

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VỮA CƯỜNG ĐỘ CAO SIÊU RẮN NHANH TRÊN CƠ SỞ CHẤT KẾT DÍNH HỖN HỢP XI MĂNG VÀ CALCIUM ALUMINATE

Nguyễn Công Thắng^a, Nguyễn Văn Tuấn^{a,*}, Bùi Thế Anh^b

^aKhoa Vật liệu xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

^bKhoa Xây dựng Công trình biển, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 23/9/2021, Sửa xong 26/10/2021, Chấp nhận đăng 28/10/2021

Tóm tắt

Mục tiêu nghiên cứu này là đánh giá ảnh hưởng của phụ gia rắn nhanh aluminat canxi vô định hình (ACA) đến một số tính chất của chất kết dính và vữa cường độ cao. Các kết quả nghiên cứu cho thấy ACA đóng vai trò là một loại phụ gia giúp thúc đẩy quá trình đông kết và đông rắn của chất kết dính và vữa cường độ cao. Việc sử dụng ACA có ý nghĩa rất lớn trong việc phát triển cường độ ở thời gian rất sớm, chẳng hạn sau 4h đạt lớn hơn 20 MPa, đồng thời vẫn duy trì sự phát triển cường độ ở tuổi dài ngày. Đặc biệt, khi sử dụng xi với hàm lượng 30% theo khối lượng chất kết dính, không ảnh hưởng đến thời gian đông kết cũng như sự phát triển cường độ của vữa ở tuổi sớm khi kết hợp với ACA so với mẫu không sử dụng xi lò cao hạt hóa nghiền mịn.

Từ khóa: vữa cường độ cao; vữa siêu rắn nhanh; aluminat canxi vô định hình; axit tartaric; phụ gia khoáng; thời gian đông kết.

STUDY ON PRODUCING HIGH STRENGTH ULTRA-RAPID-HARDENING MORTAR BASE ON BINDER AND CALCIUM ALUMINATE

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of amorphous calcium aluminate (ACA) on some properties of binder and high strength mortars. The experimental results show that ACA acts as an additive to promote both setting time and hardening of binders blended with ground granulated blast furnace slag (GBFS) and high strength mortar using those binders. The addition of ACA gives a great significance in developing strength at a very early time, e.g., over 20 MPa after 4 hours, while maintaining strength development at a long-term age. In particular, the setting time and the strength development of the mortar using binder containing 30% GBFS were not influenced at an early age when incorporating ACA compared with the reference sample without GBFS.

Keywords: high strength mortar; ultra rapid hardening mortar; amorphous calcium aluminate; mineral admixture; setting time.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2021-15\(6V\)-07](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2021-15(6V)-07) © 2021 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

1. Giới thiệu

Vữa cường độ cao là loại vật liệu không những có cường độ cao mà còn được đặc trưng bởi sự vượt trội so với vữa thông dụng về các tính năng khác như độ lưu động cao hơn, mô đun đàn hồi lớn hơn, cường độ chịu uốn cao hơn, độ thấm nước thấp hơn, khả năng chịu mài mòn lớn hơn, và độ bền

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: tuannv@nuce.edu.vn (Tuấn, N. V.)

cao hơn. Theo ASTM C387 thì vữa cường độ cao là vữa có cường độ nén ở tuổi 7 ngày lớn hơn 20 MPa và ở tuổi 28 ngày lớn hơn 35 MPa [1]. Có thể chế tạo vữa cường độ cao trên cơ sở các nguyên vật liệu dùng để chế tạo vữa thông dụng, tức là từ xi măng poóc lăng, cát, phụ gia và nước. Ngoài các nguồn vật liệu truyền thống như xi măng, cát, nước, ... vật liệu để chế tạo vữa cường độ cao đòi hỏi phải có chất lượng tốt và ổn định, đôi khi cần có những tính chất khá đặc biệt. Yêu cầu của vật liệu còn phụ thuộc vào công nghệ chế tạo loại vật liệu này. Bên cạnh đó, một công nghệ được coi là phù hợp với xu hướng phát triển công nghệ bê tông trên thế giới cũng như ở Việt Nam đó là sử dụng kết hợp phụ gia siêu dẻo với phụ gia khoáng hoạt tính siêu mịn trong chế tạo bê tông cường độ cao độ chảy cao.

