

Nghiên cứu các tính chất của bê tông hàm lượng tro bay cao HVFC

Đỗ Minh Thới¹, Lê Văn Quang^{1*}, Nguyễn Thị Vui¹

¹Phân Viện Vật liệu Xây dựng

TỪ KHOÁ

Vữa xi măng
Hàm lượng tro bay cao
Vôi Ca(OH)₂
Silica fume
HVFC

KEYWORDS

Cement mortar
High volume fly ash
Lime Ca(OH)₂
Silica fume
HVFC

TÓM TẮT

Những năm gần đây, các nhà nghiên cứu đã tập trung nghiên cứu tăng tỷ lệ tro bay thay thế xi măng trong bê tông, để tận dụng các phế thải công nghiệp và góp phần bảo vệ môi trường. Trong bài báo này, nghiên cứu tính chất công tác (độ sụt) của hỗn hợp bê tông hàm lượng tro bay cao (HVFC). Các tính chất của bê tông HVFC đã đóng rắn cũng được nghiên cứu như cường độ nén, cường độ uốn khi kéo, chệch bở, độ co ngót khô của bê tông. Kết quả thử nghiệm trên các mẫu bê tông HVFC cho thấy tính công tác của hỗn hợp bê tông tăng dần khi tăng tỷ lệ tro bay thay thế lần lượt là 60; 70; 80 %. Cường độ nén của bê tông phát triển tăng dần theo thời gian đặc biệt có ưu thế ở những tuổi muộn. Các tính chất cơ lý khác như cường độ uốn khi kéo, chệch bở, độ co ngót khô của bê tông HVFC cũng đều có ưu thế vượt trội hơn so với mẫu bê tông thông thường.

ABSTRACT

In recent years, researchers have focused on increasing the proportion of fly ash to replace cement in concrete, to take advantage of industrial waste and contribute to environmental protection. In this article, the workability properties (Method for slump test) of high-volume fly ash concrete (HVFC) mixtures are studied. The properties of HVFC concrete after curing were also studied such as compressive strength, tensile flexural strength, direct tensile strength and drying shrinkage of concrete. Test results on HVFC concrete samples show that the workability of the concrete mixture gradually increase when the fly ash replacement ratio is increased to 60; 70; 80 %. The compressive strength of concrete gradually increases over time, especially at later ages. Other mechanical properties such as tensile flexural strength, direct tensile strength, and drying shrinkage of HVFC concrete also have many outstanding advantages compared to ordinary concrete samples.

1. Giới thiệu

Hiện nay, hầu hết lượng lớn tro xi của các nhà máy nhiệt điện tại Việt Nam được vận chuyển ra ngoài bãi thải không được sử dụng về lâu dài sẽ gây tác động xấu đến môi trường. Tro bay được xem là chất thải có thể bị rửa trôi các chất độc hại vào nước ngầm và đất khi được thải vào ao, đầm... hoặc sử dụng làm vật liệu san lấp. Bên cạnh đó việc sản xuất xi măng Portland thải ra một lượng lớn CO₂ bên cạnh khí thải SO₂ và NO₂. Do đó, cần phải giảm lượng khí thải CO₂, bằng cách giảm mức tiêu thụ xi măng. Điều này có thể đạt được bằng cách bổ sung tro bay để thay thế xi măng trong bê tông [1]. Việc sử dụng tro bay để thay thế xi măng làm giảm giá thành sản phẩm, sử dụng hiệu quả phế phẩm của ngành công nghiệp điện, giảm các tác động đến môi trường và cải thiện được một số tính chất của bê tông xi măng như làm giảm nhiệt thủy hoá, nâng cao độ bền cơ học dài hạn, tính dễ thi công và các tính chất bền vững so với với bê tông xi măng thông thường [2, 3].

