

Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng vôi và silica fume đến đặc tính cơ lý của vữa xi măng sử dụng hàm lượng tro bay cao

Vũ Việt Hưng¹, Đàm Quang Phổ¹, Trần Hoàng Văn², Lê Văn Quang^{2*}

¹ Phân hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải

² Viện Vật liệu Xây dựng, 235 Nguyễn Trãi, P. Thanh Xuân Trung, Q Thanh Xuân, Hà Nội

TỪ KHOÁ

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

TÓM TẮT

Sử dụng tro bay thay thế một phần hay toàn bộ xi măng Póc lãng trong chế tạo vữa, bê tông ngày càng thu hút được sự quan tâm trong giới học thuật và ứng dụng thực tế do các ưu điểm cả về đặc tính cơ lý và tính thân thiện môi trường của vật liệu. Tuy nhiên, với hàm lượng tro bay cao, thời gian đông kết của vữa bị kéo dài, chậm phát triển cường độ, gây giảm tiến độ thi công, và làm hạn chế tính ứng dụng của vữa. Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của việc bổ sung lượng vôi (5 ÷ 30 %) hoặc silica fume (2 ÷ 10 %) đến một số tính chất của vữa, như độ linh động, thời gian bắt đầu đông kết và cường độ phát triển theo thời gian (3 ÷ 90 ngày tuổi), trong đó xi măng Nghi Sơn PC40 được thay thế bởi 60, 70 và 80 % tro bay Duyên Hải theo khối lượng, được tiến hành và so sánh đối chiếu với nhóm mẫu đối chứng (100 % PC40). Kết quả thí nghiệm cho thấy, hàm lượng vôi bổ sung tối ưu để đạt được các tính chất cường độ tuổi sớm (3 và 7 ngày) và cải thiện thời gian đông kết lần lượt là 5 %; 10 %; 15 % so với tổng lượng chất kết dính tương ứng cho cấp phối vữa sử dụng tro bay là 60 %; 70 % và 80 %. Trong khi đó, tỷ lệ hợp lý lựa chọn silica fume là 6 % trong tất cả các cấp phối.

KEYWORDS

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

ABSTRACT

Using fly ash to partially or totally replace Portland cement in making mortar and concrete have been attracting more attention in academic researches and practical applications due to its advantages in both physical and mechanical properties, environmental friendliness of the material. However, with high fly ash content, the setting time of the mortar is prolonged, the strength development the construction progress were delayed, and the applicability of the mortar is limited. In this study, the effect of the addition of lime (5 ÷ 30 %) or silica fume (2 ÷ 10 %) on some properties of mortar, such as the consistency, setting time, and strength development over time (3 ÷ 90 days old) of mortars, in which Nghi Son PC40 cement was replaced by 60, 70 and 80 % Duyen Hai fly ash by weight, was investigated and compared with the control group (100 % PC40). Experimental results showed that the optimal lime addition content to achieve early age strength properties (3 and 7 days) and improve setting time was 5 %; 10 %; 15 % corresponding to mortars using fly ash of 60 %; 70 % and 80 %, respectively. Meanwhile, the reasonable rate of silica fume addition is 6 % in all mixes.

1. Giới thiệu

Vữa là chất kết dính liên kết các vật liệu xây dựng, thường là hỗn hợp của nước, cốt liệu mịn và vật liệu kết dính như xi măng, vôi, v.v ... Thực tế cho thấy rằng, các vữa xây dựng hiện nay chủ yếu tập trung phát triển cường độ cao sớm, cải thiện tính dính bám, hạn chế co ngót, giá thành còn khá cao (do phần lớn là sản phẩm độc quyền của nước ngoài), và đặc biệt là ít hoặc chưa chú ý nhiều đến tính thân thiện với môi trường [1]. Việc sử dụng hiệu quả tài nguyên, triệt để tiết kiệm năng lượng, nguyên nhiên liệu, đồng thời hạn chế tối đa ảnh hưởng tới môi trường trong quá trình khai thác sử dụng đang là mục

tiêu mà chúng ta hướng tới.

Hiện nay, ở Việt Nam, hơn 25 triệu tấn tro, xỉ được thải ra mỗi năm chủ yếu từ các nhà máy điện thuộc Tập đoàn điện lực - EVN, Tập đoàn Than - Khoáng sản Việt Nam - TKV, Tập đoàn Dầu khí Việt Nam - PVN và các doanh nghiệp khác. Hầu hết lượng tro, xỉ này được vận chuyển ra ngoài bãi thải không được sử dụng về lâu dài sẽ tác động xấu đến môi trường, đồng thời lãng phí nguồn tài nguyên. Việc sử dụng tro bay thay thế một phần xi măng không những giảm giá thành của sản phẩm mà còn tận dụng được phụ phẩm của ngành công nghiệp nhiệt điện, giảm thiểu ô nhiễm môi trường, và cải thiện nhiều tính chất của bê tông xi măng và các loại vật liệu gốc xi măng khác

*Liên hệ tác giả: quanghuce83@gmail.com

Nhận ngày 30/10/2021, sửa xong ngày 04/11/2021, chấp nhận đăng 15/01/2022

<https://doi.org/10.54772/jomc.01.2022.255>

(vữa xi măng, gạch không nung...) như giảm nhiệt thủy hóa, tăng tính bền vững, nâng cao độ bền cơ học dài hạn, tăng tính dễ thi công... khi so sánh với vữa/bê tông xi măng thông thường.

Tro bay thường được đề xuất thay thế xi măng tới 35 % tổng khối lượng xi măng Poóc lăng theo ACI 211, ACI 232 [2,3]. Tuy nhiên, nếu xét về tổng thể ở thời gian dài, các nhà nghiên cứu cho rằng việc thay thế xi măng bằng tro bay có thể lên tới 50 % hoặc lớn hơn và gọi bê tông chứa hơn 50 % hàm lượng tro bay theo khối lượng thay thế xi măng Poóc lăng được coi là bê tông hàm lượng tro bay cao [4,5]. Ở Việt Nam đã có nhiều nghiên cứu về sử dụng tro bay thay thế xi măng trong chế tạo vữa, bê tông và áp dụng cụ thể vào các công trình xây dựng dân dụng, giao thông, thủy lợi... Song chủ yếu là dùng trong hỗn hợp bê tông xi măng, đặc biệt là bê tông đầm lăn sử dụng cho đập trọng lực [6,7]; ứng dụng cho đường giao thông là chủ yếu [8,9], bê tông tính năng cao [10] với hàm lượng tro bay thay thế xi măng Poóc lăng tối đa khoảng 50 %. Do vậy, những nghiên cứu về việc sử dụng tro bay cao trong vữa xi măng còn tương đối ít. Sự thay thế lượng xi măng rất lớn bằng tro bay làm chậm quá trình hydrat hóa chất kết dính, kéo dài thời gian đông kết và giảm cường độ nén ở tuổi sớm [11]. Một số loại vữa cần có sự dưỡng hộ đặc biệt mới đạt được chất lượng yêu cầu [12], làm hạn chế tính ứng dụng của loại vật liệu này.