Trong lĩnh vực xây dựng, việc nâng cao cường độ cũng như sự phát triển cường độ của vữa và bê tông ở tuổi sớm có ý nghĩa rất lớn trong việc giải phóng ván khuôn và đẩy nhanh tiến độ thi công chẳng hạn như trong chế tạo các cấu kiện đúc sẵn đặc biệt trong công tác sửa chữa, thi công trong những trường hợp đặc biệt [2, 3]. Hiện nay có nhiều cách khác nhau để nâng cao cường độ của vữa ở tuổi sớm, tuy nhiên có ba hướng đang được áp dụng, cụ thể: (1) sử dụng xi măng đặc biệt, loại xi măng có độ mịn cao, sử dụng thêm các hợp chất để điều chỉnh thành phần khoáng của xi măng giúp thúc đẩy quá trình đông kết và rắn chắc của đá xi măng. Tuy nhiên, do sản lượng chưa cao đồng thời giá thành cao do vậy giải pháp này vẫn bị hạn chế trong quá trình sử dụng. (2) có thể tác động vào quá trình thi công và bảo dưỡng thi công, chẳng hạn như làm nóng hỗn hợp bê tông trong quá trình trộn hoặc bảo dưỡng nhiệt ẩm bê tông sau 4-6h sau khi đổ bê tông. Tuy nhiên, phương pháp này có thể áp dụng trong nhà máy với việc sản xuất các cấu kiện đúc sẵn, việc áp dụng trong thực tế sản xuất công nghiệp sẽ gặp nhiều khó khăn và nâng cao chi phí sản xuất. (3) sử dụng các loại phụ gia giảm nước kết hợp với các loại phụ gia thúc đẩy quá trình thủy hóa của xi măng, đẩy nhanh quá trình rắn chắc ở tuổi sớm. Thực tế đã chứng minh rằng phương pháp này là phương pháp dễ nhất và ít tốn kém nhất, vì vậy nó đã được áp dụng rộng rãi trong thực tế hiện nay [4].

Hiện nay, phụ gia hóa học đã ảnh hưởng rất lớn đến lĩnh vực bê tông xi măng nói riêng và trong ngành xây dựng nói chung. Các nhà nghiên cứu trước đây đã nghiên cứu các đặc tính của bê tông bằng cách sử dụng các phụ gia thúc đẩy quá trình thủy hóa của xi măng khác nhau. Cho đến nay phụ gia rắn nhanh hiệu quả nhất là Canxi clorua (CaCl_2), nhưng loại này sẽ làm tăng sự ăn mòn cốt thép trong bê tông [5, 6]. Do đó, các nhà khoa học đã nghiên cứu sử dụng phụ gia không clorua để đẩy nhanh tốc độ đông kết và thúc đẩy phát triển cường độ bao gồm thiosunfat, nitrat nitrit, Natri thiocyanate (NaSCN), Canxi Nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), Canxi aluminat và các loại phụ gia khác [7-9]. Cơ chế của phụ gia rắn nhanh không clorua là nó làm tăng tốc độ thủy hóa của các khoáng tricalcium silicate (C_3S) và tricalcium aluminat (C_3A) trong xi măng, kết quả là làm tăng nhiệt thủy hóa đồng thời thúc đẩy cường độ của đá xi măng ở tuổi sớm [10]. Phụ gia này hoạt động như một chất xúc tác để thúc đẩy quá trình thủy hóa cho khoáng tricalcium silicate (C_3S) và tricalcium aluminat (C_3A) [3].

Xi măng poóc lăng thông thường là thành phần chính trong bê tông, đóng một vai trò quan trọng trong quá trình hình thành và phát triển cường độ của bê tông. Hiện nay, xi măng đã trở thành một trong những vật liệu phát thải CO_2 nhiều nhất trong bê tông, chính vì vậy các nhà khoa học đã phải nghiên cứu thay thế một phần xi măng bằng các phụ gia khoáng để giảm lượng dùng xi măng đồng thời vẫn đảm bảo các đặc tính cơ học và độ bền của bê tông cũng như giải quyết các vấn đề liên quan đến phát thải CO_2 trong xây dựng. Việc sử dụng phụ gia khoáng (PGK), là sản phẩm phụ thu được trong quá trình sản xuất công - nông nghiệp để thay thế clanke trong xi măng hoặc thay thế một phần xi măng trong chế tạo vữa, bê tông sẽ góp phần làm giảm phát thải CO_2 đồng thời vẫn tận dụng được phế thải của ngành công nghiệp khác [11-13]. Vữa và bê tông khi sử dụng PGK sẽ cải thiện tính công tác, tăng khả năng chống thấm, tăng độ bền sun phát. Ngoài ra, khi sử dụng PGK trong bê tông sẽ