Cho đến nay chưa có một định nghĩa thống nhất cho bê tông hàm lượng tro bay cao HVFC. Theo Sivasundaram và cộng sự phát biểu rằng việc thay thế xi măng Portland bằng 30 % tro bay có thể được coi là bê tông hàm lượng tro bay cao [4]. Tuy nhiên, các tiêu chuẩn và nhà

nghiên cứu khác cho thấy rằng việc sử dụng tro bay để thay thế cho xi măng có thể lên đến 50 % hoặc hơn và gọi bê tông chứa 50 % tro bay theo khối lượng xi măng được coi là bê tông hàm lượng tro bay cao [1, 5-7]. Bê tông HVFC hiện nay ngoài tên gọi là bê tông xanh thì nó còn được gọi là bê tông tính năng cao. Trong những năm gần đây, các nhà nghiên cứu đã tập trung nghiên cứu để tăng hàm lượng tro bay để thay thế một phần hoặc toàn bộ xi măng, các nghiên cứu cải thiện tính chất của hỗn hợp bê tông tươi, bê tông đóng rắn để nâng cao tính ứng dụng của loại bê tông này phổ biến hơn.

Bổ sung tro bay làm tăng tính công tác khi so sánh với bê tông thông thường có cùng hàm lượng nước. Hình dạng cầu nhẵn và sự phân bố kích thước hạt của tro bay giúp cải thiện tính công tác của bê tông và do đó nhu cầu về nước giảm, góp phần tăng cường độ lâu dài. Khi sử dụng tro bay thay thế xi măng trong bê tông được nhận thấy hàm lượng nước trộn cần thiết giảm khoảng 15 đến 20 %, và xu hướng cứ 10 % tro bay được thêm vào thì mức giảm nước là khoảng 3 % [3, 8].

Do hàm lượng xi măng thấp trong HVFC và phản ứng puzolaníc chậm của tro bay, thời gian đông kết của bê tông sẽ tăng lên. Thông thường thời gian đông kết của hỗn hợp bê tông HVFC cao hơn bê tông thường sử dụng hoàn toàn xi măng khoảng 2 giờ. Malhotra và Mehta

*Liên hệ tác giả: quanghuce83@gmail.com

Nhận ngày 12/09/2023, sửa xong ngày 06/11/2023, chấp nhận đăng 10/11/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.01.2024.635>

2005, nhóm tác giả kết luận rằng bê tông HVFC sẽ kéo dài thời gian đông kết hơn 2 đến 3 giờ so với bê tông thông thường [9]. Điều này cũng rất hữu ích trong vùng có thể khí hậu nóng, địa điểm thi công xa, nơi bê tông cần phải được vận chuyển đến công trường trước khi nó đông kết. Trong thời tiết lạnh, có thể thêm phụ gia tăng tốc nếu giảm thời gian đông kết cần thiết.

Thay thế một phần xi măng bằng tro bay để giảm nhiệt hydrat hóa được nghiên cứu từ nhiều thập kỷ trước, đặc biệt là trong các công trình bê tông khối lượng lớn như đập và kết cấu móng, nơi nhiệt độ hydrat hóa rất cao. Trong bê tông HVFC, như giảm ít nhất 50 % xi măng thì nhiệt sinh ra cũng giảm một nửa, do đó giảm nguy cơ vết nứt do nhiệt. Một nghiên cứu khác bởi Malhotra & Mehta (2002) [10] trên một khối bê tông 3,05 x 3,05 x 3,05 m đã chứng minh rằng bằng cách sử dụng bê tông HVFC thay vì bê tông xi măng OPC đã giảm nhiệt độ tăng gần 30 °C, cụ thể khi bê tông sử dụng xi măng theo ASTM C150 type I, nhiệt độ ở tâm khối bê tông là 83 °C, trong khi nhiệt độ tại cùng một vị trí của khối bê tông HVFC là 54 °C.

