự ảnh hưởng của hàm lượng natri hydroxyde đến cường độ nén của bê tông được thể hiện trong Hình 7 như sau:



Hình 7: Ảnh hưởng của hàm lượng NaOH đến cường độ nén



Hình 8: Ảnh hưởng của hàm lượng Na_2SO_4 đến cường độ nén

Nhận thấy rằng, khi tăng hàm lượng sử dụng NaOH với các tỷ lệ: 0; 0,1; 0,2; 0,3 và 0,4% thì cường độ nén của bê tông tăng dần và đạt giá trị cực đại tại liều dùng 0,3% ở tất cả các tuổi 3, 7 và 28 ngày. Khi sử dụng hàm lượng NaOH bằng 0,3% thì cường độ nén của bê tông ở tuổi 3 ngày tăng mạnh nhất 22,2% so với mẫu đối chứng và bắt đầu giảm dần 16,8% ở tuổi 7 ngày và 2,0% ở tuổi 28 ngày. Khi tỷ lệ sử dụng NaOH vượt qua 0,3% thì cường độ nén của bê tông bắt đầu giảm nhẹ. Tại hàm lượng NaOH bằng 0,4% thì cường độ nén của bê tông chỉ tăng 18,7%, 11,0% và –0,8% so với mẫu đối chứng ở tuổi 3, 7 và 28 ngày.

Có thể thấy, Khi phụ gia NaOH có mặt trong bê tông sẽ tham gia, kích thích quá trình thủy hóa của xi măng và GGBFS, để tạo các sản phẩm hydrat hóa C-S-H trong giai đoạn đầu, giúp bê tông phát triển cường độ nhanh chóng. Tuy nhiên, cường độ nén tại tuổi 7 và 28 ngày sẽ giảm dần do ảnh hưởng này không còn quá mạnh so với tốc độ thủy hóa tự nhiên của chất kết dính. Mặt khác, khi vượt quá hàm lượng dùng NaOH tối ưu (0,3%) sẽ gây ra phản ứng kiềm quá mạnh, tao gel kiềm dư và làm khuyết tật cấu trúc và giảm dần cường độ.

b. Ảnh hưởng của hàm lượng natri sulphat

Sự ảnh hưởng của hàm lượng Na_2SO_4 đến cường độ nén của bê tông được thể hiện trong Hình 8 như sau:

Từ kết quả thử nghiệm, nhận thấy rằng, khi sử dụng phụ gia Na_2SO_4 cho bê tông nhẹ thì cường độ của bê tông tăng ở các tuổi 3, 7, 28 ngày và ảnh hưởng mạnh nhất ở 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 nén của các mẫu tăng dần và đạt cực đại tại hàm lượng sử dụng 1,0%. Khi hàm lượng lớn hơn 1,0%, cường độ nén bê tông bắt đầu giảm nhẹ. Khi tuổi bê tông càng cao thì mức độ ảnh hưởng của Na_2SO_4 yếu dần và gần như không còn tác dụng ở tuổi 28 ngày.

Ảnh hưởng của việc tăng hàm lượng Na_2SO_4 từ 0; 0,5; 1,0; 1,5 đến 2,0% được thể hiện trong Hình 4, cường độ bê tông đạt giá trị cao nhất ở tỷ lệ 1,0% ở tất cả tuổi 3, 7 và 28 ngày, tương ứng với các giá trị 34,78; 42,22 và 60,79 MPa. Tỷ lệ tăng cường độ nén bê tông của mẫu sử dụng phụ gia Na_2SO_4 với hàm lượng 1,0% so với mẫu đối chứng là 11,4%; 8,0%; 2,0% tương ứng mẫu ở 3, 7 và 28 ngày tuổi.

Có thể thấy rằng, mức độ ảnh hưởng của hàm lượng sử dụng Na_2SO_4 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 Na_2SO_4 yếu dần và gần như không còn tác dụng ở tuổi 28 ngày.

4. KẾT LUẬN

Qua nghiên cứu, có thể thấy việc sử dụng phụ gia NaOH và Na_2SO_4 cho bê tông nhẹ sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay và GGBFS đã làm tăng cường độ nén bê tông tuổi sớm. Tỷ lệ dùng tối ưu để đạt cường độ nén bê tông tuổi sớm ngày của

phụ gia NaOH trong bê tông nhẹ sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay và GGBFS là 0,3% và 1,0% khi dùng phụ gia Na_2SO_4. Vượt quá mức tối ưu cường độ nén của bê tông giảm nhẹ ở tất cả các tuổi 3, 7 và 28 ngày. Tuy nhiên, cường độ ở tuổi 28 ngày giảm không đáng kể (lên tới 0,83% đối với phụ gia NaOH và 2,48% đối với phụ gia Na_2SO_4) so với với mẫu đối chứng.

Từ kết quả nghiên cứu của bài báo cần có thêm các nghiên cứu nâng cao tỉ lệ thay thế xi măng bằng GGBFS để làm tăng hiệu quả sử dụng phế thải ngành công nghiệp, tiết kiệm tài nguyên và năng lượng, giảm chi phí xử lý và sản xuất, bảo vệ môi trường lâu dài.

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

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

[8] 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.

[9] 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).

[10] 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

[11] 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

[12] 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)

[13] 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.