làm giảm nhiệt độ thủy hóa của xi măng, giảm nguy cơ nứt kết cấu do ứng suất nhiệt gây ra [7]. Tuy nhiên, khi sử dụng PGK sẽ làm sự phát triển cường độ của đá xi măng ở tuổi sớm thấp, đặc biệt khi nhiệt độ thấp. Điều này sẽ hạn chế việc sử dụng PGK thay thế xi măng trong chế tạo vữa và bê tông. Một số nghiên cứu cho thấy, cường độ nén của đá xi măng sử dụng PGK có thể được thúc đẩy ở tuổi sớm bằng cách sử dụng thêm phụ gia hóa học. Jueshe [14] đã cho thấy, có thể sử dụng 3% Natri sunfat (Na_2SO_4) theo khối lượng chất kết dính sẽ làm tăng nhanh cường độ của đá xi măng ở tuổi 3. Một số nghiên cứu cho thấy, việc sử dụng Na_2SO_4 hoặc K_2SO_4 với hàm lượng 1-4% theo khối lượng chất kết dính cường độ nén của đá xi măng ở tuổi sớm có thể tăng từ 70-100% khi thay thế 40%FA. Ngoài ra có thể sử dụng Natri thiocyanate (NaSCN) để thúc đẩy quá trình thủy hóa và tăng khả năng rắn chắc của đá xi măng, đặc biệt là ở tuổi sớm [8, 9, 14].

Trong bài báo này sẽ nghiên cứu ảnh hưởng của aluminat canxi vô định hình (amorphous calcium aluminate - ACA) và axit tartaric (kí hiệu TA) đến thời gian đông kết cũng như tốc độ phát triển cường độ của chất kết dính và vữa, trong đó chất kết dính sử dụng kết hợp phụ gia khoáng là GBFS với hàm lượng 0% và 30% theo khối lượng chất kết dính.

2. Nguyên vật liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên vật liệu sử dụng

Trong nghiên cứu này, xi măng (XM) sử dụng là xi măng poóc lăng, các tính chất cơ lý của xi măng đạt yêu cầu theo TCVN 2682:2009 [15]. Xi lò cao hạt hóa nghiền mịn (GBFS) của Hòa Phát, các tính chất của xỉ thỏa mãn loại S75 theo TCVN 11586:2016 [16]. Phụ gia rắn nhanh (Amorphous Calcium

Bảng 1. Tính chất cơ lý và thành phần hóa của chất kết dính

Tính chất cơ lý	Đơn vị	XM	GBFS	ACA
Khối lượng riêng	g/cm^3	3,15	2,92	2,95
Tỷ diện Blaine	cm^2/g	3820	3760	5200
Độ ổn định thể tích	mm	0,25		
Giới hạn bền nén sau 3 ngày	MPa	33,5		
Giới hạn bền nén sau 28 ngày	MPa	54,6		
Chỉ số hoạt tính với xi măng ở 28 ngày	%		91,4	
Đường kính hạt trung bình	μm	17,3	7,2	5,0
Thành phần hóa				
SiO_2	%	20,3	33,28	4,2
Fe_2O_3	%	5,05	0,73	1,6
Al_2O_3	%	3,51	12,2	48,3
CaO	%	62,81	41,94	43,8
MgO	%	3,02	7,21	0,8
Na_2O	%	-		
K_2O	%	-		
SO_3	%	2,00		
TiO_2	%	-		0,5
MKN	%	1,83	1,05	0,3

Aluminate-ACA) là một dạng aluminat canxi vô định hình, có thành phần gần với $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_{12}A_7). ACA sử dụng trong nghiên cứu với dạng bột, vai trò là một loại phụ gia giúp rút ngắn thời gian đông kết và giúp thúc đẩy khả năng rắn chắc và phát triển cường độ của đá xi măng ở tuổi rất sớm. Tuy nhiên, việc sử dụng ACA sẽ làm tốc độ đông kết của CKD xảy ra rất nhanh, do vậy để điều chỉnh tốc độ đông kết này đề tài đã sử dụng axit tartaric (TA), đây là phụ gia ở dạng bột với kích thước hạt nhỏ hơn 100 μm và có độ tinh khiết lớn hơn 98%. Phụ gia siêu dẻo (SD) sử dụng trong nghiên cứu là Roadcon-SR 5000F, phụ gia siêu dẻo phù hợp theo tiêu chuẩn ASTM C494 loại F và G. Các tính chất của ACA, TA và SD sử dụng trong nghiên cứu được lấy theo cung cấp của nhà sản xuất.

Tính chất cơ lý và thành phần hóa của xi măng (XM) và xỉ lò cao hạt hóa nghiền mịn và phụ gia rắn nhanh (ACA) được thể hiện ở Bảng 1.

