

ĐÁNH GIÁ ĐẶC TÍNH KỸ THUẬT CỦA BÊ TÔNG TRO BAY CAO SỬ DỤNG PHỤ GIA VÔI VÀ SILICA FUME

Nguyễn Học Thắng^{1*}, Trương Bách Chiến¹, Lê Văn Quang²

¹Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

²Viện Vật liệu Xây dựng Việt Nam

*Email: thangnh@hufi.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/6/2022; Ngày chấp nhận đăng: 09/12/2022

TÓM TẮT

Bê tông tro bay hàm lượng cao (HVFC) được nghiên cứu trong những năm gần đây để giải quyết các vấn đề về ô nhiễm tro thải nhiệt điện và các vấn đề môi trường do ngành công nghiệp sản xuất xi măng gây ra. Nghiên cứu này tiến hành tạo mẫu cấp phối bê tông với hàm lượng tro bay 70% thay thế chất kết dính thủy lực xi măng. Sự bổ sung phụ gia vôi và Silica Fume (SF) đã có những cải thiện đáng kể về đặc tính kỹ thuật của sản phẩm so với các mẫu HVFC đã công bố trước đó. Các đặc tính kỹ thuật như cường độ nén, cường độ uốn, cường độ chẻ bẻ, độ hút nước được đánh giá theo các tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) đang được áp dụng đối với bê tông thương mại trên thị trường (nhóm bê tông nặng có $\rho_v = 2200 - 2500 \text{ kg/m}^3$). Kết quả nghiên cứu của mẫu bê tông tro bay hàm lượng cao cũng được so sánh với sản phẩm đối chứng theo độ tuổi bảo dưỡng 3 ngày, 7 ngày, và 28 ngày.

Từ khóa: Bê tông hàm lượng tro bay cao (HVFC), tro bay (FA), vôi, Silica Fume (SF), xi măng.

1. MỞ ĐẦU

Tro bay là chất thải của quá trình đốt than trong các nhà máy nhiệt điện dùng than. Tro bay có màu nâu nhạt hình cầu với kích thước hạt nhỏ hơn $10 \mu\text{m}$ [1]. Tính chất của tro bay thay đổi đáng kể theo thành phần than và điều kiện vận hành của nhà máy. Thành phần hóa học chính của tro bay gồm SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , và CaO . Hai loại tro bay được TCVN 10302:2014 định nghĩa là tro bay loại F và tro bay loại C. Sự khác biệt chính giữa các lớp này là lượng silica + alumin + sắt, và hàm lượng canxi trong tro. Theo TCVN 10302:2014, tro bay loại F chứa $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$, và rất ít $\text{CaO} (<0,1\%)$ trong khi tro bay loại C chứa tổng $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 50\%$, và nhiều CaO hơn (khoảng 20%) [2]. Tro bay có hàm lượng canxi thấp (loại F) đã được sử dụng rộng rãi để thay thế xi măng trong bê tông thường và bê tông cường độ cao [3]. Và, phần lớn tro bay được sản xuất ở Úc là tro bay loại F [4].

Tro bay được gọi là phụ gia khoáng có tính pozzolanic. Vật liệu pozzolanic có khả năng đóng rắn hay cứng lại với nước nhờ hoạt hóa với chất kiềm như vôi [5]. Đặc tính thủy hóa này làm cho tro bay có thể thay thế xi măng trong các cấp phối bê tông và nhiều ứng dụng xây dựng khác [6, 7]. Ngày nay, tro bay được sử dụng nhiều trong bê tông và các sản phẩm nền xi măng khác, làm nền đường, chất ổn định dầu, chất độn sạch, chất độn trong nhựa đường, thu hồi kim loại, và chất độn khoáng khác [5, 7].

Tro bay trước đây chỉ được sử dụng trong bê tông ở dạng hỗn hợp khô thích hợp để sử dụng trong việc xây dựng các đập chịu lực như đập bê tông đầm lăn để giảm nhiệt của quá trình thủy hóa [4]. Hỗn hợp khô được sử dụng rộng rãi trong các công trình ven đường như mặt đường thường bao gồm cấp phối đá dăm tối đa 20-40 mm, hàm lượng xi măng thấp 120

kg/m³ để phù hợp với đầm nén hiện trường bằng cách lã, hàm lượng nước thấp 120 kg/m³. Các khối được nén chặt có độ bền nén trong 28 ngày là 20-25 MPa [8].

Mặc dù tro bay có các hạt có kích thước từ 0,5 μm đến 300 μm , nhưng chỉ những hạt nhỏ hơn 10 μm mới được coi là phản ứng và phần còn lại được coi là lấp đầy khoảng trống giữa cốt liệu và xi măng [9]. Một trong những lý do chính cho các đặc tính tốt hơn là hình dạng hình cầu của tro bay, ảnh hưởng rất tích cực đến độ bền bằng cách giảm nhu cầu nước. Nguyên nhân khác là do khả năng liên kết với vôi của tro bay để chuyển vôi dư thành gel C-S-H tăng độ bền cho bê tông [5]. Trong bê tông sử dụng tro bay, quá trình hydrate hóa các khoáng chính trong xi măng tạo thành các gel C-S-H (1) đồng thời sinh ra $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tự do, tro bay sẽ phản ứng với $\text{Ca}(\text{OH})_2$ này để tạo thành gel C-S-H (2), một sản phẩm tương tự như trong quá trình thủy hóa xi măng. Hai dạng gel C-S-H (1) và (2) chỉ khác nhau về tỷ lệ Ca / Si.

Tro bay trong bê tông giúp làm giảm nhu cầu nước và nhiệt của quá trình hydrate hóa. Từ đó, làm giảm vết nứt do nhiệt, giúp khô vết nứt do co ngót, làm giảm độ rã, giảm tính thấm của bê tông, đồng thời làm giảm sự xâm nhập của sulphate, clorua, và tác nhân kiềm (ASR) [10]. Ngoài ra, nó làm tăng khả năng làm việc, tăng cường độ nén sau 56 ngày, tăng khả năng chống đóng băng, tan băng tốt hơn, và mang lại bề mặt hoàn thiện tốt hơn cho bê tông. Nghiên cứu cho thấy rằng việc kết hợp tro bay trong bê tông giúp tăng cường các đặc tính về cường độ và độ bền của bê tông nói chung [11]. Lợi ích của bê tông tro bay ở trạng thái tươi và đông cứng cùng với vấn đề ô nhiễm do sản xuất xi măng gây ra đã cho phép các nhà khoa học nghiên cứu thêm về việc thay thế hơn 50% lượng xi măng bằng tro bay theo khối lượng trong các cấp phối bê tông [9].