Nhược điểm lớn nhất của vữa xi măng hàm lượng tro bay cao là phát triển cường độ tuổi sớm thấp. Do tốc độ phản ứng pozzolan chậm và nghiên cứu cho thấy tác dụng của phản ứng pozzolan rất ít cho đến tuổi 7 ngày và sự đóng góp tăng cường độ đáng kể có thể sau 28 ngày, được đo bằng tốc độ suy giảm vôi bằng Phân tích nhiệt trọng lượng [13]. Cường độ tuổi sớm có thể không đủ để đạt được các chỉ tiêu kỹ thuật và thiết kế như tháo ván khuôn sớm [14]. Do đó, nếu muốn mở rộng phạm vi sử dụng của vữa sử dụng tro bay cao trong thực tiễn xây dựng thì bắt buộc phải tăng cường độ sớm.

Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của việc bổ sung lượng vôi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hoặc silica fume hợp lý đến một số tính chất của vữa, như độ linh động, thời gian bắt đầu đông kết và cường độ phát triển theo thời gian (3 ÷ 90 ngày tuổi), trong đó xi măng Nghi Sơn PC40 được thay thế bởi 60, 70 và 80 % tro bay Duyên Hải theo khối lượng, được tiến hành và so sánh đối chiếu với nhóm mẫu đối chứng (100 % PC40).

Việc xác định hàm lượng vôi, silica fume bổ sung tối ưu khi sử dụng hàm lượng tro bay thay thế đến 80 % xi măng poóc lăng để chế tạo vữa xây dựng góp phần đa dạng hóa các nguồn nguyên liệu thay thế xi măng poóc lăng, tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên và hạn chế ô nhiễm môi trường. Ngoài ra, nó thúc đẩy sự phát triển của ngành vật liệu, tạo điều kiện sử dụng vật liệu phù hợp nhu cầu sử dụng và thân thiện với môi trường tại Việt Nam, phù hợp với xu thế phát triển bền vững ngành vật liệu xây dựng trên thế giới hiện nay.

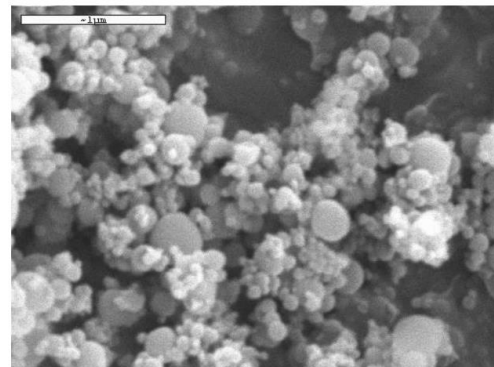
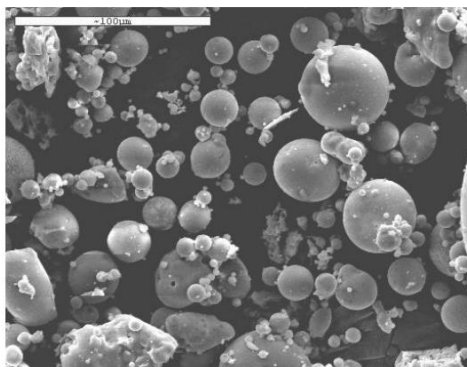
2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Xi măng sử dụng trong nghiên cứu là xi măng Nghi Sơn PC40, phù hợp với các yêu cầu kỹ thuật đối với xi măng Poóc lăng theo TCVN 2682:2020, với khối lượng riêng là $3,11 \text{ g/cm}^3$. Tro bay sử dụng là tro bay của nhà máy nhiệt điện Duyên Hải 1, phù hợp làm phụ gia cho bê tông, xi măng theo TCVN 10302:2014, thuộc tro bay axít loại F với khối lượng riêng là $2,28 \text{ g/cm}^3$.

Cát sử dụng trong nghiên cứu là hỗn hợp gồm hai loại phối hợp: 50 % cát tự nhiên - cát sông Đồng Nai và 50 % cát nghiền có nguồn gốc từ mỏ đá Tân Cang Đồng Nai, phù hợp với yêu cầu đối với cát thô cho bê tông theo tiêu chuẩn quốc gia TCVN 7570:2006, với khối lượng riêng là $2,65 \text{ g/cm}^3$ và mô đun độ lớn là 2,73. Nước sử dụng cho trộn mẫu trong nghiên cứu này là nước máy thủy cục lấy tại Phân Viện Vật liệu Xây dựng miền Nam, phù hợp với tiêu chuẩn TCVN 4506:2012. Phụ gia siêu dẻo tầm cao thế hệ III dạng lỏng, có thành phần chính là ete của polycarboxylate (Viscocrete 8650) của hãng Sika, phù hợp với phụ gia siêu dẻo giảm nước mức cao, loại F theo TCVN 8826:2011.

Ngoài ra, trong nghiên cứu này sử dụng thêm silica fume và vôi nhằm cải thiện được cường độ nén ở tuổi sớm cho vữa cũng như thời gian ninh kết, đông rắn nhanh. Silica fume sử dụng là loại 940U do hãng Elkem Silicon Materials cung cấp, thuộc nhóm phụ gia khoáng có hoạt tính mạnh, chứa 93,8 % SiO_2 và khối lượng riêng là $2,24 \text{ g/cm}^3$. Trong khi đó, vôi sử dụng là loại vôi bột hydrat, công thức hóa học là $\text{Ca}(\text{OH})_2$, chứa 62,2 % $(\text{CaO} + \text{MgO})$ và khối lượng riêng là $2,21 \text{ g/cm}^3$.



Hình 1. Hình ảnh chụp SEM của các hạt tro bay (Phóng đại 300 lần) – trái ; mẫu silica fume – phải.

Trình tự nghiên cứu như sau: đầu tiên nghiên cứu xác định lượng vôi Ca(OH)₂ bổ sung hợp lý trong vữa, lượng vôi đủ để tham gia phản ứng puzolan với tro bay và đảm bảo tính kiềm để bảo vệ cốt thép của bê tông. Mặt khác, giúp cải thiện được cường độ nén ở tuổi sớm cho vữa cũng như thời gian ninh kết, đóng rắn nhanh khi so với mẫu đối chứng không sử dụng thêm vôi. Cấp phối thí nghiệm trong nghiên cứu sử dụng cấp phối vữa với các thông số cố định và các ký hiệu như sau: Tỷ lệ nước/ bột là 0,3 (bột = chất kết dính + vôi (+ silica fume)); lượng vôi bổ sung coi như phụ gia bột bên ngoài theo tỷ lệ 5; 10; 15; 20; 30 % chất kết dính (CKD = xi măng + tro bay). Hàm lượng phụ gia siêu dẻo sử dụng 1 % tổng lượng bột. Ký hiệu mẫu, để thống nhất các mẫu được đặt theo nguyên tắc: tên mẫu được đặt gồm 2 phần, phần chữ cái tiền tố đứng đầu và phần số hậu đứng sau: ĐCV - mẫu đối chứng, sử dụng 100 % xi

măng; chữ cái đầu T - mẫu sử dụng tro bay, V - là mẫu thêm vôi; hậu tố phía sau, các số 60; 70; 80 đứng sau T là tỷ lệ % thay thế xi măng bằng tro bay. Các số 0; 5; 10; 15; 20; 25; 30 đứng sau V là tỷ lệ bổ sung vôi. Thành phần cấp phối vữa nghiên cứu hàm lượng vôi hợp lý được trình bày trong Bảng 1 dưới đây.

