

Ảnh hưởng của chế độ dưỡng hộ đến cường độ chịu nén của bê tông nhẹ sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay

Effect of curing regimes on compressive strength of lightweight concrete using fly ash cenospheres

Phạm Thanh Mai⁽¹⁾, Lê Việt Hùng⁽²⁾, Phạm Hồng Khoa⁽³⁾

Tóm tắt

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của các chế độ dưỡng hộ khác nhau đến cường độ chịu nén của bê tông nhẹ kết cấu cường độ cao, sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay (còn gọi là hạt cenosphere - FAC) và hệ chất kết dính đa cấu tử (xi măng kết hợp với phụ gia khoáng). Các kết quả nghiên cứu cho thấy, ở chế độ dưỡng hộ autoclave (210°C, 2MPa) cường độ nén của bê tông cao hơn so với mẫu dưỡng hộ ở chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm (70°C và 90°C, RH ≥ 95%) và dưỡng hộ tiêu chuẩn (27 ± 20°C, RH ≥ 95%). Cường độ nén cao nhất đạt được gần 80 MPa khi dưỡng hộ autoclave, tăng gần 20% so với mẫu bảo dưỡng theo chế độ dưỡng hộ tiêu chuẩn.

Từ khóa: Bê tông nhẹ, hạt vi cầu rỗng từ tro bay, cường độ nén, chế độ dưỡng hộ

Abstract

This paper presents the research results of the influence of different curing regimes on the compressive strength of structural lightweight concrete, using fly ash cenosphere (FAC) and multi-component binder system (cement combined with mineral additives). The experimental results show that the curing regimes influence significantly the development of the compressive strength of concrete, in which the autoclave curing (210°C, 2MPa) improves the compressive strength higher compared with others (post-heat treatment curing (70°C and 90°C, W ≥ 95%) and standard curing (27 ± 2°C, W ≥ 95%)). The highest compressive strength was nearly 80 MPa, approximately 20% higher than the standard curing sample.

Key words: Lightweight concrete, fly ash cenospheres, compressive strength, curing regimes

⁽¹⁾ ThS, Giảng viên, Khoa Xây dựng
Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội
Email: maipth@hau.edu.vn; ĐT: 0964756999

⁽²⁾ ThS, Trung tâm Bê tông – Xi măng
Viện Vật liệu xây dựng
Email: lvhung210@gmail.com; ĐT 0989994225