Bê tông hàm lượng tro bay cao từ 40% đến 70% được sử dụng nhiều trong các đập đầm lã [11]. Tuy nhiên, những loại bê tông đặc biệt này có yêu cầu về độ bền và khả năng làm việc thấp. Malhotra vào năm 1980 [12] đã gọi các sản phẩm có sự thay thế xi măng cao hơn 50% là bê tông tro bay khối lượng lớn (HVFC). Trong những thập kỷ gần đây, nhiều nghiên cứu đã thực hiện với việc thiết kế cấp phối HVFC để sử dụng cho các kết cấu với các đặc tính cơ học và độ bền tốt hơn [13] và cũng đã có nhiều ứng dụng thực tế của HVFC cường độ cao trong những năm gần đây. Bê tông tro bay hàm lượng cao được xem là sản phẩm bền vững hay "bê tông xanh". Nó được định nghĩa là bê tông ít có tác động tiêu cực đến môi trường hơn so với bê tông thông thường [14]. Bê tông xanh sử dụng vật liệu phế thải hoặc sản phẩm còn lại trong quá trình sản xuất để thay thế một phần hoặc hoàn toàn trong các cấp phối, hoặc quá trình sản xuất của nó không dẫn đến hủy hoại môi trường [15]. Theo Suhendro (2014), "bê tông xanh" thể hiện hiệu quả cao và bền vững trong vòng đời và tuân theo hai quy trình kỹ thuật giảm thiểu ô nhiễm là tái sử dụng và tái chế [16]. Theo Ho, Mak và Sagoe-Crentsil (2000), có ba mục tiêu chính đằng sau khái niệm xanh trong bê tông. Đầu tiên là giảm phát thải khí nhà kính; thứ hai là giảm sử dụng tài nguyên thiên nhiên như đá vôi, đá phiến sét, đất sét, cát sông tự nhiên, đá tự nhiên; và thứ ba là việc sử dụng các vật liệu phế thải trong bê tông cũng ngăn cản diện tích đất lớn được sử dụng để chứa các vật liệu phế thải dẫn đến ô nhiễm không khí, đất và nước [17]. Những mục tiêu này của "bê tông xanh" sẽ dẫn đến sự phát triển bền vững mà không hủy hoại tài nguyên thiên nhiên. Do đó, "bê tông xanh" giúp cải thiện tính bền vững và có thể được gọi là bê tông bền vững hoặc thân thiện với môi trường.

Ngoài ra, HVFC đáp ứng hai trong số các tiêu chí bắt buộc đối với "Bê tông xanh", bằng cách sử dụng tro bay, một chất thải thay thế một phần xi măng: 1) Giảm phát thải khí nhà kính của xi măng với lượng xi măng giảm ít nhất 50% và cũng làm giảm ô nhiễm do lưu giữ tro bay trong đất và nước. 2) Thể hiện các đặc tính về độ bền và tuổi thọ sử dụng tốt hơn so với bê tông OPC thông thường [11]. Theo Griffin (2005), đặc tính tuổi thọ sử dụng là một loạt các đặc tính của bê tông hiện đại phải được giải quyết để đạt được chu kỳ tồn tại cơ bản. Chúng bao gồm giảm nhiệt hydrate hóa, giảm độ xốp, hạn chế nước tự do, cường độ sớm thích hợp và độ bền cao [18]. Do đó, HVFC có thể được gọi là "Bê tông xanh" và cũng được đề cập trong một vài nghiên cứu khác gần đây [18-19]. Theo Griffin (2005), các tính toán sử dụng

phân tích vòng đời cho thấy rằng 54% lượng khí thải CO₂ có thể được giảm thiểu bằng cách thay thế 50% xi măng bằng tro bay. Do đó, bằng cách xem xét rằng xi măng Pooclang chiếm khoảng 7% lượng khí thải CO₂ toàn cầu, sử dụng bê tông HVFC có khả năng giảm lượng khí thải CO₂ toàn cầu khoảng 3,5% [18].

Nghiên cứu này sử dụng tro bay thay thế 70% xi măng trong cấp phối bê tông sử dụng phương pháp thiết kế của Viện bê tông Hoa kỳ (ACI 221.1) kết hợp với phương pháp Bolomey-Skramtaev. Các cấp phối có sử dụng thêm phụ gia vôi và silica fume để cải thiện thêm đặc tính ứng dụng cho sản phẩm HVFC. Sản phẩm bê tông tươi được kiểm tra độ sụt, thời gian đông kết cho hỗn hợp và khối lượng thể tích, độ hút nước, độ bền cơ học theo các ngày tuổi khác nhau. Ngoài ra, mẫu bê tông đối chứng cũng được thử nghiệm để đối chiếu với bê tông HVFC của nghiên cứu.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu và thiết kế cấp phối HVFC

Nghiên cứu này sử dụng nguyên vật liệu và phụ gia gồm: cốt liệu mịn (cát), trung bình (cát nghiền), và thô (đá) từ Công ty cổ phần bê tông ly tâm Thủ Đức; xi măng PC40 theo TCVN 2682:2020 của Công ty Xi măng Nghi Sơn; Tro bay của nhà máy nhiệt điện Duyên Hải 1; Silica Fume loại 940U của hãng Elkem Silicon Materials; Vôi từ Công ty trách nhiệm hữu hạn hóa chất và môi trường Vũ Hoàng như Hình 1; các loại phụ gia khác như Viscocrete 865, Natri Thiocyanat (NaSCN) từ Công ty hóa chất Shanghai Zhanyun, Trung Quốc, Diethanolamine (DEA) và Glyxerol (Gly) từ Công ty Xilong Scientific, Trung Quốc; và nước.