Cốt liệu mịn trong đề tài sử dụng là cát vàng Sông Lô, các tính chất cơ lý được thể hiện trong Bảng 2. Mẫu cát thí nghiệm đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 7570:2006 [17].

Bảng 2. Các tính chất cơ lý của cốt liệu mịn

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả	Yêu cầu	Phương pháp thử
1	Khối lượng riêng	g/cm^3	2,65		TCVN 7572-4:06 [18]
2	Khối lượng thể tích xốp	kg/m^3	1460	> 1300	TCVN 7572-6:06 [19]
3	Độ rỗng	%	44,9		TCVN 7572-6:06 [19]
4	Mô đun độ lớn	-	2,63	> 2	TCVN 7572-2:06 [20]
5	Hàm lượng bụi bùn, sét	%	0,1	< 3	TCVN 7572-8:06 [21]
6	Độ ẩm bão hoà bề mặt khô	%	0,9		TCVN 7572-4:06 [18]
7	Hàm lượng tạp chất hữu cơ	-	Nhạt hơn màu chuẩn	Nhạt hơn màu chuẩn	TCVN 7572-9:06 [22]
8	Cấp phối cỡ hạt				
	KT lỗ sàng, mm	A_i , %	Yêu cầu theo TCVN 7570:2006 [17]		
	5	0,0	< 10		
	2,5	11,5	0-20		
	1,25	21,8	15-45		
	0,63	49,2	35-70		
	0,315	82,5	65-90		
	0,14	97,8	90-100		
	< 0,14	2,24	≤ 10		

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong nội dung này khi nghiên cứu ảnh hưởng của GBFS, ACA và TA đến lượng nước tiêu chuẩn và thời gian đông kết của CKD được thực hiện trên cơ sở TCVN 6017:2015 [23]. Với các mẫu sử dụng ACA và TA thì lượng nước tiêu chuẩn được lấy bằng lượng nước tiêu chuẩn của mẫu đối chứng khi không sử dụng ACA và TA tương ứng. Tỷ lệ thành phần vật liệu được thể hiện ở Bảng 3 và Bảng 4.

Độ chảy của vữa được xác định theo tiêu chuẩn ASTM C1437 [24], trong đó hỗn hợp vữa một lần đầy khuôn thử độ chảy; Trong quá trình đổ không lèn chặt hỗn hợp vữa trong khuôn, không có tác động nào vào khuôn. Không tiến hành dằn bàn nháy; Sau khi nhấc khuôn, đợi khoảng thời gian 2 phút tiến hành xác định độ chảy của vữa. Trong nghiên cứu này, độ chảy của hỗn hợp vữa được xác

định tại các thời điểm: sau khi trộn xong (0 phút), sau khi trộn 15 phút và sau khi trộn 30 phút. Tỷ lệ thành phần cấp phối vữa sử dụng trong nghiên cứu được thể hiện ở Bảng 5.

Cường độ nén của vữa được xác định theo TCVN 3121-11:2003 [25]. Hỗn hợp vữa được rót vào khuôn hình lăng trụ với kích 40×40×160 mm và không tiến hành bất kỳ quá trình lèn chặt nào, mẫu sau đó được dưỡng hộ tiêu chuẩn. Cường độ vữa được xác định ở thời gian 4h, 1 ngày, 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày.

3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

3.1. Một số tính chất của CKD

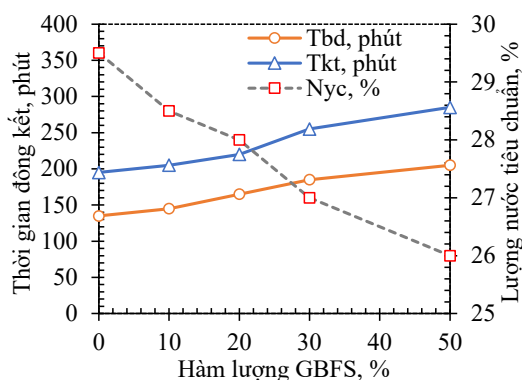
a. Ảnh hưởng của GBFS đến thời gian đông kết của CKD

Trong nội dung này khi nghiên cứu ảnh hưởng của phụ gia khoáng (PGK) đến lượng nước tiêu chuẩn và thời gian đông kết của chất kết dính, đề tài đánh giá trên các tỷ lệ thành phần vật liệu theo Bảng 3. Phụ gia khoáng sử dụng là GBFS, trong đó GBFS sử dụng với hàm lượng từ 0-50%.