Sự phát triển cường độ nén theo thời gian phụ thuộc vào khối lượng xi măng thay thế, tuổi của bê tông và loại tro bay. Sự tăng cường độ ở độ tuổi sớm cao hơn của tro bay loại C so với tro bay loại F. Cường độ nén ở tuổi muộn dài ngày lại cao hơn khi sử dụng tro bay loại F do tro bay loại F được cải thiện cường độ nhờ vào phản ứng pozzolanic chậm của nó. Cường độ tuổi muộn cao hơn cũng được giải thích là do các lỗ mao quản, mao mạch nhỏ hơn và vi cấu trúc dày đặc hơn do các phản ứng pozzolanic tạo ra. Raju và cộng sự [11] cũng đã thay thế 40% xi măng bằng tro bay và đạt được cường độ nén 45 MPa ở tuổi 28 ngày với tỷ lệ nước/bột 0,4. Cường độ nén tuổi sớm của bê tông giảm nhưng có sự gia tăng mạnh ở tuổi muộn hơn. Bê tông có hàm lượng tro bay cao hơn 40 % cho thấy cường độ thấp hơn 28 ngày nhưng có cường độ cao hơn sau 56 ngày. Nhưng đối với bê tông có hàm lượng tro bay dưới 40 % thì cường độ nén cao hơn ở 28 ngày. Bê tông HVFC có cường độ nén thấp hơn ở tuổi sớm ngày so với bê tông thường khi tăng tỷ lệ tro bay thay thế. Khi thay thế tro bay trên 40 %, trong khoảng thời gian ít hơn 28 ngày cường độ nén sẽ thấp, nhưng cường độ cao hơn so bê tông thường sau thời gian 90 ngày (Rao & Vimal 1996) [12]. Từ 90 ngày trở đi, HVFC đạt cường độ tối đa tương đương hoặc đôi khi vượt cao hơn bê tông sử dụng hoàn toàn xi măng OPC. Ngoài ra, khi tỷ lệ tro bay tăng, thì tỷ lệ nước/chất kết dính giảm. Do đó, làm tăng cường độ nén tuổi muộn sau này [13]. Cường độ nén ở tuổi sớm đối với bê tông HVFC dao động từ 6-10 MPa ở tuổi 1 ngày, được coi là đủ để tháo ván khuôn và cường độ 28-90 ngày có thể đạt là 35-40 MPa.

Bê tông hàm lượng tro bay cao nói chung, cường độ uốn đạt 10-15 % so cường độ nén [14]. Đối với bê tông dùng xi măng OPC thông thường, cường độ uốn và cường độ kéo đạt giá trị tối đa trong thời gian từ 14 đến 28 ngày, ngoài thời gian này, không có sự gia tăng đáng kể. Trong khi đó, bê tông HVFC, độ bền uốn và cường độ kéo tiếp tục tăng sau giai đoạn này do có sự bổ sung của phản ứng pozzolanic và có thể không đạt đến mức tối đa ngay cả đến 1 năm, do sự tăng cường của liên kết giữa các xi măng và cốt liệu diễn ra trong thời gian dài. Cường

độ uốn trung bình ở 28 ngày là đạt 5,0 MPa và cường độ kéo là 3,5 MPa đối với bê tông HVFC.

Trong nghiên cứu này, đã nghiên cứu tính công tác (độ sụt) của hỗn hợp bê tông HVFC. Bên cạnh đó các tính chất của bê tông HVFC đã đóng rắn như: cường độ nén, bền uốn, chẻ bừa và độ co ngót khô cũng được nghiên cứu và so sánh với mẫu bê tông thông thường không sử dụng tro bay.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Xi măng sử dụng trong nghiên cứu là xi măng OPC Nghi Sơn theo TCVN 2682:2009 trình bày ở **Error! Reference source not found.**, khối lượng riêng 3,11 g/cm³. Tro bay (FA) sử dụng được cung cấp bởi nhà máy nhiệt điện Duyên Hải 1 (TCVN 10302:2014) thành phần hoá của tro bay được trình bày ở

Bảng 2, loại F với khối lượng riêng 2,28 g/cm³. Cát sử dụng trong nghiên cứu gồm hỗn hợp 50% cát tự nhiên (cát sông Đồng Nai) và 50% cát nghiền (nguồn mỏ đá Tân Cảng Đồng Nai) theo TCVN 7570:2006. Đá dăm sử dụng trong nghiên cứu là đá 5x20 mm (nguồn mỏ đá Tân Cảng Đồng Nai). Nước máy thủy cục được lấy tại Phân Viện Vật liệu Xây dựng miền Nam (TCVN 4506:2012). Vôi bột hydrat khối lượng riêng 2,21 g/cm³ được sử dụng. Phụ gia siêu dẻo (PGSD) (viscocrete 8650) của hãng sika, loại F (TCVN 8826:2011). Silica fume (SF) loại 940U được cung cấp bởi Elkem Silicon Material. Phụ gia phức hợp gồm sodium thiocyanate NaSCN, diethanolamine DEA và glycerol. Thành phần cấp phối được sử dụng để khảo sát và theo dõi độ bền lâu được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 1. Thành phần hoá của xi măng OPC Nghi Sơn.