Hình 1. Các nguyên liệu chính dạng rắn được sử dụng để nghiên cứu bê tông HVFC

Thành phần cấp phối được thiết kế cho 1m³ bê tông theo tiêu chuẩn ACI 221.1 kết hợp với phương pháp Bolomey-Skramtaev có hàm lượng nguyên liệu bao gồm: tổng khối lượng chất kết dính (135 kg xi măng và 315 kg tro bay) là 450 kg; tỉ lệ nước theo chất kết dính lần lượt thử nghiệm từ 0,24 đến 0,3; lượng vôi là 45 kg; lượng silica fume là 27 kg; các cốt liệu lần lượt 1036-1089 kg đá dăm, 304-320 kg cát vàng, và 304-320 kg cát nghiền; cùng với 1% phụ gia siêu dẻo, 0,2% NaSCN, 0,1% DEA, 0,05% Gly. Toàn bộ tỉ lệ các cấp phối được biểu thị trong Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Cấp phối bê tông HVFC sử dụng 70% FA thay thế xi măng OPC cho 1m³ bê tông

Cấp phối	T70V10S6W24	T70V10S6W27	T70V10S6W30
Chất kết dính (kg)			
FA	315	315	315
OPC	135	135	135
SF	27	27	27
Vôi	45	45	45
Cốt liệu (kg)			
Đá dăm	1089	1063	1036
Cát vàng	320	312	304
Cát nghiền	320	312	304
Phụ gia và hóa chất (kg)			
Phụ gia siêu dẻo	5,22	5,22	5,22
NaSCN	1,04	1,04	1,04
DEA	0,52	0,52	0,52
Glyxerol	0,26	0,26	0,26
Nước	121,89	137,55	153,21

Ngoài ra, nghiên cứu này còn phối trộn các mẫu đối chứng là các mẫu bê tông nặng thông thường đang được sử dụng để thi công các công trình phổ biến ngoài thị trường với cùng phương pháp thiết kế theo tiêu chuẩn ACI 221.1. Các vật liệu cho cấp phối đối chứng này được tính toán và liệt kê chi tiết trong Bảng 2.

Bảng 2. Cấp phối mẫu đối chứng sử dụng xi măng OPC cho 1m³ bê tông

CP	ĐCW024	ĐCW027	ĐCW030
Chất kết dính (kg)			
OPC	450	450	450
Cốt liệu (kg)			
Đá dăm	1264	1241	1218
Cát vàng	371	364	358
Cát nghiền	371	364	358
Phụ gia và hóa chất (kg)			
Phụ gia siêu dẻo	4,5	4,5	4,5
Nước	105,08	118,58	132,08

Các ký hiệu trên Bảng 1 và Bảng 2 được chú thích:

Chữ cái đầu T nghĩa là tro bay, V – là mẫu thêm vôi, S - là mẫu thêm Silica Fume, W – tỉ lệ phần trăm nước/chất kết dính

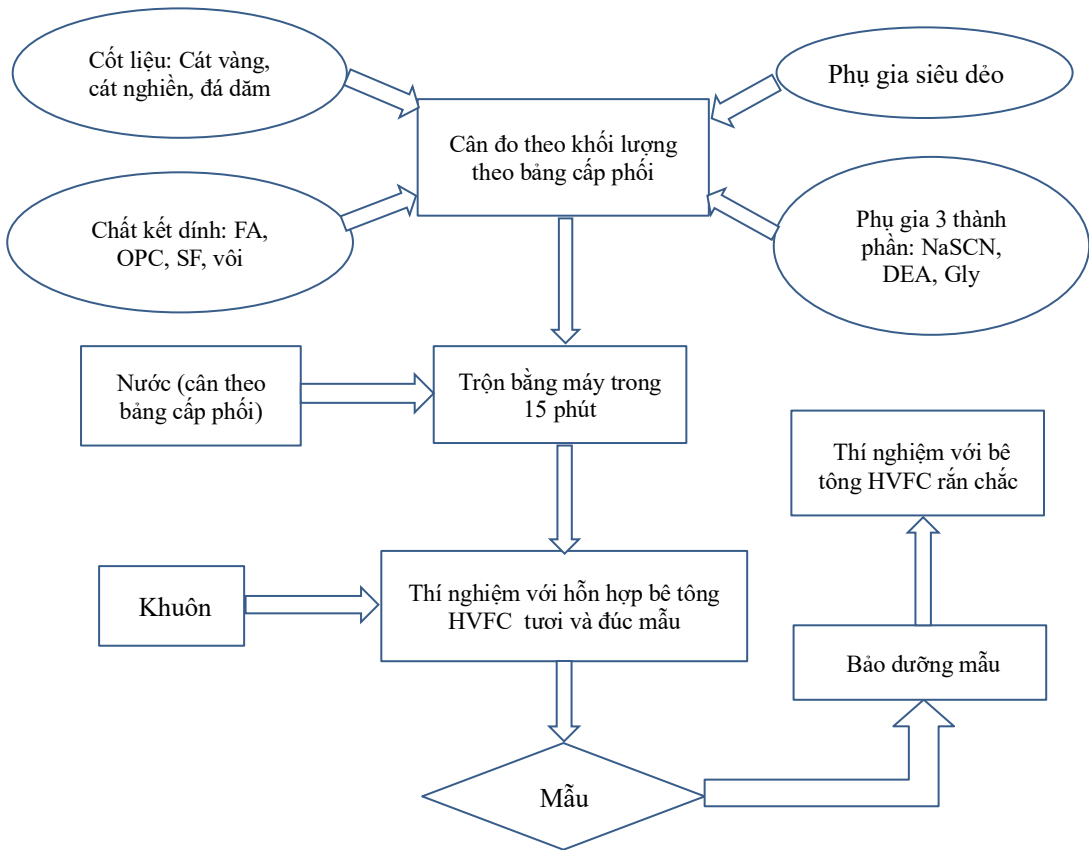
ĐC: Mẫu đối chứng sử dụng 100% xi măng.

Các hậu tố phía sau T là tỷ lệ phần trăm tro bay thay thế xi măng OPC. Hậu tố sau V là tỷ lệ vôi bổ sung, Hậu tố sau S là tỷ lệ Silica Fume bổ sung.