⁽³⁾ TS, Giảng viên, Đại học Hải Phòng
Email: hongkhoakt@gmail.com, 0967727788

Ngày nhận bài: 19/5/2022
Ngày sửa bài: 26/5/2022
Ngày duyệt đăng: 02/01/2024

1. Giới thiệu

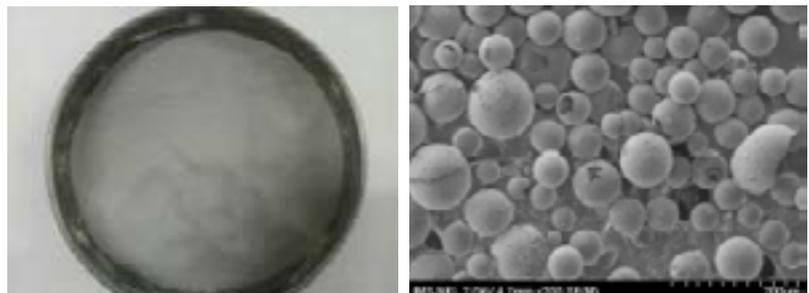
Nghiên cứu phát triển bê tông nhẹ với tính năng cao, đặc biệt là bê tông nhẹ cho chế tạo kết cấu chịu lực vẫn là một chủ đề luôn được quan tâm nghiên cứu trong lĩnh vực bê tông. Điều này cũng phù hợp với xu hướng chế tạo và ứng dụng bê tông hiện nay trong các công trình xây dựng đó là sử dụng các loại bê tông mác cao, bê tông tính năng cao và bê tông cốt thép dự ứng lực trong công trình xây dựng. Bê tông nhẹ sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay (fly ash cenosphere - FAC) là loại bê tông nhẹ với nhiều tính năng nổi trội so với bê tông nhẹ truyền thống như độ hút nước thấp nên có thể sử dụng cho kết cấu bê tông cốt thép cho các tòa nhà cao tầng, kết cấu đường giao thông, các kết cấu kiến trúc phức tạp góp phần nâng cao chất lượng công trình, giảm giá thành xây dựng. FAC là các hạt nhẹ có trong tro bay nhiệt điện, khối lượng thể tích của chúng thường từ 400 – 900 kg/m³, kích thước các hạt chủ yếu từ 20 – 300 μm [1,2,], lớn so với tro bay thông thường. Các hạt FAC có lớp vỏ có khả năng chống thấm khí và nước, khả năng kháng nén dập của hạt khoảng 15,6 – 17,5 MPa [3]. Vì vậy, các nghiên cứu về việc sử dụng FAC làm vi cốt liệu nhẹ cho bê tông nhẹ rất được quan tâm trong nhiều năm gần đây. Bê tông nhẹ sử dụng hạt FAC có khối lượng thể tích thấp và cường độ cao hơn so với các loại bê tông cốt liệu nhẹ truyền thống. Bên cạnh đó, loại bê tông nhẹ này khi được chế tạo dưới dạng bê tông đúc sẵn nếu có chế độ bảo dưỡng nhiệt ẩm để đẩy nhanh phát triển cường độ có thể mang lại hiệu quả kinh tế kỹ thuật và có thể đưa ra được dự đoán cường độ tuổi dài ngày của loại bê tông này trong thời gian ngắn, tương tự như phương pháp áp dụng với bê tông thông thường mà không cần phải đợi bê tông phát triển đến tuổi 28 ngày.

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ dưỡng hộ hợp lý để thúc đẩy tốc độ phát triển cường độ của bê tông nhẹ sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay (FAC) và hệ chất kết dính đa cấu tử (xi măng kết hợp với phụ gia khoáng) được phát triển cho kết cấu bê tông nhẹ chịu lực với khối lượng thể tích không lớn hơn 1800 kg/m³, cường độ nén cao.

2. Vật liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu sử dụng

Các vật liệu sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm: xi măng PC50 Nghi Sơn đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 2682-2009; hạt vi cầu rỗng từ tro bay (fly ash cenosphere - FAC) từ tro bay Sông Đà Cao Cường theo TCVN 10302-2014; xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) của Công ty Tài nguyên CHC Việt Nam loại S95 theo TCVN 11586-2016; silica fume (SF) dạng bột rời của hãng Elkem, có hàm lượng SiO₂ là 91,84% theo TCVN 8827-2011; phụ gia siêu dẻo (PGSD) dạng lỏng, gốc polycarboxylate ether (PCE), nhãn hiệu ViscoCrete 3000-20 của hãng Sika, tỷ trọng 1,2 g/cm³, khả năng giảm nước 38% theo TCVN 8826-2011; nước sử dụng là nước máy, thỏa mãn yêu cầu theo tiêu chuẩn TCVN 4506-2012.



Hình 1. Hạt cenospheres trong nghiên cứu

Bảng 1. Thành phần hoá của vật liệu

Vật liệu	Thành phần hóa, % khối lượng										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	CaO _{td}	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	TiO ₂	MKN
PC50	19.4	5.22	3.4	1.61	63.5	0.24	0.91	-	2.25	0.59	1.23
FAC	60.2	26.61	2.79	1.81	0.28	-	5.91	0.28	-	0.28	0.43
GGBFS	35.54	10.95	0.72	9.2	40.95	-	0.67	0.43	0.14	0.32	0.99