Thành phần hóa, % khối lượng										
MKN	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	CKT
2,38	19,70	3,15	4,57	61,80	1,84	2,34	0,713	0,00348	0,15	0,31
Thành phần khoáng tính toán, % khối lượng										
C ₃ S			C ₂ S			C ₃ A		C ₄ AF		
60,00			11,2			6,8		9,6		

Bảng 2. Thành phần hoá của tro bay Duyên Hải 1.

Thành phần hóa, % khối lượng										
MKN	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	Khác
6,16	55,25	7,15	23,6	1,76	1,07	0,08	3,05	0,24	1,01	1,64

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, để nghiên cứu các tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông đã đóng rắn được dựa trên thành phần cấp phối bê tông HVFC được trình bày ở Bảng 3.

Bảng 3. Thành phần cấp phối bê tông hàm lượng tro bay cao.

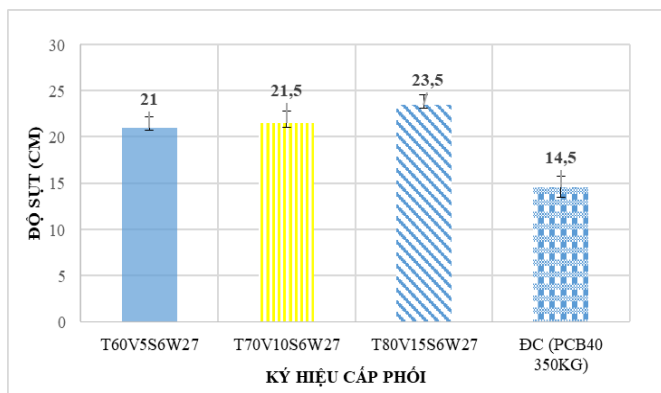
TT	Kí hiệu	OPC	FA	SF	Vôi	Cát	Cát nghiền	Đá	Nước	PGSD	NaSCN	DEA	Gly	Tổng
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
1	T60V5S6W27	180	270	27	22,5	324	324	1105	131,62	5,00	1,00	0,50	0,25	2391
2	T70V10S6W27	135	315	27	45,0	312	312	1063	137,55	5,22	1,04	0,52	0,26	2353
3	T80V15S6W27	90	360	27	67,5	300	300	1020	143,48	5,45	1,09	0,54	0,27	2315
4	ĐC	350	0	0	0	363	363	1235	155,23	3,50	0	0	0	2469

Nghiên cứu các tính chất của hỗn hợp bê tông dựa theo các tiêu chuẩn thí nghiệm như độ lưu động (độ sụt) ban đầu và 30 phút theo TCVN 3106:1993. Các tính chất của bê tông đã đóng rắn theo các tiêu chuẩn thí nghiệm sau: cường độ nén ở các ngày tuổi R3, 28, 56, 90 và 180 ngày theo TCVN 3119:1993, cường độ kéo khi uốn và khi bẻ lần lượt TCVN 3119:1993 và TCVN 3120:1993, độ co ngót khô tham khảo TCVN 3117:1993.

3. Kết quả

3.1. Tính công tác (độ sụt) của hỗn hợp bê tông

Kết quả được thực hiện các mẫu cấp phối điển hình thay thế 60, 70, 80 % tro bay và mẫu đối chứng theo Bảng 1. Kết quả cho thấy độ sụt của các hỗn hợp bê tông tươi được trộn bổ sung thêm tro bay (SN = 21,0 – 23,5cm) cao hơn nhiều so với mẫu đối chứng (SN = 14,5cm) như Hình 1. Điều này được giải thích rằng bởi tro bay có nhiều hạt hình dạng cầu, bề mặt trơn nhẵn tạo hiệu ứng ổ bi làm giảm ma sát khô trong hỗn hợp bê tông, lượng nước trộn cần ít hơn so với xi măng, do đó tạo cho hỗn hợp bê tông tươi có tính công tác (độ sụt) tốt hơn. Khi so sánh kết quả giữa các hỗn hợp bê tông tươi có sử dụng tro bay thì nhận thấy độ sụt tăng khi tăng hàm lượng tro bay thay thế.