Bảng 3. Tỷ lệ thành phần CKD

TT	XM, %	GBFS, %	N_{yc} , %	T_{BD} , phút	T_{KT} , phút
1	100	0	29,5	135	195
2	90	10	28,5	145	205
3	80	20	28	165	220
4	70	30	27	185	255
5	50	50	26	205	285

Kết quả thí nghiệm về ảnh hưởng của hàm lượng GBFS đến lượng nước tiêu chuẩn và thời gian đông kết của CKD thể hiện ở Hình 1. Kết quả thí nghiệm cho thấy, khi hàm lượng GBFS tăng, lượng nước tiêu chuẩn của hồ xi măng giảm, đồng thời thời gian bắt đầu và kết thúc đông kết của đá xi măng tăng so với mẫu đối chứng. Khi hàm lượng GBFS sử dụng đến 50% (so với CKD) thì thời gian đông kết của xi măng thay đổi rất lớn so với mẫu đối chứng, thời gian đông kết tăng 70 phút và 90 phút tương ứng với thời gian bắt đầu và kết thúc đông kết. Việc sử dụng GBFS sẽ làm tăng thời gian đông kết của GBFS có thể giải thích là do GBFS mặc dù có tính chất thủy lực như xi măng, nhưng ở điều kiện thường sẽ không phản ứng với nước, tuy nhiên trong môi trường thủy hóa của xi măng, GBFS sẽ xảy ra phản ứng thủy lực và với các sản phẩm thủy hóa của xi măng nhưng với tốc độ chậm hơn so với xi măng và điều này sẽ làm tăng thời gian đông kết của CKD.



Hình 1. Ảnh hưởng của GBFS đến thời gian đông kết của CKD

b. Ảnh hưởng của ACA và TA đến thời gian đông kết của chất kết dính

Đề tài tiến hành nghiên cứu ảnh hưởng của phụ gia rắn nhanh (ACA), phụ gia điều chỉnh quá trình rắn chắc (TA) đến thời gian đông kết của chất kết dính. Trong đó, phụ gia ACA sử dụng với hàm

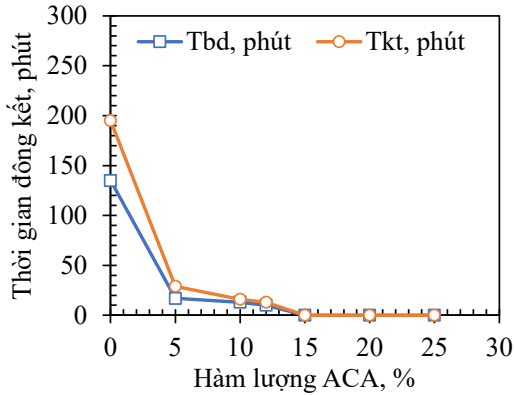
lượng từ 0-25% theo khối lượng CKD trên mẫu không sử dụng PGK và mẫu sử dụng 30%PGK. Bên cạnh đó, để điều chỉnh thời gian đông kết của CKD phụ gia TA được sử dụng với hàm lượng TA = 0 – 1,5% theo khối lượng ACA, nghiên cứu được thực hiện trên mẫu không sử dụng PGK và sử dụng ACA với hàm lượng là 20%; và trên mẫu sử dụng 30%GBFS và ACA với hàm lượng 20%. Tỷ lệ thành phần vật liệu được thể hiện trên Bảng 4.

Bảng 4. Tỷ lệ thành phần CKD sử dụng ACA và TA

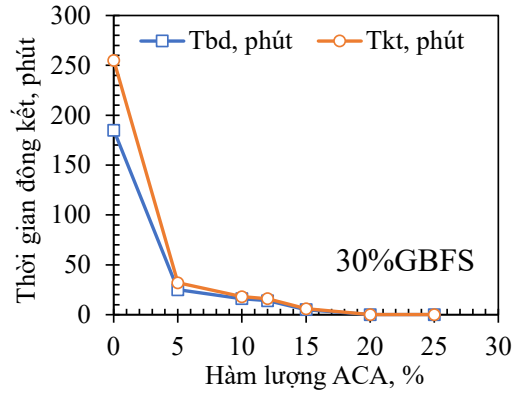
TT	XM, %	GBFS, %	ACA, %	TA, %
1	100		0	
2	95		5	
3	90		10	
4	88		12	
5	85		15	
6	80		20	
7	75		25	
8	70	30	0	
9	65	30	5	
10	60	30	10	
11	58	30	12	
12	55	30	15	
13	50	30	20	
14	45	30	25	
15	80		20	0,50
16	80		20	0,75
17	80		20	1,00
18	80		20	1,50
19	50	30	20	0,50
20	50	30	20	0,75
21	50	30	20	1,00
22	50	30	20	1,50