2.2. Phương pháp thực nghiệm

Các đặc tính kỹ thuật của sản phẩm HVFC được kiểm tra theo TCVN gồm: Phương pháp lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử TCVN 3015:1993; xác định độ sụt TCVN 3106:1993; xác định thời gian đông kết TCVN 9338:2012; xác định khối lượng thể tích TCVN 3108:1993; xác định độ hút nước TCVN 3113:1993; xác định cường độ nén TCVN 3118:1993; xác định cường độ uốn TCVN 3119:1993; và xác định cường độ ép chệch TCVN 3120:1993 [20-27].

Quá trình thực nghiệm được tiến hành theo TCVN 3015-1993 theo sơ đồ như Hình 2:



Hình 2. Sơ đồ quá trình thực nghiệm nghiên cứu bê tông HVFC

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

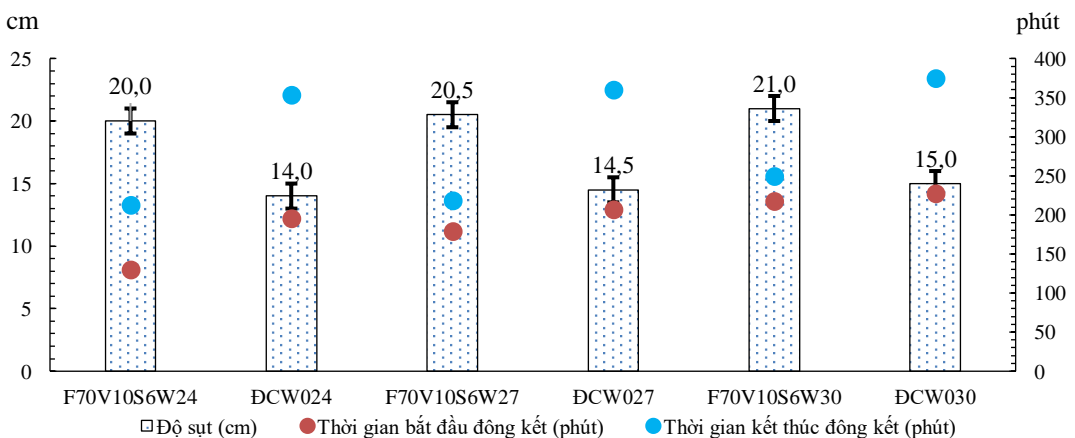
3.1. Đặc tính kỹ thuật của hỗn hợp bê tông tươi HVFC và đối chứng

Bê tông tươi chưa đông rắn được thử nghiệm độ sụt và thời gian đông kết. Trong đó, độ sụt đặc trưng cho tính dẻo của hỗn hợp bê tông tươi là khả năng bê tông có thể lưu động và lấp đầy khuôn dưới tải trọng bản thân hoặc tải trọng chấn động. Tính lưu động giúp cho việc đổ khuôn và lèn chặt được dễ dàng. Nó đặc trưng cho tính dễ tạo hình của bê tông. Khi nước được trộn với các thành phần khác của bê tông, các phản ứng thủy hóa bắt đầu xảy ra. Quá trình đông rắn của bê tông được đánh giá thông qua thời gian đông kết. Đặc tính và lượng dùng tro bay ảnh hưởng đến thời gian đông kết của bê tông. Kết quả chi tiết của các giá trị này được thể hiện trong Bảng 3 dưới đây.

Bảng 3. Đặc trưng độ sụt và thời gian đông kết của mẫu các HVFC và đối chứng

Ký hiệu mẫu	Độ sụt (cm)	Thời gian đông kết (phút)	
		Bắt đầu đông kết	Kết thúc đông kết
T70V10S6W24	20,0 ± 1,0	30	115
T70V10S6W27	20,5 ± 1,0	180	220
T70V10S6W30	21,0 ± 1,0	220	250
ĐCW024	14,0 ± 1,0	195	355
ĐCW027	14,5 ± 1,0	205	360
ĐCW030	15,0 ± 1,0	230	375

Ở cùng hàm lượng tro bay, bê tông có tỉ lệ nước/chất kết dính (N/B) càng lớn thì độ sụt càng cao. Ở tỉ lệ N/B là 24% thì bê tông HVFC có độ sụt 20,0 ± 1,0 cm, giá trị này thấp hơn ở 27% và 30% lần lượt là 20,5 ± 1,0 và 21,0 ± 1,0 cm. Mặc dù vậy, giá trị độ sụt của các mẫu bê tông HVFC cao hơn rất nhiều so với các mẫu bê tông đối chứng lần lượt tăng từ 14,0 lên 15 cm. Có thể giải thích điều này như sau: Tro bay góp phần làm thay đổi tính chảy của bê tông. Tăng thể tích phần hồ chứa tro bay làm tăng độ nhớt của hệ xi măng có tro bay do tro bay chứa các hạt cầu kích thước nhỏ, bề mặt dạng pha thủy tinh, trơn nhẵn tạo hiệu ứng ổ bi làm tăng độ dẻo của bê tông; Tỉ lệ N/B tỉ lệ thuận với độ sụt của hỗn hợp bê tông tươi. Tỉ lệ N/B càng lớn độ sụt càng lớn. Hàm lượng nước trên một mét khối bê tông tăng, thì bê tông càng dẻo, vì thế hàm lượng nước là nhân tố vô cùng quan trọng ảnh hưởng đến tính dẻo của bê tông; Phụ gia siêu dẻo hoạt động bề mặt có tác dụng cuốn khí làm tăng hoạt tính bề mặt, giảm lực ma sát giữa các phần tử. Chúng hoạt động cũng như cốt liệu mịn nhân tạo có bề mặt rất trơn nhẵn. Phụ gia hóa dẻo tạo ra các bong bóng khí nhỏ (bọt khí đường kính từ 10-1000 μm) có vai trò như những quả bóng lăn giữa các hạt cốt liệu làm cho chúng dễ dàng trượt lên nhau tăng độ dẻo; Phụ gia siêu dẻo làm tăng tính dẻo vô cùng lớn. Với một hỗn hợp bê tông có độ sụt ban đầu là từ 2-3 cm thì độ sụt sẽ tăng rất lớn ứng với một lượng phụ gia rất nhỏ. Do đó, ở những nghiên cứu tiếp theo nên giảm lượng phụ gia siêu dẻo này.