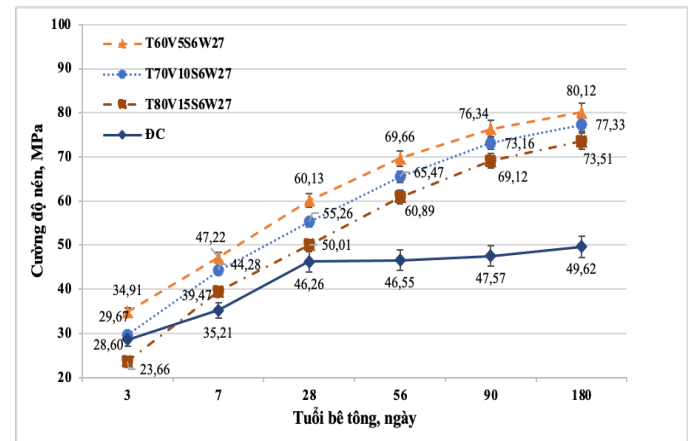
Hình 1. Độ sụt của hỗn hợp bê tông HVFC so với cấp phối đối chứng.

Sự suy giảm độ sụt của hỗn hợp bê tông sau 30 phút không có quá nhiều sự khác nhau ở tất cả các cấp phối, hay nói cách khác tốc độ mất tính công tác của hỗn hợp bê tông thông thường và bê tông HVFC không khác nhau nhiều, cụ thể độ sụt sau 30 phút của các hỗn hợp bê tông sử dụng tro bay giảm từ 30-35 % (độ sụt giảm còn 14-16cm), cấp

phối đối chứng giảm 45 % (độ sụt còn 8-9cm). Điều này được lý giải bởi trong cấp phối sử dụng tro bay có các thành phần vôi, silica fume và phụ gia tăng tốc ba thành phần, giúp cải thiện thời gian đông cho hỗn hợp bê tông có chứa tro bay đồng thời cũng vẫn duy trì độ sụt cho bê tông sau 30 phút. Tuy nhiên, sự mất độ sụt khoảng 30-35 % thì khi thi công, cần lưu ý công tác duy trì độ sụt cho hỗn hợp bê tông như các biện pháp đảo trộn thường xuyên hoặc biện pháp che chắn hoặc duy trì ổn định nhiệt độ để đảm bảo thời gian thi công kéo dài.

3.2. Các tính chất của bê tông HVFC đã đóng rắn

3.2.1. Cường độ nén của bê tông



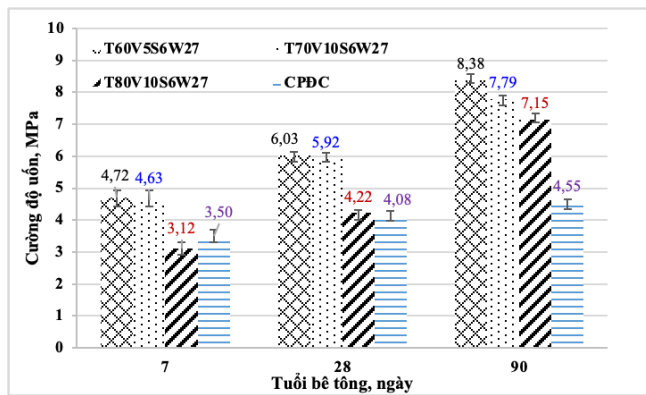
Hình 2. Kết quả cường độ nén của các cấp phối sử dụng tro bay so với mẫu đối chứng.

Kết quả HVFC thay thế 60, 70, 80 % FA ở 28 ngày tuổi đạt (59,47 – 70,13) MPa, nếu so với kết quả nghiên cứu của Raju và cộng sự [11] khi thay thế 40 % FA và đạt cường độ nén 45 MPa ở 28 ngày tuổi với tỷ lệ N/CKD là 0,4, rõ ràng HVFC trong nghiên cứu này có kết quả cường độ nén ở 28 ngày cao hơn dù sử dụng hàm lượng tro bay thay thế nhiều hơn so với nghiên cứu của Raju.