Tiếp theo, nghiên cứu giải pháp tăng cường độ tuổi sớm, đóng rắn nhanh của vữa bằng cách bổ sung silica fume được tiến hành với tỷ lệ từ 2; 4; 6; 8; 10% trên tổng chất kết dính và chỉ sử dụng các cấp phối tối ưu có dùng vôi hợp lý (a,b,c %) ở các tỷ lệ tro bay khác nhau 60; 70; 80 % để khảo sát lượng silica fume. Các ký hiệu mẫu tương tự như trên, trong đó: chữ cái đầu S - mẫu sử dụng silica fume. Thành phần cấp phối vữa nghiên cứu sử dụng silica fume được trình bày trong Bảng 2 dưới đây.

Bảng 1. Thành phần cấp phối vữa nghiên cứu hàm lượng vôi bổ sung.

TT	Kí hiệu	Tỷ lệ vôi %	Thành phần vật liệu cho 1 m ³ vữa						Tổng/ m ³ (kg)
			Xi măng (kg)	Tro bay (kg)	Vôi (kg)	Cát (kg)	Nước (kg)	Phụ gia (kg)	
1	ĐCV	-	450	0	0	1905	132	4,50	2491
2	T60V0	-	180	270	0	1795	132	4,50	2381
3	T70V0	-	135	315	0	1776	132	4,50	2363
4	T80V0	-	90	360	0	1758	132	4,50	2345
5	T60V5	5	180	270	22,5	1745	139	4,73	2361
6	T60V10	10	180	270	45,0	1696	145	4,95	2341
7	T60V15	15	180	270	67,5	1646	152	5,18	2321
8	T60V20	20	180	270	90,0	1597	158	5,40	2301
9	T60V25	25	180	270	112,5	1548	165	5,63	2281
10	T60V30	30	180	270	135,0	1498	172	5,85	2261
11	T70V5	5	135	315	22,5	1727	139	4,73	2343
12	T70V10	10	135	315	45,0	1678	145	4,95	2323
13	T70V15	15	135	315	67,5	1628	152	5,18	2303
14	T70V20	20	135	315	90,0	1579	158	5,40	2283
15	T70V25	25	135	315	112,5	1529	165	5,63	2262
16	T70V30	30	135	315	135,0	1480	172	5,85	2242
17	T80V5	5	90	360	22,5	1709	139	4,73	2325
18	T80V10	10	90	360	45,0	1659	145	4,95	2304
19	T80V15	15	90	360	67,5	1610	152	5,18	2284
20	T80V20	20	90	360	90,0	1560	158	5,40	2264
21	T80V25	25	90	360	112,5	1511	165	5,63	2244
22	T80V30	30	90	360	135,0	1462	172	5,85	2224

Bảng 2. Thành phần cấp phối vữa nghiên cứu sử dụng silica fume.

TT	Kí hiệu	Tỷ lệ các thành phần vật liệu				
		Xi măng	Tro bay	Vôi	Silica fume	CKD
		(kg)	(kg)	(%)	(%)	(kg)
23	T60VaS2	180	270	a	2	450
24	T60VaS4	180	270		4	450
25	T60VaS6	180	270		6	450
26	T60VaS8	180	270		8	450
27	T60VaS10	180	270		10	450
28	T70VbS2	135	315	b	2	450
29	T70VbS4	135	315		4	450
30	T70VbS6	135	315		6	450
31	T70VbS8	135	315		8	450
32	T70VbS10	135	315		10	450
33	T80VcS2	90	360	c	2	450
34	T80VcS4	90	360		4	450
35	T80VcS6	90	360		6	450
36	T80VcS8	90	360		8	450
37	T80VcS10	90	360		10	450

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Việc đánh giá này thông qua ba tiêu chí quan trọng của hỗn hợp vữa tươi và vữa đóng rắn, đó là độ lưu động, thời gian ninh kết và cường độ chịu nén của vữa theo thời gian (3-180 ngày) so với mẫu đối chứng không sử dụng tro bay và không sử dụng thêm vôi, silica fume. Đầu tiên, nghiên cứu ảnh hưởng và lựa chọn hàm lượng vôi hợp lý trong vữa. Từ đó, đưa ra tỷ lệ vôi tối ưu sử dụng trong vữa để tiếp tục cho các nghiên cứu tiếp theo ở phần sau. Tiếp theo, nghiên cứu sử dụng phụ gia silica fume tăng cường độ sớm cho vữa và đưa ra tỷ lệ vôi tối ưu sử dụng vôi và silica fume tăng tốc trong vữa. Chi tiết các thí nghiệm của vữa xi măng sử dụng hàm lượng tro bay cao được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Các thí nghiệm nghiên cứu ảnh hưởng của lượng vôi, silica fume bổ sung đến tính chất của vữa sử dụng hàm lượng tro bay cao.

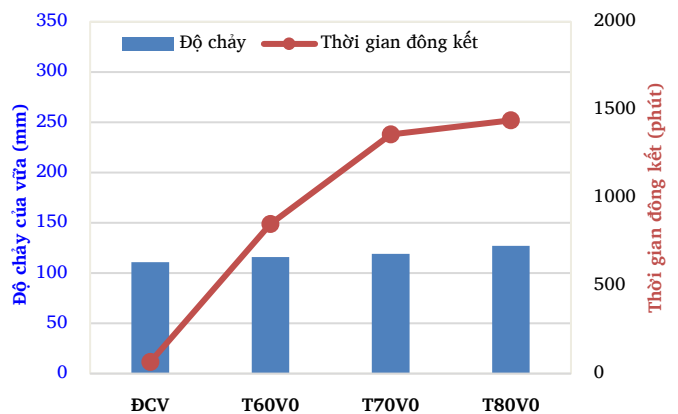
TT	Tính chất của vữa	Tiêu chuẩn áp dụng	Ghi chú
1	Độ lưu động	TCVN 3121-3:2003	Ngay khi đổ mẫu vữa
2	Thời gian đông kết	TCVN 3121-9:2003	Ngay khi đổ mẫu vữa
3	Cường độ nén	TCVN 3121-11:2003	3, 7, 28, 56, 90 ngày tuổi

3. Kết quả thực nghiệm và thảo luận

3.1. Ảnh hưởng của lượng vôi bổ sung đến tính chất của vữa

3.1.1. Độ lưu động và thời gian đông kết

Kết quả thí nghiệm về độ lưu động của hỗn hợp vữa và thời gian đông kết của nhóm mẫu đối chứng được thể hiện trên Hình 2. Trong nghiên cứu này, sử dụng nhóm mẫu đối chứng không thêm vôi để so sánh: chỉ sử dụng xi măng Nghi Sơn PC40 (ĐCV), và các cấp phối có hàm lượng thay thế tro bay lần lượt là 60 %, 70 % và 80 % (T60V0, T70V0, T80V0).