Hình 3. Giá trị độ sụt (cm) và thời gian đông kết (phút) của các mẫu bê tông HVFC và mẫu đối chứng

Sử dụng nước càng nhiều thì thời gian bắt đầu và kết thúc đông kết càng bị kéo dài. Bê tông HVFC có hàm lượng tro bay 70% ở lượng nước N/B 24% (đối với mẫu T70V10S6W24)

có thời gian bắt đầu đông kết nhanh nhất là 30 phút và kết thúc đông kết sớm ở 113 phút. Các mẫu T70V10S6W27 và T70V10S6W30 có thời gian bắt đầu đông kết lần lượt 180 phút và 220 phút và kết thúc đông kết lần lượt là 220 và 250 phút. Trong khi đó, các mẫu đối chứng có thời gian bắt đầu đông kết dao động từ 195 đến 230 phút và thời gian kết thúc đông kết trong khoảng 355 đến 375 phút khi thay đổi tỉ lệ nước từ 24% lên 30%. Hình 3 cũng cho thấy khoảng thời gian giữa bắt đầu và kết thúc đông kết của mẫu HVFC ngắn hơn rất nhiều so với mẫu đối chứng (các chấm xanh ở rất gần chấm đỏ). Như vậy các mẫu HVFC thời gian đông kết ngắn hơn so với các mẫu đối chứng rất nhiều. Phụ gia vôi và silica fume làm rắn chắc nhanh do tận dụng được lượng nhiệt toả ra khi tôi với nước để tạo ra phản ứng silicat. Bột vôi càng mịn sẽ thủy hoá với nước càng nhanh và càng triệt để, nhiệt độ tôi càng lớn và tốc độ tôi càng nhanh sản lượng vôi càng nhiều càng làm rắn nhanh bê tông. Phụ gia tăng tốc NaSCN được biết đến như một chất tăng tốc cho Xi măng Portland hydrat hóa. Nó có tác dụng tăng tốc đối với quá trình hydrat hóa xi măng (cả hai pha C₃S và C₃A). Phụ gia siêu đông DEA làm rắn nhanh giúp giảm thời gian ninh kết của bê tông, đóng vai trò là chất tăng tốc cho các phản ứng C₃A. Phụ gia trợ nghiền Glyxerol là chất tăng tốc cho cả hai pha C₃S và C₃A trong xi măng với liều lượng từ 0,075% so với xi măng. Sử dụng cả 3 phụ gia này giúp tăng tốc tối ưu hơn từng chất riêng lẻ làm cho bê tông rắn nhanh hơn 1 cách đáng kể. Việc nắm rõ thời gian đông kết sẽ giúp điều chỉnh sao cho bê tông đạt chất lượng tốt nhất và thiết lập kế hoạch công trình theo ý muốn. So sánh với kết quả thử nghiệm của Chindaprasirt và Rukzon [28], với cấp phối chỉ sử dụng cát, đá, xi măng và tro bay loại C mà không có các phụ gia khác cho thời gian bắt đầu đông kết rất chậm từ 400-550 phút. Qua đó, có thể thấy sự ảnh hưởng rất lớn của nhóm phụ gia làm rắn nhanh đến quá trình đông kết bê tông HVFC và sự làm chậm quá trình đông kết của tro bay.

3.2. Khối lượng thể tích và độ hút nước bê tông HVFC so với bê tông đối chứng

Sử dụng các hạt chất kết dính tro bay rất mịn làm khả năng lèn chặt của hỗn hợp bê tông, bên cạnh đó phụ gia hóa dẻo và tro bay giúp giữ nước và chống phân tầng, tách nước làm giảm sự xuất hiện các lỗ rỗng gây hao khối lượng. Khối lượng thể tích được dùng để dự đoán một số tính chất của vật liệu như cường độ chịu lực, độ đặc, độ rỗng, khả năng hút nước, và các tính chất khác. Trong khi đó, độ hút nước cho biết khả năng ngấm nước của bê tông ở điều kiện thường. Kết quả đo độ hút nước và khối lượng thể tích của các mẫu HVFC và mẫu đối chứng sau khi bảo dưỡng 28 ngày được thể hiện trong Bảng 4 dưới đây.

Bảng 4. Đặc trưng độ sụt và thời gian đông kết của mẫu các HVFC và đối chứng

Ký hiệu mẫu	Khối lượng thể tích (kg/m ³)	Độ hút nước (%)
T70V10S6W24	2471 ± 5	1,8 ± 0,1
T70V10S6W27	2462 ± 5	1,8 ± 0,1
T70V10S6W30	2456 ± 5	1,9 ± 0,1
ĐCW024	2502 ± 5	1,5 ± 0,1
ĐCW027	2497 ± 5	1,6 ± 0,1
ĐCW030	2492 ± 5	1,6 ± 0,1

Khối lượng thể tích của các mẫu bê tông HVFC từ 2456-2471 kg/m³ thấp hơn các mẫu đối chứng 2492-2502 kg/m³. Do hàm lượng tro bay thay thế lớn, nguyên liệu lại có dạng cầu rỗng nên với cùng thể tích xi măng tương đương thì các hạt xi măng sẽ có khối lượng thể tích lớn hơn. Bê tông HVFC có cùng hàm lượng tro bay có tỉ lệ nước sử dụng càng cao thì khối