Trong nghiên cứu này sẽ đánh giá ảnh hưởng của phụ gia rắn nhanh (ACA) đến thời gian đông kết của CKD. CKD được sử dụng trong nghiên cứu gồm mẫu đối chứng không sử dụng PGK và mẫu sử dụng 30%GBFS. Kết quả thời gian đông kết của CKD được thể hiện ở Hình 2 và Hình 3. Đối với mẫu sử dụng 0%PGK và mẫu sử dụng 30%GBFS thì thời gian đông kết của CKD xảy ra rất nhanh. Khi hàm lượng ACA sử dụng 12% thời gian đông kết của CKD tương ứng từ 10-15 phút với mẫu sử dụng 0%PGK và 30%GBFS. Đặc biệt khi ACA sử dụng trên 15% thì quá trình đông kết xảy ra ngay trong quá trình trộn.

Tuy vậy, để đảm bảo quá trình thi công khi sử dụng ACA đồng thời vẫn đảm bảo cường độ của đá xi măng, đề tài sử dụng thêm phụ gia điều chỉnh (giảm) thời gian đông kết của CKD bằng axit Tataric (TA). Trong nghiên cứu này sẽ đánh giá ảnh hưởng của phụ gia TA với hàm lượng khác nhau đến thời gian đông kết của CKD với mẫu sử dụng 20%ACA và 0%PGK và mẫu sử dụng 30%GBFS. Kết quả thực nghiệm được thể hiện ở Hình 4 và Hình 5. Kết quả nghiên cứu cho thấy, với mẫu sử dụng 20%ACA và 0%TA mẫu sẽ đóng rắn ngay khi nhào trộn với nước, tuy nhiên, khi sử dụng thêm phụ

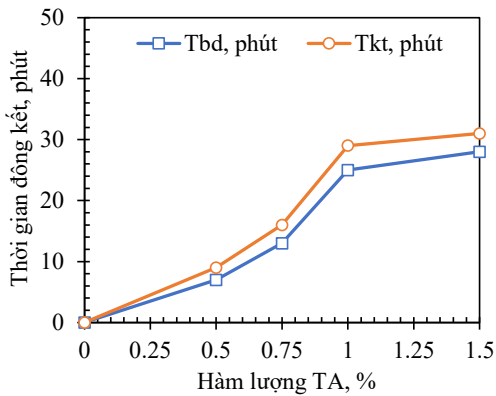


Hình 2. Ảnh hưởng của ACA đến thời gian đông kết của CKD (0%PGK)

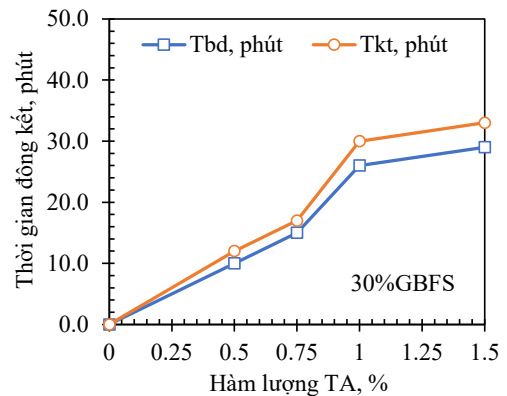


Hình 3. Ảnh hưởng của ACA đến thời gian đông kết của CKD (30%GBFS)

gia điều chỉnh thời gian đông kết TA thì thời gian đông kết của CKD được cải thiện. Khi hàm lượng TA tăng trong khoảng nghiên cứu (0-1,5%ACA) thì thời gian đông kết của CKD tăng. Khi tăng hàm lượng TA từ 0,5-1,0% thì thời gian đông kết tăng nhanh. Tuy nhiên, khi hàm lượng TA lớn hơn 1,0% thì thời gian đông kết không có sự thay đổi nhiều so với mẫu sử dụng 1,0%TA. Các kết quả này đúng với cả mẫu không sử dụng PGK và mẫu sử dụng 30%GBFS. Như vậy, hàm lượng phụ gia TA lựa chọn trong các nghiên cứu tiếp theo sẽ lấy bằng 1% so với phụ gia ACA.