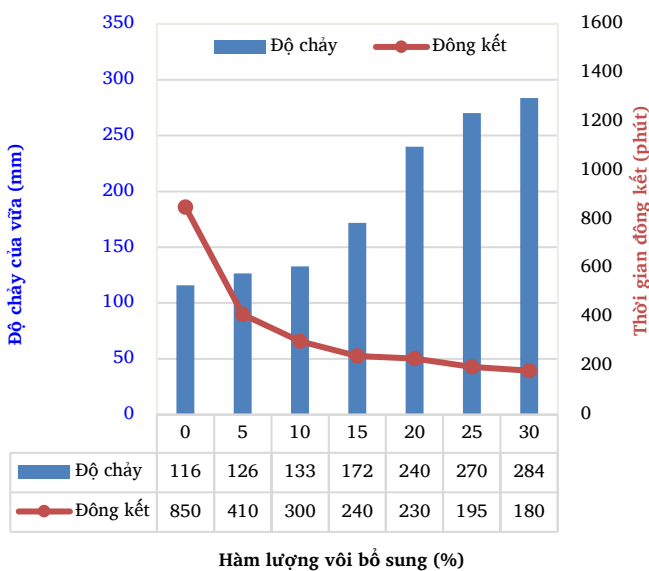
Hình 2. Độ lưu động và thời gian đông kết của hỗn hợp vữa nhóm

mẫu đối chứng.

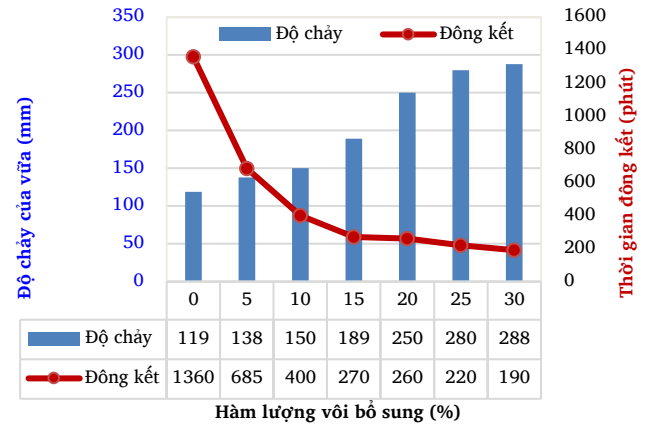
Từ kết quả ở Hình 2, có thể thấy độ chảy và thời gian đông kết của hỗn hợp ĐCV lần lượt là 111 mm và 65 phút. Khi thay thế xi măng bởi 60, 70 và 80 % tro bay, độ chảy tăng nhẹ, dao động từ 116 – 127 mm, có thể là do bề mặt trơn nhẵn, hình cầu của các hạt tro bay (Hình 1, trái). Tuy nhiên, thời gian đông kết của hỗn hợp vữa tăng lên đáng kể từ 850 – 1440 phút. Điều này có thể được giải thích do đặc tính puzolan của tro bay, đặc biệt khi sử dụng với hàm lượng lớn thay thế xi măng [13,14].

Bổ sung thêm vôi với hàm lượng từ 5 % đến 30 % so với lượng chất kết dính làm thay đổi đáng kể đến độ chảy và thời gian đông kết của hỗn hợp vữa với tro bay thay thế xi măng ở tỷ lệ 60, 70 và 80 %, như thể hiện trên Hình 3, Hình 4 và Hình 5. Cụ thể, trường hợp thay thế 60% tro bay, độ chảy của hỗn hợp vữa tăng dần từ 116 mm đến 284 mm, trong khi thời gian đông kết của hỗn hợp vữa giảm dần từ 850 phút xuống 180 phút ứng với lượng bổ sung vôi tăng dần từ 0% đến 30 % (Hình 3). Xu hướng tương tự cũng được quan sát thấy đối với các trường hợp thay thế 70 % và 80 % tro bay (Hình 4 và 5). Khi bổ sung vôi, độ chảy của hỗn hợp vữa được tăng lên và thời gian đông kết của hỗn hợp vữa được rút ngắn lại. Điều này là do khi bổ sung $Ca(OH)_2$ trong hỗn hợp vữa xi măng – tro bay gây ra sự tăng nhiệt tỏa ra khi hydrat hóa, rút ngắn thời gian phản ứng và tăng độ chặt trong quá trình kết tủa của C – S – H [15].

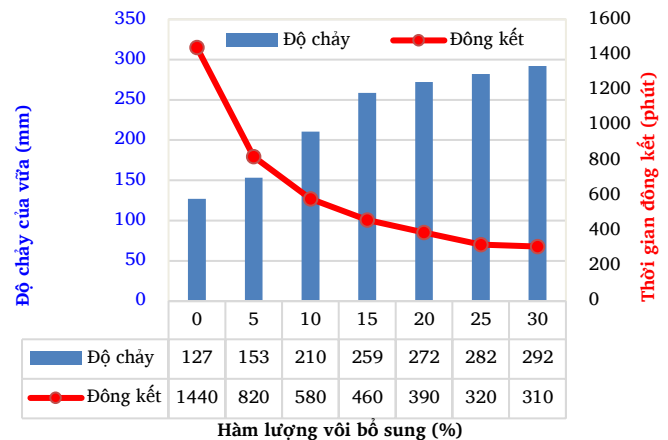
Từ những kết quả nghiên cứu trên cho thấy, khi sử dụng thêm vôi, các tính chất về thời gian đông kết và độ lưu động của hỗn hợp vữa sử dụng tro bay cao đều được cải thiện. Sự ảnh hưởng của hàm lượng vôi bổ sung càng lớn khi hỗn hợp sử dụng tro bay thay thế xi măng càng nhiều. Vì thế, sử dụng thêm vôi là cần thiết đối với vữa hàm lượng tro bay cao.



Hình 3. Ảnh hưởng của lượng vôi bổ sung đến độ chảy và thời gian đông kết của hỗn hợp vữa khi thay thế 60 % tro bay.



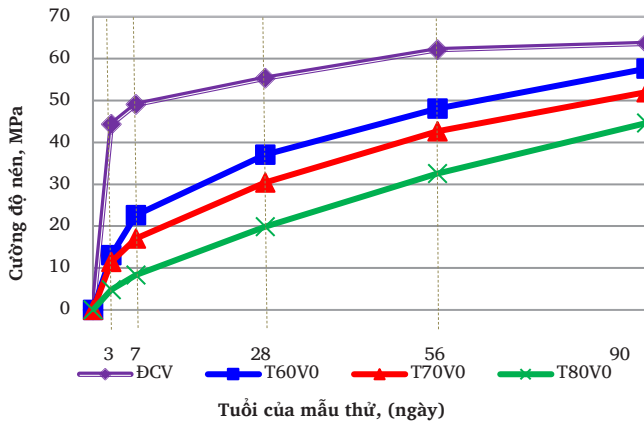
Hình 4. Ảnh hưởng của lượng vôi bổ sung đến độ chảy và thời gian đông kết của hỗn hợp vữa khi thay thế 70 % tro bay.



Hình 5. Ảnh hưởng của lượng vôi bổ sung đến độ chảy và thời gian đông kết của hỗn hợp vữa khi thay thế 80 % tro bay.