Bảng 2. Tính chất cơ lý của vật liệu

TT	Chỉ tiêu	Đơn vị	PC50	FAC	GGBFS	SF
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	3.07	0.81	2.92	2.15
2	Khối lượng thể tích hạt	kg/m ³	-	780	-	-
3	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	-	430	-	-
4	Độ mịn	cm ² /g	3850	-	5090	-
5	Lượng sót sàng 45 µm	%	-	-	-	2.4
6	Đường kính trung bình	µm	-	116.6	-	-
7	Hệ số kiểm tính		-	-	1.72	-
8	Lượng nước tiêu chuẩn	%	26.4	-	-	-
9	Thời gian đông kết	phút				
	- Bắt đầu		120	-	-	-
	- Kết thúc		170	-	-	-
10	Cường độ nén	MPa				
	- 3 ngày		37.8	-	-	-
	- 28 ngày		53.4	-	-	-

Bảng 3. Cấp phối thí nghiệm

Ký hiệu cấp phối	Thành phần PGK (% theo khối lượng CKD)		Thành phần cấp phối cho 1m ³ bê tông					
			PC50 (kg)	SF (kg)	GGBFS (kg)	FAC (kg)	PGSD (l)	Nước (l)
	SF	GGBFS						
OPC100	0	0	770	0	0	341	3.85	308
SF10GS0	10	0	693	77.0	0	332	4.54	308
SF10GS20	10	20	539	77.0	154	329	3.85	308
SF10GS40	10	40	385	77.0	308	327	2.93	308
SF10GS60	10	60	231	77.0	462	324	2.31	308

Thành phần hoá và các tính chất của các vật liệu sử dụng trong nghiên được thể hiện trong bảng 1 và bảng 2 tương ứng.

Hình dạng hạt cenospheres sử dụng trong nghiên cứu (Hình1).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Độ lưu động (độ chảy xoè) của hỗn hợp bê tông (HHBT) được xác định theo TCVN 3121-3:2003, khối lượng thể tích (KLTT) của HHBT xác định theo TCVN 3121-6:2003. Cường độ nén của mẫu được xác định với mẫu 40x40x160 mm theo TCVN 3121-11:2003. Các mẫu được đúc và dưỡng hộ ở điều kiện tiêu chuẩn trong thời gian 24h ± 3h, mẫu được tháo ra khỏi khuôn và chia thành 3 nhóm bảo dưỡng ở các chế độ dưỡng hộ khác nhau: (1) Dưỡng hộ tiêu chuẩn – DHTC (27 ± 2°C, RH ≥ 95%); (2) Dưỡng hộ nhiệt ẩm (70°C và 90°C, RH ≥ 95%); (3) Dưỡng hộ autoclave – AC (210°C, 2MPa).

2.3. Cấp phối nghiên cứu

Các cấp phối bê tông sử dụng chất kết dính (CKD) gồm xi măng PC50 và phụ gia khoáng (PGK) với thành phần khác

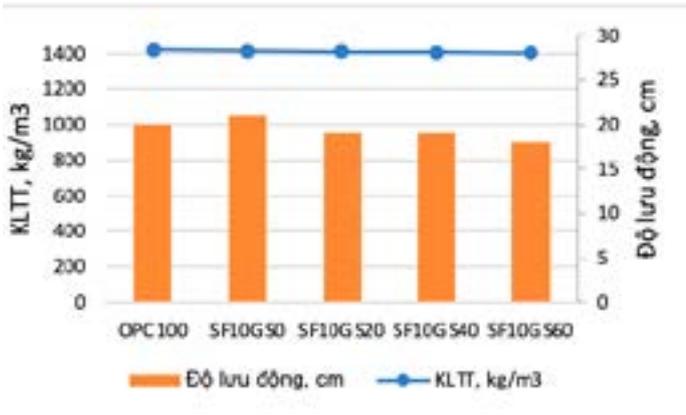
nhau. PGK khảo sát gồm 10% SF kết hợp với GGBFS ở tỷ lệ 0, 20, 40 và 60% tính theo khối lượng CKD. Các cấp phối bê tông có cùng tỷ lệ N/CKD = 0.4. Chi tiết thành phần cấp phối bê tông nghiên cứu thể hiện trong Bảng 3.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Khối lượng thể tích và tính công tác của hỗn hợp bê tông nhẹ