Hình 4. Ảnh hưởng của TA đến thời gian đông kết của CKD (0%PGK)



Hình 5. Ảnh hưởng của TA đến thời gian đông kết của CKD (30%GBFS)

3.2. Một số tính chất của vữa cường độ cao rắn nhanh

Trong nội dung này sẽ đánh giá ảnh hưởng của GBFS đến độ chảy và cường độ nén của vữa. Trong đó, lượng nước sử dụng với 02 tỷ lệ là $N/CKD = 0,25$ và $0,30$. Đối với vữa cường độ cao, tỷ lệ C/CKD nên lựa chọn trong khoảng 1-1,5, trong nghiên cứu này tỷ lệ C/CKD lựa chọn là 1,35. Phụ gia khoáng sử dụng là GBFS với tỷ lệ là 30%. Trên cơ sở kết quả đánh giá ảnh hưởng của ACA và TA đến tính chất của CKD, khi nghiên cứu các tính chất của vữa, hàm lượng ACA sử dụng từ 0-25% theo khối lượng CKD, hàm lượng TA sử dụng 1% so với hàm lượng ACA. Hàm lượng SD được lấy sao cho độ chảy của hỗn hợp vữa khi không sử dụng ACA và TA đạt trên 200 mm, hàm lượng SD được

tính theo % khối lượng CKD. Tỷ lệ thành phần cấp phối vữa sử dụng trong nghiên cứu được thể hiện ở Bảng 5.

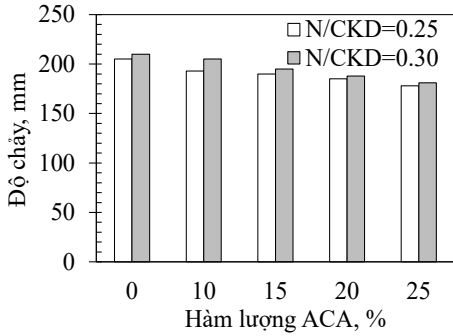
Bảng 5. Tỷ lệ thành phần cấp phối vữa

Cấp phối	Tỷ lệ thành phần VL					SD, %
	C/CKD	N/CKD	CKD			
			XM, %	GBFS, %	ACA, %	
1	1,35	0,25	100		0	1,20
2	1,35	0,25	90		10	1,20
3	1,35	0,25	85		15	1,20
4	1,35	0,25	80		20	1,20
5	1,35	0,25	75		25	1,20
6	1,35	0,30	100		0	1,10
7	1,35	0,30	90		10	1,10
8	1,35	0,30	85		15	1,10
9	1,35	0,30	80		20	1,10
10	1,35	0,30	75		25	1,10
11	1,35	0,25	70	30	0	1,10
12	1,35	0,25	60	30	10	1,10
13	1,35	0,25	55	30	15	1,10
14	1,35	0,25	50	30	20	1,10
15	1,35	0,25	45	30	25	1,10
16	1,35	0,30	70	30	0	1,00
17	1,35	0,30	60	30	10	1,00
18	1,35	0,30	55	30	15	1,00
19	1,35	0,30	50	30	20	1,00
20	1,35	0,30	45	30	25	1,00

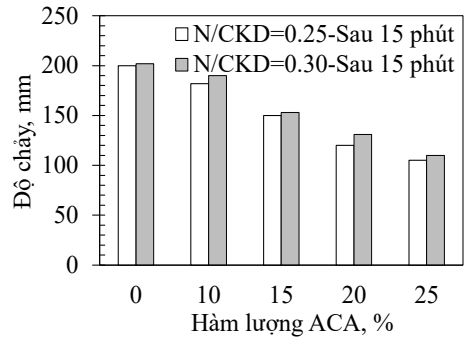
a. Ảnh hưởng của ACA đến độ chảy của vữa

Tính công tác của hỗn hợp vữa được xác định thông qua chỉ tiêu độ chảy (D) của vữa bằng công nhỏ. Độ chảy của hỗn hợp vữa và khả năng duy trì độ chảy của vữa được xác định tại 3 thời điểm: (1) thời điểm ngay sau khi kết thúc quá trình trộn; (2) thời điểm 15 phút sau khi trộn và (3) thời điểm 30 phút sau khi trộn. Việc xác định khả năng duy trì độ chảy của vữa là cần thiết, đây là cơ sở để lựa chọn khoảng thời gian hợp lý trong quá trình thi công hỗn hợp vữa và bê tông. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của phụ gia ACA đến độ chảy và khả năng duy trì độ chảy của vữa được thể hiện ở Hình 6–8.