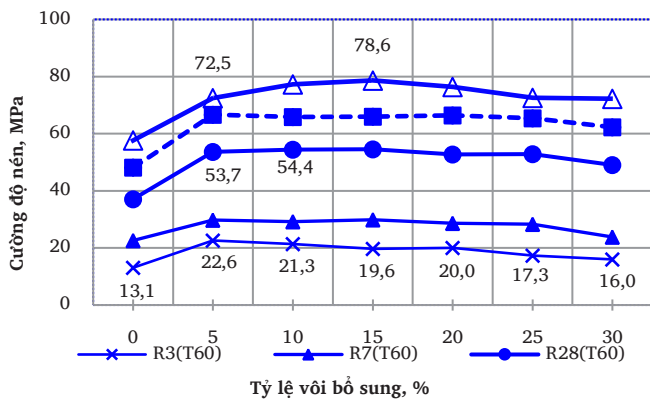
3.1.2. Cường độ nén của vữa theo thời gian

Kết quả nghiên cứu về cường độ phát triển theo thời gian của nhóm mẫu đối chứng được thể hiện trên Hình 6. Có thể thấy rằng, khi thay thế xi măng bởi tro bay, cường độ của mẫu vữa đều giảm so với mẫu ĐCV ở tất cả các ngày tuổi khác nhau. Cụ thể, cường độ nén ở 3 ngày tuổi của vữa sử dụng 0, 60, 70, 80 % tro bay lần lượt là 44,3; 13,1; 11,4 và 4,8 MPa; ở 28 ngày tuổi tương ứng lần lượt là 55,3; 37,1; 30,5 và 19,9 MPa; và ở 90 ngày tuổi lần lượt là 63,7; 57,6; 52 và 44,7 MPa (Hình 6). Tuy nhiên, sự phát triển cường độ của mẫu vữa ĐCV thay đổi không đáng kể sau 28 ngày, cụ thể tăng 12 % tại 56 và 15 % tại 90 ngày tuổi, trong khi đó cường độ nén của mẫu vữa sử dụng 60, 70 và 80% tro bay tăng lần lượt là 30, 40 và 64 % so với cường độ 28 ngày, và tương ứng lần lượt là 55, 71 và 125 % ở 90 ngày tuổi. Điều này có thể được giải thích là do đặc tính puzolan của tro bay, càng nhiều xi măng được thay thế bởi tro bay, tốc độ phản ứng ban đầu càng chậm; tuy nhiên sự phát triển cường độ dài ngày sẽ càng phát triển [13,14].

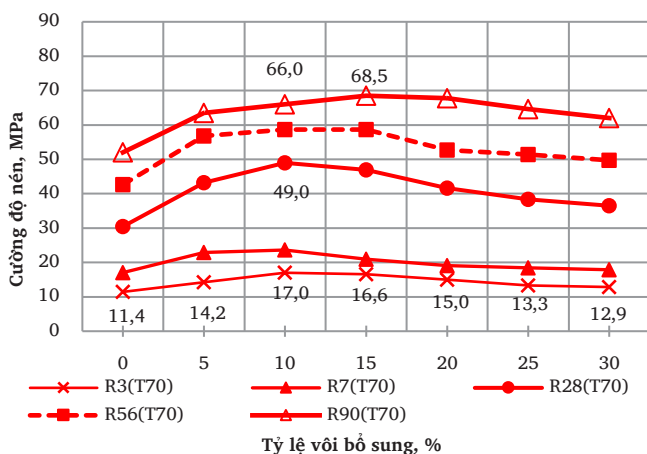


Hình 6. Phát triển cường độ nén theo thời gian của nhóm mẫu đối chứng.

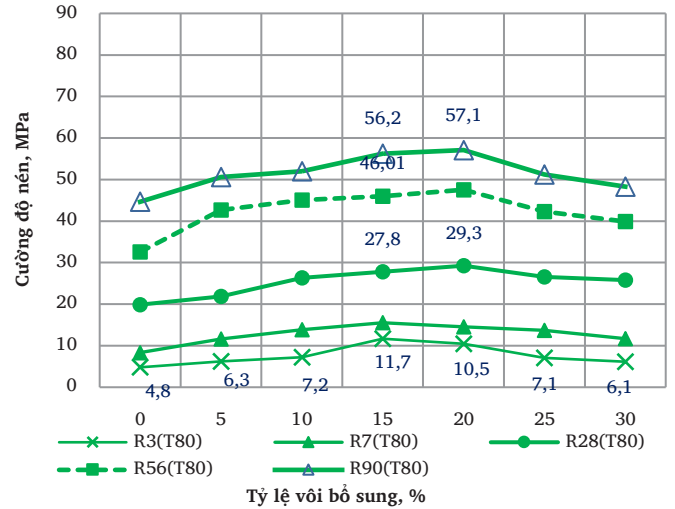
Bổ sung thêm vôi với hàm lượng từ 5 % đến 30 % so với lượng chất kết dính (tro bay + xi măng), ảnh hưởng của lượng vôi đến các tính chất về cường độ nén của vữa được thể hiện trên Hình 7, Hình 8 và Hình 9.



Hình 7. Ảnh hưởng của lượng vôi bổ sung đến cường độ nén của vữa khi thay thế 60 % tro bay.



Hình 8. Ảnh hưởng của lượng vôi bổ sung đến cường độ nén của vữa khi thay thế 70 % tro bay.



Hình 9. Ảnh hưởng của lượng vôi bổ sung đến cường độ nén của vữa khi thay thế 80 % tro bay.

Cường độ nén ở tất cả các tỷ lệ bổ sung vôi từ 5 đến 30% trong nghiên cứu đều cho kết quả cao hơn mẫu ban đầu không sử dụng thêm vôi ở tất cả các ngày tuổi khác nhau. Tuy nhiên, hàm lượng vôi cần thiết để cường độ nén đạt giá trị cao nhất lại có sự khác nhau ở các ngày tuổi và ở tỷ lệ sử dụng tro bay thay thế xi măng khác nhau.

Vì hàm lượng sử dụng tro bay trong hỗn hợp là rất lớn, nên hỗn hợp vữa cần thời gian dài hơn 28 ngày để phản ứng puzolan diễn ra một cách hoàn toàn. Trong thời gian đầu ở tuổi sớm có thể thấy phản ứng puzolan đã diễn ra, ưu tiên các hạt tro bay mịn hơn, hoạt tính hơn nên lượng vôi cần thiết cho phản ứng là ít hơn. Điều đó được thể hiện như sau: cường độ nén ở tuổi 3 ngày tăng từ 13,1 MPa lên 22,6 MPa (tăng 73 %) với mẫu 60 % tro bay (Hình 7); cường độ nén tăng từ 11,4 MPa lên 17,0 MPa (49 %) với mẫu 70 % tro bay (Hình 8) và cường độ nén tăng từ 4,8 MPa lên 11,7 MPa (tăng 144 %) với mẫu 80 % tro bay (Hình 9). Ở tuổi 7 ngày, cường độ nén tăng từ 22,6 MPa lên 29,8 MPa (tăng 32 %) với mẫu 60 % tro bay (Hình 7); tăng từ 17,1 MPa lên 23,6 MPa (tăng 38 %) với mẫu 70 % tro bay (Hình 8) và tăng từ 8,3 MPa lên 15,5 MPa (tăng 87 %) với mẫu 80 % tro bay (Hình 9). Chứng tỏ ngay khi ở tuổi sớm ngày, tro bay đã tham gia vào phản ứng puzolan góp phần làm cải thiện cường độ nén của vữa. Hàm lượng vôi cần thiết cho phản ứng ở tuổi sớm (3; 7) ngày trong kết quả nghiên cứu là (5; 10; 15) % tương ứng với cấp phối sử dụng tro bay thay thế xi măng lần lượt là (60; 70; 80) %.