Hình 2 thể hiện sự phát triển cường độ của mẫu bê tông HVFC ở các tuổi ngày muộn được cải thiện đáng kể so với mẫu bê tông đối chứng, cụ thể, cấp phối T60V5S6W27 ở tuổi ngày 180 cường độ nén tăng 33,2 % so với cường độ nén ở 28 ngày tuổi; cấp phối T70V10S6W27 ở tuổi ngày 180 cường độ nén tăng 39,9 % so với cường độ nén ở 28 ngày tuổi; cấp phối T80V15S6W27 ở tuổi ngày 180 cường

độ nén tăng thêm 47,0 % so với cường độ nén ở 28 ngày tuổi. Sự phát triển của mẫu đối chứng ở các tuổi ngày muộn là không đáng kể (tăng 7,3 % cường độ nén ở 180 ngày tuổi so với 28 ngày tuổi), trong khi HVFC có sự phát triển cường độ rất tốt. Cụ thể, ở 180 ngày tuổi, HVFC thay thế (60; 70; 80) % tro bay điển hình đạt kết quả cường độ lần lượt (80,12; 77,33; 73,51) MPa. Sự phát triển cường độ về tuổi muộn tương tự như báo cáo của Ozkan Sengul và nghiên cứu của Rao & Vimal 1996 [2], rằng HVFC thay thế tới 70 % có cường độ nén thấp hơn ở 28 ngày nhưng có được cường độ tốt hơn ở độ tuổi sau 90 ngày và 120 ngày.

3.2.2. Cường độ kéo khi uốn



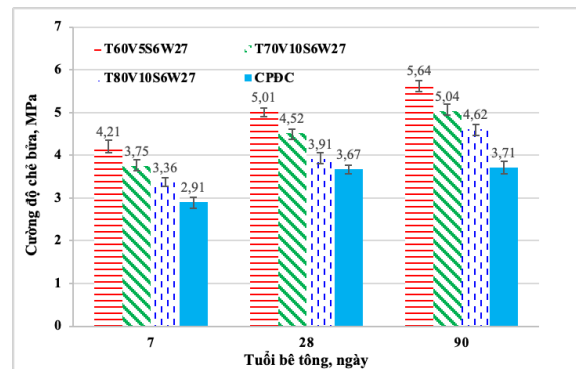
Hình 3. Kết quả cường độ uốn bê tông của các cấp phối bê tông HVFC so với cấp phối đối chứng.

Kết quả cho thấy rằng, so với mẫu đối chứng, khi hàm lượng tro bay thay thế giúp cho bê tông cải thiện cường độ uốn đáng kể, cụ thể, cường độ uốn của các cấp phối điển hình thay thế 60%, 70% tro bay đạt kết quả lần lượt (4,72; 4,63) MPa ở 7 ngày tuổi và (6,03; 5,92) MPa ở 28 ngày tuổi, cao hơn mẫu đối chứng, đặc biệt có sự phát triển ở các tuổi ngày muộn, cụ thể cấp phối thay thế 60% và 70% tro bay đạt lần lượt (8,38; 7,79) MPa, tăng (39,0; 31,6) % so với cường độ uốn ở 28 ngày tuổi. Đối với cấp phối T80V15S6W27, kết quả cường độ uốn ở ngày 7 ngày tuổi thấp hơn cấp phối đối chứng nhưng không đáng kể (3,12 MPa so với 3,50 MPa), tuy nhiên ở các ngày tuổi muộn, cường độ uốn của HVFC được cải thiện đáng kể (7,15 MPa so với 4,55 MPa). Đối với bê tông HVFC, độ bền uốn sẽ tiếp tục phát triển sau các giai đoạn 28 ngày và 90 ngày, nhờ vào có sự bổ sung của phản ứng pozzolanic, sự tăng cường liên kết của chất kết dính và cốt liệu ngày càng tăng lên.

3.2.3. Cường độ kéo khi bừa

Nhìn chung, kết quả cường độ chẻ bừa của HVFC cao hơn mẫu đối chứng và có sự phát triển nhiều hơn ở tuổi ngày muộn, cụ thể cấp phối bê tông HVFC thay thế (60, 70, 80) % tro bay có kết quả lần lượt là (4,21; 3,75; 3,36) MPa ở 7 ngày tuổi, (5,01; 4,52; 3,91) MPa ở 28