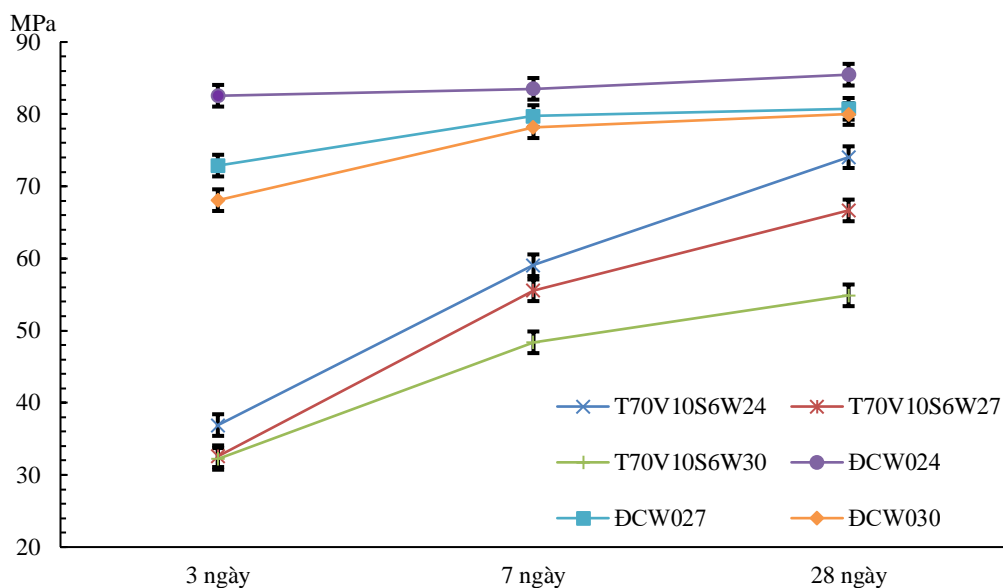
lượng thể tích càng giảm do lượng nước cao khi bê tông đông rắn tỏa nhiệt nước sẽ bay hơi và làm xuất hiện các lỗ rỗng. Do khối lượng thể tích nhỏ hơn nên bê tông HVFC có độ hút nước khoảng 1,8 đến 19% cao hơn so với mẫu đối chứng 1,5 đến 1,6%. Các giá trị này vẫn có độ hút nước thấp hơn các bê tông thi công thực tế trên công trường ở mức 2-4%.

3.3. Độ bền cơ học của bê tông HVFC so với bê tông đối chứng

Bê tông sau khi đông rắn được tháo khuôn và cho vào bể bao dưỡng để ngâm ngập trong nước rồi mang đi kiểm tra đặc tính cơ học. Các đặc tính cơ học bao gồm cường độ nén sau 3 ngày, 7 ngày, và 28 ngày, cường độ uốn sau 28 ngày, và cường độ ép chẻ sau 28 ngày. Độ bền cơ học là đặc trưng cơ bản của bê tông nhằm phản ánh khả năng chịu tải trọng của lực bên ngoài tác động lên nó. Cường độ của bê tông thường phát triển nhanh trong thời gian 7 ngày đầu và sau đó chậm dần cho đến một lúc nào đó thì ngừng phát triển. Với bê tông tro bay hàm lượng cao thì cường độ tuổi sớm sẽ thấp hơn nhưng sẽ cải thiện dần về sau do phản ứng thủy hóa chậm của các hạt tro bay. Kết quả kiểm tra độ bền cơ học của các mẫu HVFC và bê tông đối chứng được cho trong Bảng 5.

Bảng 5. Đặc trưng chịu lực của mẫu các HVFC và đối chứng sau các ngày tuổi khác nhau

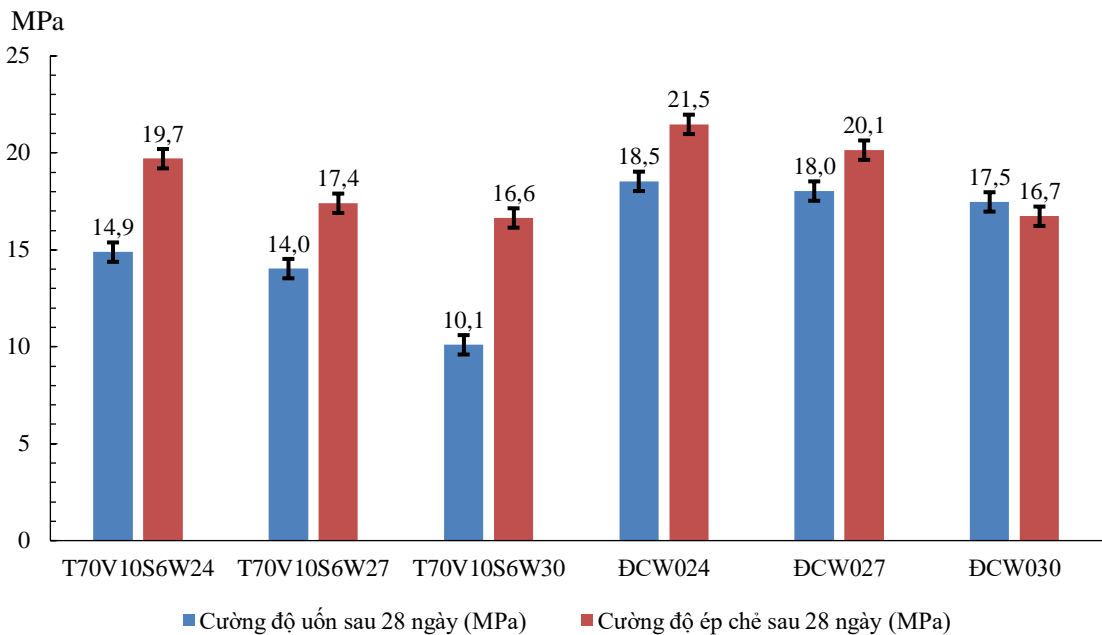
Ký hiệu mẫu	Cường độ nén (MPa)			Cường độ uốn sau 28 ngày (MPa)	Cường độ ép chẻ sau 28 ngày (MPa)
	Sau 3 ngày	Sau 7 ngày	Sau 28 ngày		
T70V10S6W24	36,9 ± 1,5	59,1 ± 1,5	74,0 ± 1,5	14,9 ± 0,5	19,7 ± 0,5
T70V10S6W27	32,6 ± 1,5	55,6 ± 1,5	66,7 ± 1,5	14,0 ± 0,5	17,4 ± 0,5
T70V10S6W30	32,2 ± 1,5	48,4 ± 1,5	54,9 ± 1,5	10,1 ± 0,5	16,6 ± 0,5
ĐCW024	82,6 ± 1,5	83,5 ± 1,5	85,5 ± 1,5	18,5 ± 0,5	21,5 ± 0,5
ĐCW027	72,9 ± 1,5	79,7 ± 1,5	80,7 ± 1,5	18,0 ± 0,5	20,1 ± 0,5
ĐCW030	68,1 ± 1,5	78,2 ± 1,5	80,0 ± 1,5	17,5 ± 0,5	16,7 ± 0,5



Hình 4. Sự phát triển độ bền nén theo ngày tuổi của các mẫu HVFC và đối chứng.