Khi ở tuổi dài ngày hơn 28; 56; 90 ngày, phản ứng puzolan vẫn tiếp tục xảy ra và cần một lượng vôi lớn hơn để phản ứng diễn ra một cách hoàn toàn. Cụ thể, cường độ nén ở tuổi 28 ngày tăng từ 37,1 MPa lên 54,6 MPa (tăng 47 %) với mẫu 60 % tro bay (Hình 7); tăng từ 30,5 MPa lên 49,0 MPa (tăng 61 %) với mẫu 70 % tro bay (Hình 8); tăng từ 19,9 MPa lên 29,3 MPa (tăng 47 %) với mẫu 80 % tro bay như Hình 9. Cường độ nén ở tuổi 90 ngày, tăng từ 57,6 MPa lên 78,6 MPa (tăng 36 %) với mẫu 60 % tro bay; tăng từ 52,0 MPa lên 68,5 MPa (tăng 32 %) với mẫu 70 % tro bay; và tăng từ 44,7 MPa lên 57,1

MPa (tăng 28 %) với mẫu 80 % tro bay như Hình 7-9.

Kết quả trên cũng cho thấy rằng, khi sử dụng hàm lượng tro bay càng lớn thì sản phẩm thủy hóa của xi măng là $Ca(OH)_2$ sinh ra rất ít ở tuổi sớm ngày (3; 7) ngày và không đủ cho phản ứng puzolan. Vì vậy, lượng vôi bổ sung ảnh hưởng rất rõ nét đến cường độ nén ở tuổi sớm (mẫu cao nhất tăng tới 144 % ứng với cấp phối sử dụng tro bay 80 %) [16]. Khi hàm lượng vôi bổ sung cao, đạt cường độ nén cao hơn ở tuổi dài ngày do phản ứng puzolan diễn ra triệt để hơn, nhưng cường độ ở tuổi sớm lại có xu hướng giảm bởi giai đoạn đầu phản ứng puzolan diễn ra vẫn còn chậm, lượng vôi dư thừa làm ảnh hưởng đến cường độ nén ở giai đoạn này [17]. Vì vậy trong nghiên cứu lựa chọn hàm lượng vôi bổ sung tối ưu để đạt được các tính chất cường độ sớm, với hàm lượng vôi lần lượt là 5 %; 10 %; 15 % tương ứng cho cấp phối sử dụng tro bay là 60 %; 70 % và 80 % thay thế xi măng.

3.2. Ảnh hưởng của lượng silica fume bổ sung đến tính chất của vữa

3.2.1. Độ lưu động và thời gian đông kết

Silica fume (SF) là vật liệu siêu mịn chứa chủ yếu là SiO_2 vô định hình (Hình 1, phải), SF có thể phân bố ở khoảng trống giữa các hạt xi măng và tham gia phản ứng với các sản phẩm thủy hóa xi măng, thúc đẩy cường độ sớm và rút ngắn thời gian đông kết của hỗn hợp vữa. Tuy nhiên, do có diện tích bề mặt lớn, sử dụng SF trong vữa xi măng làm tăng lượng nước cần trộn để đạt cùng tính công tác [18]. Kết quả nghiên cứu về sự ảnh hưởng của tỷ lệ sử dụng SF đến độ lưu động của hỗn hợp vữa và thời gian bắt đầu đông kết của hỗn hợp vữa được thể hiện trên Hình 10, Hình 11 và Hình 12.

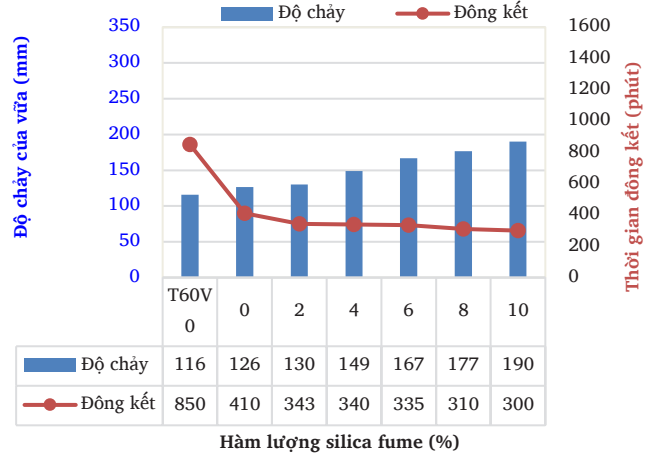
Cụ thể, với trường hợp thay thế 60 % tro bay, độ chảy của hỗn hợp vữa dao động từ 130 đến 190 mm, trong khi thời gian đông kết của hỗn hợp vữa từ 343 đến 300 phút ứng với lượng bổ sung từ 2 đến 10 % SF (Hình 10). Đối với vữa sử dụng 80 % tro bay thay thế xi măng, độ chảy và thời gian đông kết của hỗn hợp vữa ứng với 2, 4, 6, 8 và 10 % lần lượt là 268, 275, 282, 285, 292 mm và 395, 380, 365, 350, 330 phút (Hình 12). Từ những kết quả nghiên cứu trên cho thấy khi sử dụng thêm SF, các tính chất về thời gian đông kết và độ lưu động đều được cải thiện. Sự ảnh hưởng của hàm lượng SF bổ sung càng lớn khi hỗn hợp sử dụng SF càng nhiều. Tuy nhiên, khi sử dụng SF vượt quá 6 %, ảnh hưởng của SF đến độ chảy và thời gian đông kết không đáng kể (Hình 10-12). Vì thế, có thể xem sử dụng thêm 6 % SF là tỷ lệ hợp lý đối với các cấp phối bê tông hàm lượng tro bay cao.

3.2.2. Cường độ nén của vữa theo thời gian

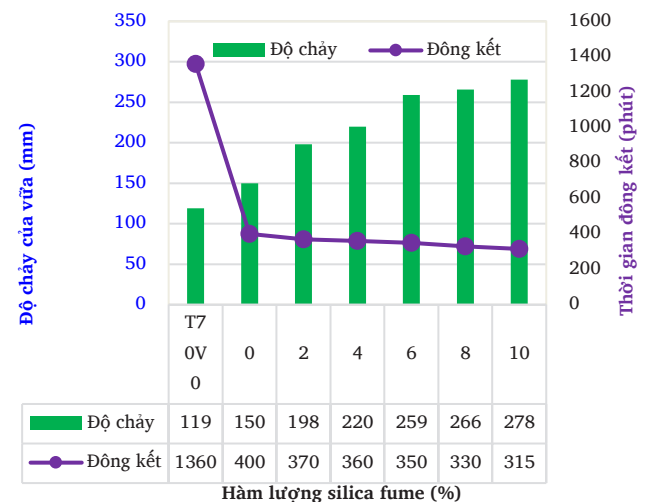
Cường độ nén ở tất cả các tỷ lệ bổ sung SF từ 2 đến 10% trong nghiên cứu đều cho kết quả cao hơn mẫu không sử dụng thêm SF ở tất cả các ngày tuổi khác nhau, như thể hiện ở Hình 13-15. Như đã giải thích ở phần trên, SF vừa đóng vai trò là phụ gia hoạt tính cao, tham gia phản ứng sớm với các sản phẩm thủy hóa xi măng và tiếp tục phản ứng puzolan ở tuổi muộn, vừa là chất độn siêu mịn lấp đầy

các khoảng trống giữa các hạt xi măng, làm tăng độ đặc chắc cho hỗn hợp; do đó vừa thúc đẩy cường độ sớm và tăng cường độ cho vữa [19,20]. Tiêu biểu như trường hợp cấp phối tro bay thay thế 60%, cường độ của mẫu không sử dụng SF lần lượt là 22,6; 29,8; 53,7; 66,7 và 72,5 MPa ở 3, 7, 28, 56 và 90 ngày. Khi tăng dần hàm lượng SF từ 2 đến 6%, cường độ nén của vữa tăng 9-24; 15-41; 8-16; 3-12 và 4-14% ứng với 3, 7, 28, 56 và 90 ngày. Tiếp theo đó, phần lớn các trường hợp bổ sung thêm lớn hơn 8%SF, cường độ nén ở tuổi sớm 3 và 7 ngày của vữa gần như thay đổi không đáng kể hoặc giảm có xu hướng giảm đi, trong khi đó cường độ nén ở tuổi muộn đặc biệt là sau 28 ngày tăng không đáng kể (Hình 13). Tương tự như vậy, xu hướng này cũng có thể quan sát được ở các cấp phối có tỷ lệ tro bay 70 % và 80 % như thể hiện trong Hình 14 và 15.