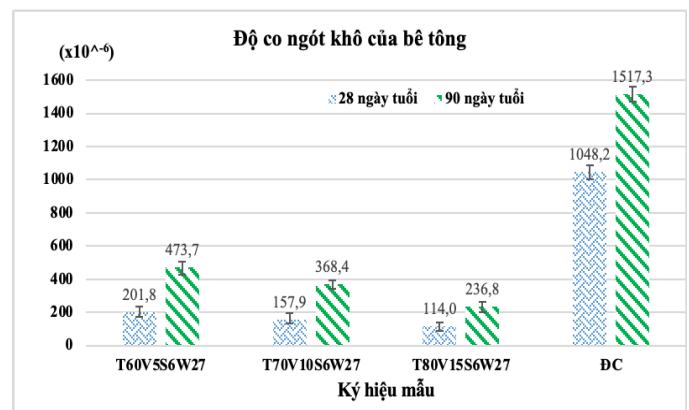
ngày tuổi và (5,64; 5,04; 4,62) MPa ở 90 ngày tuổi. So với cấp phối ĐC, kết quả chỉ đạt (2,91; 3,67; 3,71) MPa ở 7, 28 và 90 ngày tuổi. Sự phát triển về cường độ chẻ bừa của HVFC là rõ rệt và lớn hơn nhiều so với mẫu đối chứng, cụ thể tăng lần lượt là (12,6; 11,5; 18,2) % so với cường độ ở tuổi ngày 28. Kết quả nghiên cứu cường độ kéo khi bừa của HVFC trên thế giới đạt tối thiểu 3,5 MPa ở 28 ngày tuổi và 4,0 MPa ở 90 ngày tuổi, rõ ràng kết quả HVFC của đề tài có kết quả cao hơn các kết quả nghiên cứu trước.



Hình 4. Kết quả cường độ chẻ bừa của bê tông HVFC so với mẫu đối chứng.

3.2.4. Độ co ngót khô

Độ co ngót khô của bê tông được xác định ở mẫu bê tông có kích thước 10x10x40 cm được bảo dưỡng khô trong tủ khí hậu độ ẩm dưới 65 %. Co ngót là đặc tính cố hữu của bê tông và cũng là một trong những nhược điểm lớn nhất của bê tông. Co ngót khô là sự giảm thể tích chủ yếu xảy ra khi bê tông bị mất nước trong các lỗ rỗng của gel xi măng trong suốt quá trình khô, đóng rắn. Trong các loại co ngót như co ngót dẻo, co ngót hóa học hay co ngót nhiệt... thì co ngót khô đóng vai trò quan trọng nhất trong việc đánh giá tổng co ngót của bê tông. Kết quả co ngót khô được thể hiện như Hình 5.



Hình 5. Kết quả co ngót khô bê tông của các cấp phối bê tông HVFC so với mẫu đối chứng.

Kết quả cho thấy, bê tông HVFC giúp cải thiện đáng kể kết quả co ngót khô của bê tông, cụ thể kết quả các cấp phối điển hình HVFC thay thế 60, 70, 80 % FA lần lượt là (201,8; 157,9; 114,0) $\times 10^{-6}$ (mm/m) ở 28 ngày tuổi, (473,7; 368,4; 236,8) $\times 10^{-6}$ (mm/m) ở 90 ngày tuổi, thấp hơn đáng kể so với bê tông đối chứng (1048,2 $\times 10^{-6}$ mm/m ở 28 ngày tuổi và 1517,3 $\times 10^{-6}$ mm/m ở 90 ngày tuổi). Điều này có thể được lý giải là do HVFC có hàm lượng nước nhào trộn thấp hơn rất nhiều so với cấp phối bê tông đối chứng, tính công tác và độ đồng nhất của hỗn hợp bê tông cũng cao hơn, do đó hạn chế được các lỗ rỗng trong cấu trúc của bê tông HVFC, từ đó giảm sự mất nước trong quá trình đóng rắn nên co ngót khô của bê tông cũng giảm theo. Việc có mặt của hàm lượng lớn tro bay cũng như silica fume giúp lấp đầy các lỗ mao mạch, khi bê tông ban đầu tiếp xúc với điều kiện khô – một trong những sự khác biệt độ ẩm tương đối giữa môi trường và bê tông, sẽ làm mất nước tự do, việc các lỗ mao mạch nhiều hay ít ảnh hưởng trực tiếp đến co ngót của bê tông. Lượng nước nhào trộn ảnh hưởng đáng kể đến co ngót của bê tông. Ngoài ra, có thể thấy khi hàm lượng xi măng càng nhiều thì co ngót khô càng lớn. Vì vậy, cấp phối đối chứng khi sử dụng CKD là 100 % xi măng sẽ có ngót cao hơn đáng kể so với HVFC.