Tính công tác của HHBT được đánh giá qua độ lưu động (độ chảy xoè). Kết quả thí nghiệm khối lượng thể tích (KLTT) và độ lưu động của HHBT trong nghiên cứu với tỷ lệ N/CKD = 0.4 thể hiện trong bảng kết quả ở bảng 4 và đồ thị (Hình 2).

Kết quả thí nghiệm cho thấy khối lượng thể tích của HHBT thay đổi không đáng kể. Với các mẫu sử dụng chất kết dính gồm xi măng kết hợp với SF và GGBFS, độ lưu động của HHBT giảm không nhiều (5-10%) điều này có thể giải thích là do xỉ lò cao và silica fume có độ mịn lớn (Bảng 2) nên tổng diện tích bề mặt riêng trong hệ tăng lên làm giảm lượng nước tự do trong hệ, do đó tính linh động của hỗn hợp bê tông có xu hướng giảm.


Hình 1a. Khối lượng thể tích và độ lưu động của HHBT

3.2. Ảnh hưởng của chế độ dưỡng hộ đến cường độ chịu nén của bê tông

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ dưỡng hộ đến cường độ chịu nén của bê tông nhẹ sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay thể hiện trong bảng kết quả sau:

Từ kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén của bê tông với các điều kiện dưỡng hộ khác nhau như thể hiện trong Hình 2 và 3 cho thấy hiệu quả cải thiện cường độ rõ ràng của dưỡng hộ nhiệt ẩm đối với cường độ chịu nén của bê tông ở các tuổi thí nghiệm 3 và 28 ngày. Hiệu quả tăng cường độ nén của phương pháp dưỡng hộ nhiệt ẩm theo thứ tự: dưỡng hộ autoclave (210°C, 2 MPa) > dưỡng hộ nhiệt ẩm ở 90°C > dưỡng hộ nhiệt ẩm ở 70°C > dưỡng hộ tiêu chuẩn ở 27°C và RH ≥ 95%. Việc dưỡng hộ nhiệt ẩm được cho là đẩy nhanh quá trình thủy hóa của xi măng và phản ứng puzolan của phụ gia khoáng như SF và GGBFS đã được biết đến rộng rãi. Ngoài ra, ở nhiệt độ trên 150°C có sự hình thành các khoáng tobermorite ($\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), và trên 200°C hình thành khoáng xonotlite ($\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{17}(\text{OH})_2 - \text{C}_6\text{S}_6\text{H}$) có cấu trúc tinh thể nhỏ, độ đặc chắc cao hơn so với tinh thể CSH đã được nhiều nghiên cứu chỉ ra đã góp phần làm tăng cường độ của bê tông [6,7].

Đánh giá về ảnh hưởng của chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm tới mức độ phát triển cường độ các cấp phối bê tông nghiên cứu cho thấy, khi dưỡng hộ nhiệt ẩm thì cường độ chịu nén tăng tương ứng với nhiệt độ dưỡng hộ và vượt so với chế độ dưỡng hộ tiêu chuẩn trong khoảng 27,3-44,8%, 34,8-62,7% và 58,5-90,4% tương ứng ở các chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm ở 70°C, 90°C và autoclave ở tuổi 3 ngày.