Cường độ chịu nén của bê tông HVFC ở độ tuổi sớm khá thấp như mẫu T70V10S6W30 chỉ đạt 32,2MPa. Bê tông HVFC có hàm lượng tro bay cao có cường độ nén thấp hơn so với mẫu đối chứng do phản ứng thủy hóa chậm của tro bay trong bê tông. Ở ngày thứ 7 và 28 các mẫu bê tông HVFC có tốc độ phát triển cường độ nhanh hơn các mẫu không tro bay một cách rõ rệt như trên Hình 4.

Sự phát triển cường độ ở các mẫu tro bay nhanh hơn các mẫu đối chứng do phản ứng thủy hóa của tro bay trong bê tông vẫn đang diễn ra làm tăng cường độ dài ngày của bê tông HVFC. Với tốc độ phát triển cường độ lâu dài của các mẫu HVFC thì dự đoán ở ngày 90 cường độ của các mẫu HVFC sẽ vượt qua các mẫu đối chứng mặc dù cường độ tuổi sớm thấp hơn rất nhiều. Ở một khía cạnh khác, bê tông HVFC có cùng hàm lượng tro bay có tỉ lệ N/B càng cao thì có cường độ nén càng thấp. Như vậy, tỉ lệ N/B ảnh hưởng đến cường độ của bê tông HVFC. Tỉ lệ nước quá thấp hoặc quá cao sẽ làm giảm cường độ của bê tông. Khi tỉ lệ nước quá nhỏ thì không đủ nước để thủy hóa hoàn toàn nên cường độ bê tông giảm. Tỉ lệ nước cao sẽ chiếm một phần thể tích của bê tông, khi bê tông đóng rắn nước sẽ bay hơi tạo nên các lỗ rỗng làm giảm cường độ.



Hình 5. Cường độ bền uốn và chẻ bửa của các mẫu HVFC và đối chứng sau 28 ngày bảo dưỡng.

Hình 5 là biểu đồ biểu diễn giá trị độ bền uốn và cường độ chẻ bửa của các mẫu bê tông HVFC và bê tông đối chứng sau khi được bảo dưỡng 28 ngày. Bê tông có hàm lượng tro bay càng cao thì cường độ uốn càng thấp. Bên cạnh đó, bê tông HVFC có cùng hàm lượng tro bay có tỉ lệ N/B cao hơn có cường độ uốn thấp hơn. Bê tông HVFC có cường độ uốn nhỏ hơn cường độ ép chẻ trong khi bê tông đối chứng thì không có sự khác nhau nhiều giữa hai tính chất này. Về mặt tổng thể thì cả hai loại bê tông có cùng dãy giá trị cường độ uốn từ 10,1MPa đến 18,5MPa và cường độ chẻ bửa từ 16,6MPa đến 21,5MPa. Cường độ ép chẻ và uốn có ý nghĩa trong lĩnh vực giao thông vận tải làm cầu đường. Cường độ ép chẻ của bê tông có vai trò rất quan trọng, nó giúp không chế vết nứt và các tác động xấu đến tính chất độ cứng hay độ bền của bê tông. Cường độ ép chẻ còn liên quan đến tác động của lực cắt lên bề mặt bê tông. Do sử dụng lượng nước vừa phải cùng với các phụ gia tăng cường độ như SF, vôi, phụ gia 3 thành phần nên cường độ ép chẻ được cải thiện một cách rõ rệt, cao hơn rất nhiều so với nghiên cứu cùng loại [29].

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã sử dụng tro bay để thay thế xi măng trong cấp phối bê tông thông thường trong xây dựng giúp làm giảm kinh phí đầu tư tạo lợi ích lớn về mặt kinh tế. Đặc biệt, lượng tro bay đã thay thế đến 70% xi măng OPC trong các cấp phối thử nghiệm. Tận dụng nguồn tro bay thay thế xi măng cũng giúp giảm lượng lớn phát thải khí CO₂ trên toàn cầu, giúp bảo vệ môi trường, tiết kiệm được diện tích đất chôn lấp và bụi tro gây ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Bê tông HVFC trong nghiên cứu này có thể điều chỉnh thời gian đông kết, nhờ sử dụng do tro bay, vôi, silica fume, và phụ gia siêu dẻo trong thành phần cấp phối. Trong đó HVFC có thời gian bắt đầu đông kết dao động trong khoảng 180 phút đến 220 phút (tương đương với các mẫu đối chứng cùng loại), và thời gian kết thúc đông kết từ 220 phút đến 250 phút (nhanh hơn khoảng trên 120 phút so với các mẫu đối chứng cùng loại). Vì thế trong công trình chúng ta có thể điều chỉnh thời gian đông kết theo ý muốn để phù hợp với môi trường và thời gian làm việc. Ngoài ra, bê tông HVFC có cường độ uốn và ép chèn cao từ 10,1 đến 19,7 MPa và chúng có thể ứng dụng trong lĩnh vực giao thông vận tải làm cầu đường. Cường nén ở tuổi sớm của bê tông HVFC thấp hơn so với các mẫu đối chứng, do phản ứng thủy hóa chậm của các hạt cầu tro bay nhưng tăng cường độ về lâu dài. Cụ thể cường độ nén của HVFC ở 3 ngày tuổi từ 32,2 đến 36,9 MPa; 7 ngày tuổi từ 48,4 đến 59,1 MPa; 28 ngày tuổi từ 54,9 đến 74,0 MPa. Mặc dù các mẫu HVFC đã sử dụng lượng silica fume và vôi để tăng cường độ tuổi sớm cho bê tông HVFC nhưng vẫn chưa thể mang lại hiệu quả như mẫu đối chứng với giá trị thu được từ 80,0 đến 85,5 MPa. Do đó các nghiên cứu tiếp theo nên cải thiện đặc tính này, đồng thời giảm bớt tỉ lệ phụ gia siêu dẻo để đáp ứng với giá trị độ sụt yêu cầu.