4. Kết luận

Kết quả thử nghiệm trên các mẫu bê tông điển hình cho thấy độ sụt đạt lần lượt 21; 21,5 và 23,5 cm và cao hơn nhiều so với mẫu đối chứng là 14,5 cm. Cường độ nén của bê tông HVFC có xu hướng tăng dần theo thời gian, ở 28 ngày đạt giá trị 59,47 - 70,13 MPa; ở tuổi 180 ngày đạt 73,51 – 80,12 MPa, kết quả cho thấy bê tông HVFC hoàn toàn có thể ứng dụng vào thực tế nhờ vào việc đã cải thiện được cường độ ở tuổi sớm và vẫn tiếp tục phát triển cường độ mạnh mẽ ở những tuổi muộn, vượt rất nhiều so với yêu cầu mục tiêu 40 MPa đề ra ở 28 ngày. Các tính chất như cường độ uốn khi kéo, chẻ bừa, độ co ngót khô của bê tông HVFC đều có ưu thế vượt trội hơn nhiều so với mẫu đối chứng không sử dụng tro bay. Từ các kết quả cho thấy bê tông HVFC có thể được ứng dụng để xây dựng các kết cấu trong công trình xây dựng.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Charith Herath *et al.*, Performance of high volume fly ash concrete incorporating additives: A systematic literature review, *Construction and Building Materials*, vol. 258, p. 120606, 2020.
- [2]. T Ch Madhavi *et al.*, Durability and strength properties of high volume fly ash concrete, *Journal of Civil Engineering Research*, vol. 4, no. 2A, pp. 7-11, 2014.
- [3]. Rajib Kumar Majhi *et al.*, An overview of the properties of sustainable concrete using fly ash as replacement for cement, *International Journal of Sustainable Materials and Structural Systems*, vol. 4, no. 1, pp. 47-90, 2020.
- [4]. V Sivasundaram *et al.*, Selected properties of high-volume fly ash concretes, *Concrete International*, vol. 12, no. 10, pp. 47-50, 1990.
- [5]. P Kumar Mehta, "High-performance, high-volume fly ash concrete for sustainable development," in *Proceedings of the international workshop on sustainable development and concrete technology*, 2004: Iowa State University Ames, IA, USA, pp. 3-14.
- [6]. D Burke, "Development of concrete mixtures with high-volume fly ash cement replacement," in *2012 International Concrete Sustainability Conference*, National Ready Mixed Concrete Association, 2012.
- [7]. How-Ji Chen *et al.*, Effects of the loss on ignition of fly ash on the properties of high-volume fly ash concrete, *Sustainability*, vol. 11, no. 9, p. 2704, 2019.
- [8]. Jo Jacob Raju and Jino John, Strength study of high-volume fly ash concrete with fibers, *Int. J. Adv. Struct. Geotech. Eng.*, vol. 3, pp. 60-64, 2014.
- [9]. V Mohan Malhotra and Povindar Kumar Mehta, High-performance, high-volume fly ash concrete: materials, mixture proportioning, properties, construction practice, and case histories, 2002.
- [10]. V Mohan Malhotra and P Kumar Mehta, High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete, *Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development*, p. 101, 2022. Ottawa, Canada.
- [11]. Raju.N.K, Production and Properties of High Strength Concrete Using Superplasticizers, *National Seminar on High Strength Structural Concrete*, pp. 11.32-11.53, 1991. Indian Concrete Institute, Bangalore.
- [12]. Rao B. K. and Kumar Vimal, Fly Ash in High Strength Concrete, *Recent Advances in Civil Engineering*, National Seminar, pp. 115-121, 1996.
- [13]. Vanita Aggarwal *et al.*, Concrete durability through high volume fly ash concrete (HVFC) a literature review, *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 2, no. 9, pp. 4473-4477, 2010.
- [14]. P Kumar Mehta and Paulo JM Monteiro, *Concrete: microstructure, properties, and materials*. McGraw-Hill Education, 2006.