Việc tăng cường độ nén của bê tông khi được dưỡng hộ nhiệt ngoài nguyên nhân do đẩy nhanh mức độ thủy hóa của chất kết dính và hình thành các khoáng thủy hóa đặc chắc hơn so với khoáng CSH như phân tích ở trên còn do của việc sử dụng FAC làm cốt liệu dưới tác động của điều kiện nhiệt

Bảng 4. Khối lượng thể tích và độ lưu động của HHBT

Ký hiệu mẫu	KLTT, kg/m ³	Độ lưu động, cm
OPC100	1423	20
SF10GS0	1414	21
SF10GS20	1411	19
SF10GS40	1408	19
SF10GS60	1405	18

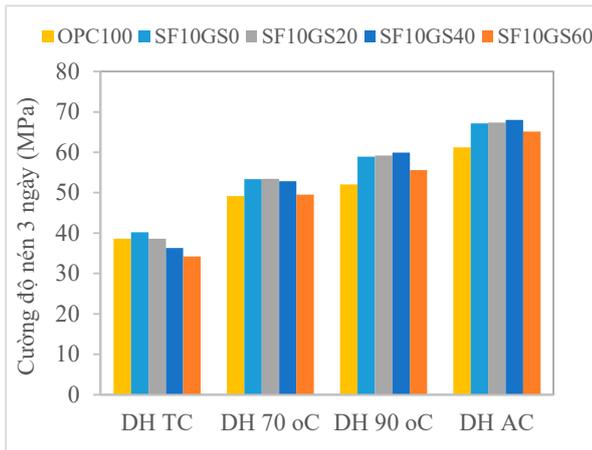
ẩm đã làm đẩy nhanh quá trình phản ứng puzolan của các hạt FAC ở giai đoạn sớm so với ở điều kiện tiêu chuẩn (phản ứng puzolan của các hạt FAC là rất chậm). Điều này làm cải thiện sự liên kết giữa đá mắng và các hạt FAC vốn được cho là vùng yếu trong cấu trúc của bê tông sử dụng FAC. Kết quả này cũng tương đồng với kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của dưỡng hộ nhiệt ẩm trong việc cải thiện cường độ và vi cấu trúc vùng tiếp giáp giữa các hạt FAC và đá xi măng của bê tông cenospheres [6,7,8].

Hình 4 và 5 thể hiện kết quả cường độ chịu nén của bê tông với phụ gia khoáng có thành phần khác nhau ở các tuổi khảo sát 3 và 28 ngày. Cường độ chịu nén 3 ngày của các cấp phối sử dụng phụ gia khoáng gồm 10%SF và 20-60% GGBFS khi dưỡng hộ nhiệt ẩm ở 90°C và dưỡng hộ autoclave tương ứng đã xấp xỉ bằng và cao hơn so với cường độ nén 28 ngày dưỡng hộ tiêu chuẩn. Cường độ chịu nén khi được dưỡng hộ nhiệt ẩm tăng trong khoảng 58,9-59,9%, 46,5-65,1% và 67-90,4% tương ứng ở các chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm ở 70°C, 90°C và autoclave ở tuổi 3 ngày với các cấp phối sử dụng 10% SF và 10% SF + 20-60% GGBFS. Tuy nhiên, có thể thấy với chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm ở 70°C và 90°C thì cấp phối sử dụng 60% GGBFS cho mức tăng cường độ so với dưỡng hộ tiêu chuẩn thấp hơn so với cấp phối 40% GGBFS. Về mức phát triển cường độ với chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm ở 70°C, 90°C và autoclave sau 3 ngày thì cường độ bê tông tương ứng đã đạt 76-84%, 78-90% và 86-95% so với cường độ tuổi 28 ngày, trong khi cường độ đạt 63-65% khi dưỡng hộ tiêu chuẩn. Như vậy, các kết quả thí nghiệm cho thấy hiệu quả tăng cường độ chịu nén ở tuổi sớm của bê tông khi được dưỡng hộ nhiệt ẩm ở 70°C, 90°C trong 48h ± 3h và chưng áp autoclave 8h là rất rõ ràng. Mức hiệu quả phát triển cường độ càng cao khi hàm lượng phụ gia khoáng là SF và GGBFS thay thế xi măng càng lớn.