Lời cảm ơn: Công trình nghiên cứu được tài trợ kinh phí bởi Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm Thành phố Hồ Chí Minh theo Hợp đồng số 73/ QĐ-DCT, ký ngày 31 tháng 12 năm 2021.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ASTM C618 2003, Standard specification for fly ash and raw calcined natural pozzolan for use as mineral admixture in portland cement concrete, C-618, Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, PA, US (2003).
2. AS 3582.1 2016, Supplementary cementitious materials for use with portland and blended cement - Fly ash, Standards Australia, Strathfield, Australia (2016).
3. McCarthy M., Dhir R. - Development of high volume fly ash cements for use in concrete construction. *Fuel* **84** (11) (2005) 1423-1432.
4. Nayak D.K., Abhilash P.P., Singh R., Kumar R., Kumar V. - Fly ash for sustainable construction: A review of fly ash concrete and its beneficial case studies. *Cleaner Materials* **6** (2022) 100143.
5. Nguyen H.T., Le V.Q. - Influences of Silica Fume to Engineering Properties of High Volume Fly Ash Concrete (HVFC). *Journal of Polymer and Composites* **9** (3) (2021) 33-44.
6. Nguyen H.T., Bui K.T., Do Q.M. - Influence of Curing Regimes on Engineering and Microstructural Properties of Geopolymer-Based Materials from Water Treatment Residue and Fly Ash. *International Journal of Technology* **12** (4) (2021) 700-710.
7. Nguyen H.T., Dang T.P. - Fly Ash-Based Geopolymer: Green Material in Carbon-Constrained Society. *Solid State Phenomena* **321** (2021) 65-71.
8. Montgomery D., Hughes D., Williams R. - Fly ash in concrete - a microstructure study. *Cement and Concrete Research* **11** (4) (1981) 591-603.

9. Kaura P., Ojha P.N., Singh B. - Performance of High Volume Fly Ash Concrete in Structural Applications. *Journal of Building Materials and Structures* **10** (1) (2023) 1-15.
10. Nath N., Sarker P. - Effect of Fly Ash on the Durability Properties of High Strength Concrete, *Procedia Engineering* **14** (2011) 1149-1156.
11. Malhotra V., Mehta P. - High Performance, High-Volume Fly Ash Concrete: materials, mixture proportioning, properties, construction practice, and case histories. *Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc.*, Ottawa Canada, Ottawa, Canada (2002) 1-101.
12. Malhotra V. - Durability of concrete incorporating high-volume of low-calcium (ASTM Class F) fly ash. *Cement and Concrete Composites* **12** (4) (1990) 271-277.
13. Marceau M., Gajda J., VanGeem M. - Use of Fly Ash in Concrete: Normal and High Volume Ranges. *Portland Cement Association R&D Serial* **2604** (2002) 1-6.
14. Glavind M., Munch-Petersen C. - Green concrete in Denmark, structural concrete. *London-Thomas Telford Limited* **1** (2000) 19-26.
15. Obla K.H. - What is Green Concrete?, *The Indian Concrete Journal* **24** (2009) 26-38.
16. Suhendro B. - Toward green concrete for better sustainable environment, *Procedia Engineering* **95** (2014) 305-20.
17. Ho D., Mak S.L., Sagoe-Crentsil K.K. - Clean concrete construction: an Australian perspective, *Proceedings, Concrete Technology for a Sustainable Development in the 21st Century*, ed. by OE Gjörv and K. Sakai (E & FN Spon, London and New York, 2000) (2000) 236-245.
18. Griffin C. - Sustainability, Performance and Mix Design of High Volume Fly Ash Concrete. *University of California, Berkeley* (2005) 1-31.
19. Aggarwal V., Gupta S., Sachdeva S. - High volume fly ash concrete: A green concrete. *Journal of Environmental Research And Development* **6** (3A) (2012) 884-887.
20. TCVN 3015:1993, Hỗn hợp bê tông nặng và bê tông nặng-lầy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử, Tiêu chuẩn Việt Nam (1993).
21. TCVN 3106:1993, Phương pháp thử độ sụt, Tiêu chuẩn Việt Nam (1993).
22. TCVN 9338:2012, Phương pháp xác định thời gian đông kết, Tiêu chuẩn Việt Nam (2012)
23. TCVN 3108:1993, Phương pháp xác định khối lượng thể tích, Tiêu chuẩn Việt Nam (1993)
24. TCVN 3113:1993, Phương pháp xác định độ hút nước, Tiêu chuẩn Việt Nam (1993).
25. TCVN 3118:1993, Phương pháp xác định cường độ nén, Tiêu chuẩn Việt Nam (1993).
26. TCVN 3119:1993, Phương pháp xác định cường độ uốn, Tiêu chuẩn Việt Nam (1993).
27. TCVN 3120:1993, Phương pháp thử cường độ kéo khi bửa, Tiêu chuẩn Việt Nam (1993)
28. Chindaprasirt P., Rukzon S. - Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend cement, rice husk ash and fly ash mortar. *Construction and Building Materials* **22** (2008) 1601-1606.
29. Nguyễn Thanh Sang, Trương Văn Quyết, Phạm Đình Huy Hoàng - Thiết kế thành phần và đặc tính kỹ thuật của bê tông tro bay cao làm lớp móng mặt đường ô tô. *Tạp chí Khoa học Công nghệ* **3** (2021) 72-75.

ABSTRACT

EVALUATION OF ENGINEERING PROPERTIES OF HIGH-VOLUME FLY ASH CONCRETE (HVFC) USING LIME AND SILICA FUME ADDITIVES

Nguyen Hoc Thang^{1*}, Truong Bach Chien¹, Le Van Quang²

¹*Ho Chi Minh City University of Food Industry*

²*Vietnam Institute for Building Materials*

*Email: *thangnh@hufi.edu.vn*

High-volume fly ash concrete (HVFC) has been studied recently to solve the ash pollution of thermal power waste and environmental problems caused by the cement manufacturing industry. This study was conducted to produce concrete specimens with 70% ordinary portland cement (OPC) to be replaced by fly ash (FA, in wt.). Adding lime and silica fume additives have significantly improved the engineering properties of the HVFC products. The engineering properties such as compressive strength, flexural strength, split strength, and water absorption were evaluated according to Vietnamese standards (TCVN) being applied to commercial concrete on the market. The research results of HVFC samples were also compared with the control products according to the curing age of 3 days, 7 days, and 28 days.

Keywords: High-volume fly ash concrete (HVFC), fly ash, lime, silica fume, cement.