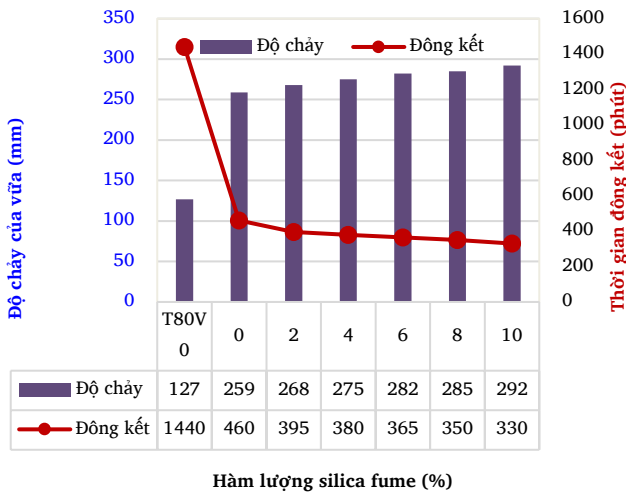
Ngoài ra, từ các kết quả trong Hình 13-15, có thể thấy rằng hàm lượng SF cần thiết để cường độ nén đạt giá trị cao nhất sớm tuổi là khoảng 6 % ở tất cả các tỷ lệ thay thế sử dụng tro bay.



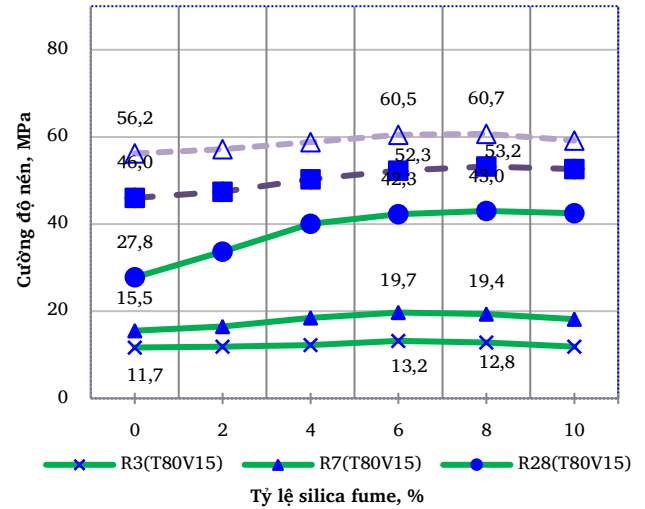
Hình 10. Ảnh hưởng của hàm lượng silica fume đến độ chảy và thời gian đông kết của hỗn hợp vữa khi thay thế 60 % tro bay.



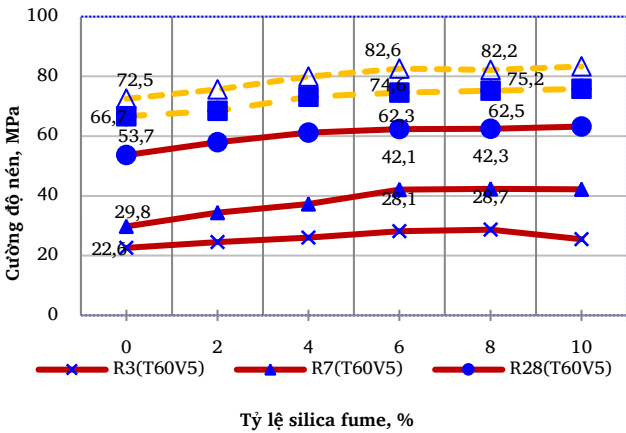
Hình 11. Ảnh hưởng của hàm lượng silica fume đến độ chảy và thời gian đông kết của hỗn hợp vữa khi thay thế 70 % tro bay.



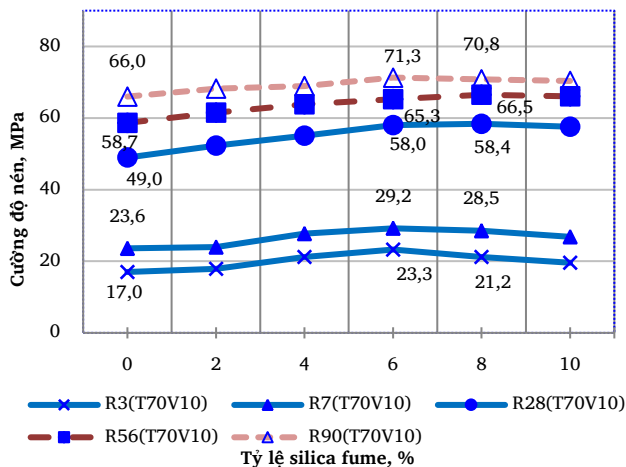
Hình 12. Ảnh hưởng của hàm lượng silica fume đến độ chảy và thời gian đông kết của hỗn hợp vữa khi thay thế 80 % tro bay.



Hình 15. Ảnh hưởng của SF đến cường độ nén ở cấp phối tro bay thay thế 80 %.



Hình 13. Ảnh hưởng của SF đến cường độ nén ở cấp phối tro bay thay thế 60 %.



Hình 14. Ảnh hưởng của SF đến cường độ nén ở cấp phối tro bay thay thế 70 %.

4. Kết luận

Từ những kết quả nghiên cứu trên cho thấy, khi sử dụng thêm vôi và silica fume với tỷ lệ hợp lý, các tính chất về thời gian đông kết, độ lưu động của hỗn hợp vữa và cường độ nén của vữa sử dụng hàm lượng tro bay cao đều được cải thiện.

Ảnh hưởng của hàm lượng vôi bổ sung càng lớn khi hỗn hợp sử dụng tro bay thay thế xi măng càng nhiều. Vì thế sử dụng thêm vôi là cần thiết đối với vữa hàm lượng tro bay cao. Có thể khẳng định rằng, với lượng vôi bổ sung tối ưu và thời gian đóng rắn thích hợp, các loại vữa có tro bay thay thế xi măng cao lên tới 80% cũng có thể phát triển cường độ nén ở tuổi sớm phù hợp để sử dụng cho mục đích kết cấu. Cường độ nén ở tất cả các tỷ lệ bổ sung vôi từ 5 đến 30% trong nghiên cứu đều cho kết quả cao hơn mẫu ban đầu không sử dụng thêm vôi ở tất cả các ngày tuổi khác nhau. Cường độ tuổi sớm (3; 7) ngày đạt giá trị cao nhất với hàm lượng vôi cần thiết lần lượt là 5%; 10%; 15% tương ứng cho cấp phối sử dụng tro bay là 60%; 70% và 80%. Tuy nhiên, ở những tuổi dài ngày hơn như (28; 56; 90) ngày, thì hàm lượng vôi bổ sung cần thiết là cao hơn, lần lượt là 10%; 15%; 20% tương ứng cho cấp phối sử dụng tro bay là 60%; 70% và 80%.