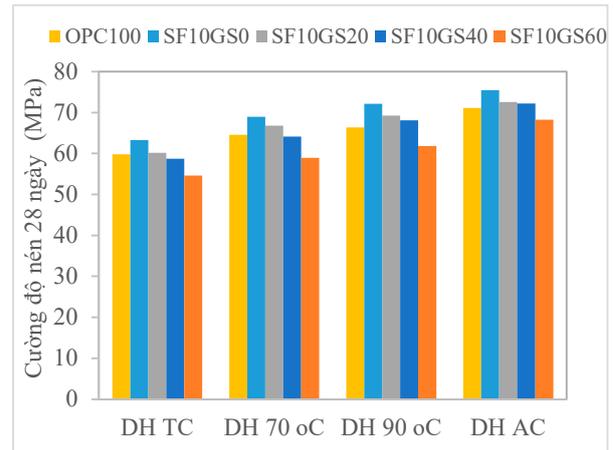
Như vậy, có thể thấy rằng chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm và autoclave đã giúp phát triển cường độ chịu nén của bê tông

Bảng 5. Cường độ chịu nén của bê tông với các chế độ dưỡng hộ khác nhau

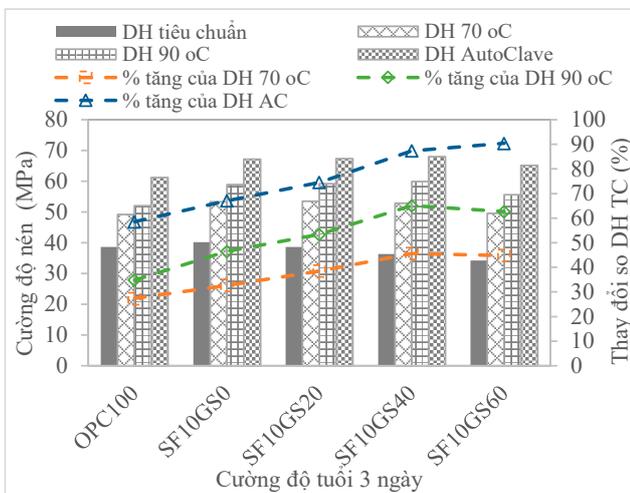
Ký hiệu mẫu	Cường độ chịu nén của bê tông với các chế độ dưỡng hộ							
	Tuổi 3 ngày, R3, MPa				Tuổi 28 ngày, R28, MPa			
	DHTC	70°C	90°C	AC	DHTC	70°C	90°C	AC
OPC100	38.6	49.1	52.0	61.2	59.8	64.6	66.4	71.2
SF10GS0	40.2	53.3	58.9	67.2	63.3	69.0	72.2	75.5
SF10GS20	38.6	53.5	59.2	67.4	60.2	66.8	69.2	72.6
SF10GS40	36.3	52.9	59.9	68.0	58.7	64.2	68.1	72.2
SF10GS60	34.2	49.5	55.6	65.1	54.6	59.0	61.8	68.3



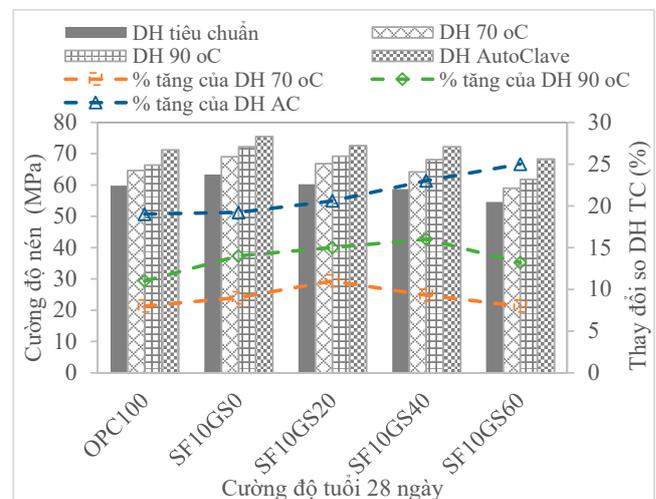
Hình 2. Ảnh hưởng chế độ dưỡng hộ đến cường độ chịu nén 3 ngày



Hình 3. Ảnh hưởng chế độ dưỡng hộ đến cường độ chịu nén 28 ngày



Hình 4. Ảnh hưởng loại CKD đến cường độ chịu nén 3 ngày



Hình 5. Ảnh hưởng loại CKD đến cường độ chịu nén 28 ngày

ở cả tuổi sớm và tuổi muộn, ở tuổi sớm thì bê tông cũng có thể đạt khoảng 80% cường độ cuối cùng sau khi dưỡng hộ nhiệt ẩm và autoclave. Đối với bê tông có sử dụng hàm lượng phụ gia khoáng lớn thì chế độ dưỡng hộ phù hợp sẽ là một trong những yếu tố quan trọng để chế tạo bê tông.

4. Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu đã trình bày có thể rút ra một số kết luận như sau:

Dưỡng hộ nhiệt ẩm ở 70°C, 90°C và autoclave ở 210°C thúc đẩy phát triển cường độ tuổi sớm và tuổi 28 ngày của bê tông nhẹ sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay. Mức độ tăng

cường độ bê tông theo hướng dưỡng hộ autoclave > dưỡng hộ nhiệt ẩm 90°C > dưỡng hộ nhiệt ẩm 70°C > dưỡng hộ tiêu chuẩn ở 27°C.

Hiệu quả tăng cường độ chịu nén của bê tông sử dụng hạt vi cầu rỗng từ tro bay khi dưỡng hộ nhiệt ẩm ở 70°C, 90°C và autoclave ở 210°C tăng hơn khi sử dụng phụ gia khoáng (10% SF + 20-60% GGBFS). Hiệu quả có thể thấy rõ thông qua cường độ chịu nén 3 ngày của bê tông sử dụng phụ gia khoáng gồm 10% SF và 20-60% GGBFS khi dưỡng hộ nhiệt ẩm ở 90°C đã xấp xỉ bằng trong khi dưỡng hộ autoclave cho cường độ cao hơn cường độ chịu nén 28 ngày dưỡng hộ tiêu chuẩn./.

Tài liệu tham khảo

- Ranjbar, N., Kuenzel, C. Cenosphere: A review. *Fuel*, 207:1-12, 2017.
- Hanif, A., Lu, Z., Li, Z. Utilization of fly ash cenosphere as lightweight filler in cement-based composites – A review. *Construction and Building Materials*, 144:373-384, 2017.
- Liu, F., Wang, J., Qain, X., Hollingsworth, J. Internal curing of high performance concrete using cenospheres. *Cement and Concrete Research*, 95:39-46, 2017.
- S. K. Patel, H. P. Satpathy, A. N. Nayak, and C. R. Mohanty. Utilization of fly ash cenosphere for production of sustainable lightweight concrete. *Journal of The Institution of Engineers*, 179-194, 2020.
- S. D. D. Montgomery. The influence of fly ash cenospheres on the details of cracking in fly ash-bearing cement pastes. *Cem. Concr. Res.* 14, 767-775, 1984.
- M. Cheyreyzy, V. Maret, L. J. C. Frouin, and c. research, "Microstructural analysis of RPC (reactive powder concrete)," vol. 25, no. 7, pp. 1491-1500, 1995.
- J.-Y. Wang, M.-H. Zhang, W. Li, K.-S. Chia, and R. J. Liew, "Stability of cenospheres in lightweight cement composites in terms of alkali-silica reaction," *Cement and Concrete Research*, vol. 42, no. 5, pp. 721-727, 2012.
- D. S. Montgomery D., "The influence of fly ash cenospheres on the details of cracking in fly ash-bearing cement pastes (1984)," *Cem. Concr. Res.* 14 (1984) 767-775, 1984.