Ngoài ra, hàm lượng bổ sung silica fume hợp lý với tỷ lệ 6% trên tổng chất kết dính đối với các cấp phối tối ưu có dùng vôi hợp lý 5, 10 và 15% ở các tỷ lệ tro bay khác nhau 60; 70; 80 % góp phần tăng cường độ tuổi sớm và đóng rắn nhanh của vữa. Các kết quả sơ bộ của bài báo này cần tiếp tục nghiên cứu và phát triển nhằm góp phần quan trọng trong việc phát triển bền vững, giảm phát thải khí thải CO₂ bằng cách thay thế xi măng Poóc lăng bằng tro bay, đồng thời tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên và hạn chế ô nhiễm môi trường đối với tác động của tro xi nhiệt điện và ngành công nghiệp vữa/bê tông có sử dụng xi măng poóc lăng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Sở Khoa học và Công nghệ thành phố Hồ Chí Minh thông qua đề tài với Hợp đồng số 121/2020/HĐ-QPTKHCN.

Tài liệu tham khảo

- [1]. H. Vu Viet, C. Nguyen Tuan, D. Nguyen Huu, T. Ngo Nguyen Ngoc, và P. Huynh Trong, 'Experimental evaluation on engineering properties and microstructure of the high-performance fiber-reinforced mortar with low polypropylene fiber content', *Tạp Chí Khoa Học Giao Thông Vận Tải*, 72(7), 824-840, <https://doi.org/10.47869/tcsj.72.7.5>.
- [2]. ACI 211.4R-93,1996, 'Guide for Selecting Properties for High-Strength Concrete with Poóc lãng Cement and Fly Ash', *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 1, American Concrete Institute, Detroit, Michigan.
- [3]. ACI Committee 232, 'Use of Fly Ash in Concrete', *ACI 232.2R- 03*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1996, 41 pages.
- [4]. M. J. McCarthy and R. K. Dhir, 'Development of high volume fly ash cements for use in concrete construction', *Fuel*, vol. 84, no. 11, pp. 1423–1432, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2004.08.029>.
- [5]. P. Mehta, 'High-performance, high-volume fly ash concrete for sustainable development', *Proceedings of the International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*, Jan. 2004.
- [6]. Vũ Hải Nam, Nguyễn Như Quý, 'Nghiên cứu nhiệt độ đoạn nhiệt của bê tông khối lớn hàm lượng tro tuyền Phả Lại cao', *Tạp chí xây dựng*, số 02-2011, tr 67-69.
- [7]. Liên danh Công ty tư vấn xây dựng điện 1 và Viện thiết kế thủy công Liên bang Nga, 'Báo cáo kết quả thí nghiệm vật liệu xây dựng – Thành phần cấp phối bê tông cho Công trình thủy điện Sơn La', *Tài liệu thiết kế kỹ thuật giai đoạn 2*, Hà Nội, 2006.
- [8]. Nguyễn Quang Hiệp, 'Nghiên cứu chế tạo bê tông đầm lăn cho đập và mặt đường trong điều kiện Việt Nam', *Luận án tiến sỹ kỹ thuật*, Hà Nội, 2005.
- [9]. TS. Lê Quang Hùng và cộng sự, 'Nghiên cứu ứng dụng công nghệ bê tông đầm lăn cho thi công đường và đập trọng lực', *Báo cáo tổng kết đề tài cấp bộ*, Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, Hà Nội, 2006.
- [10]. TS. Nguyễn Thanh Tùng và cộng sự, 'Nghiên cứu sử dụng tro bay nhiệt điện Phả Lại từ công nghệ tuyền nổi của Công ty Cổ phần Cao Cường – Sóng Đà 12 để chế tạo bê tông chất lượng cao, bê tông tự đầm và bê tông bền trong môi trường xâm thực', *Báo cáo tổng kết đề tài*, Viện Vật liệu xây dựng, Hà Nội, 2010.
- [11]. Nguyễn Văn Vinh, 'Ảnh hưởng của tỷ lệ tro bay đến sự phát triển của cường độ vữa xi măng', *Luận án thạc sĩ kỹ thuật công trình xây dựng*, Đà Nẵng, 2018.
- [12]. ThS. Nguyễn Lê Thị, 'Ảnh hưởng hàm lượng tro bay thay thế xi măng và quy trình dưỡng hộ nhiệt ẩm đến mức độ phản ứng', *Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng*, số 3/2018.
- [13]. F. Deschner et al., 'Hydration of Poóc lãng cement with high replacement by siliceous fly ash', *Cement and Concrete Research*, vol. 42, no. 10, pp. 1389–1400, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.06.009>.
- [14]. D. P. Bentz and C. F. Ferraris, 'Rheology and setting of high volume fly ash mixtures', *Cement and Concrete Composites*, vol. 32, no. 4, pp. 265–270, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.01.008>.
- [15]. I. Wilińska, B. Pacewska, and A. Ostrowski, 'Investigation of different ways of activation of fly ash–cement mixtures', *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 138, no. 6, pp. 4203–4213, Dec. 2019, doi: 10.1007/s10973-019-08485-1.
- [16]. S. K. Antiohos, A. Papageorgiou, V. G. Papadakis, and S. Tsimas, 'Influence of quicklime addition on the mechanical properties and hydration degree of blended cements containing different fly ashes', *Construction and Building Materials*, vol. 22, no. 6, pp. 1191–1200, 2008, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.02.001>.
- [17]. C. Li, H. Geng, S. Zhou, M. Dai, B. Sun, and F. Li, 'Experimental Study on Preparation and Performance of Concrete With Large Content of Fly Ash', *Frontiers in Materials*, vol. 8, 2022, doi: 10.3389/fmats.2021.764820.
- [18]. L. Senff, D. Hotza, W. L. Repette, V. M. Ferreira, and J. A. Labrincha, 'Influence of added nanosilica and/or silica fume on fresh and hardened properties of mortars and cement pastes', *Advances in Applied Ceramics*, vol. 108, no. 7, pp. 418–428, 2009, doi: 10.1179/174367609X422108.
- [19]. K. Yang-Hee, S.-H. Kang, H. Sung-Gul, and J. Moon, 'Acceleration of Intended Pozzolanic Reaction under Initial Thermal Treatment for Developing Cementless Fly Ash Based Mortar', *Materials*, vol. 10, no. 3, p. 225, 2017, doi : <https://doi.org/10.3390/ma10030225>
- [20]. H. Ş. Arel and F. U. A. Shaikh, 'Effects of fly ash fineness, nano silica, and curing types on mechanical and durability properties of fly ash mortars', *Structural Concrete*, vol. 19, no. 2, pp. 597–607, Apr. 2018, doi: 10.1002/suco.201700007.