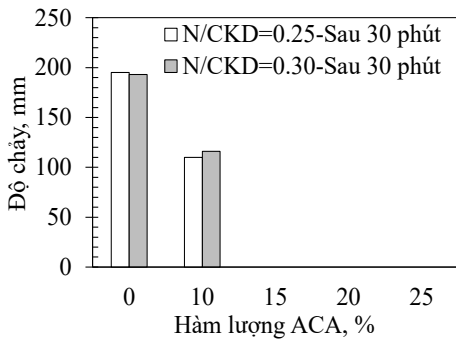
Khả năng duy trì độ chảy của hỗn hợp vữa được thể hiện ở Hình 7 và Hình 8. Kết quả thí nghiệm cho thấy sau 15 phút các mẫu sử dụng 15%ACA vẫn duy trì độ chảy trên 150 mm. Với mẫu sử dụng 20%ACA hỗn hợp vữa vẫn còn dẻo, đạt độ chảy lớn hơn 120 mm với cả hai tỷ lệ N/CKD = 0,25 và 0,30. Với mẫu sử dụng đến 25%ACA, hỗn hợp vữa vẫn còn dẻo, độ chảy giảm rất lớn còn trên 100 mm. Tuy nhiên, ở thời gian sau 30 phút tính từ thời điểm trộn hỗn hợp vữa, độ chảy của mẫu không sử dụng phụ gia ACA (0%ACA) không có sự suy giảm đáng kể so với thời điểm sau khi trộn hỗn hợp. Với mẫu sử dụng 10%ACA hỗn hợp vữa còn dẻo tuy nhiên độ chảy của vữa giảm rất lớn, còn trên 100 mm. Tuy nhiên, khi hàm lượng ACA sử dụng lớn hơn 15% thì sau 30 phút hỗn hợp vữa hoàn toàn mất tính dẻo.



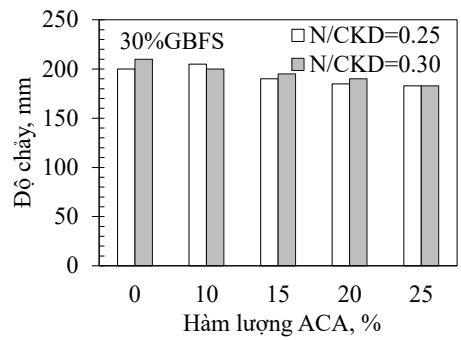
Hình 6. Ảnh hưởng của ACA đến độ chảy của hỗn hợp vữa



Hình 7. Độ chảy của hỗn hợp vữa sau 15 phút

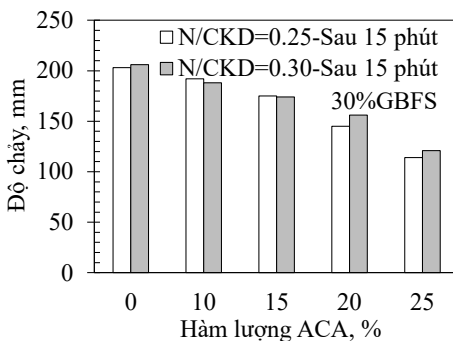


Hình 8. Độ chảy của hỗn hợp vữa sau 30 phút

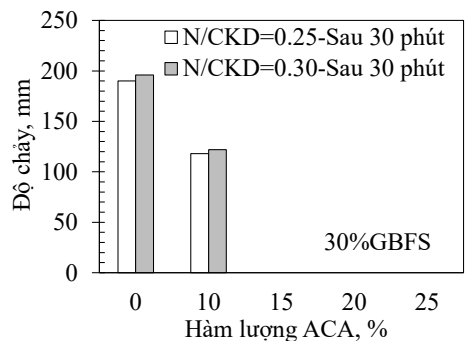


Hình 9. Ảnh hưởng của hàm lượng ACA đến độ chảy của hỗn hợp vữa (GBFS = 30%)

Độ chảy của hỗn hợp vữa sử dụng 30%GBFS với hàm lượng ACA khác nhau được thể hiện ở Hình 9. Khi hàm lượng ACA tăng từ 0-25% độ chảy của vữa giảm, tuy nhiên mức độ giảm không nhiều. Độ chảy của hỗn hợp vữa sau 15 phút có sự suy giảm đáng kể, khi hàm lượng ACA sử dụng đến 15% độ chảy đạt trên 170 mm. Tuy nhiên, khi hàm lượng ACA tăng đến 25% độ chảy hỗn hợp vữa đạt trên 110 mm. Sau 30 phút hỗn hợp sử dụng 0%ACA không có sự suy giảm đáng kể độ chảy, hàm lượng ACA ở 10% độ chảy đạt trên 115 mm. Tuy nhiên, khi hàm lượng ACA trên 15%, sau 30 phút hỗn hợp vữa hoàn toàn mất tính dẻo.



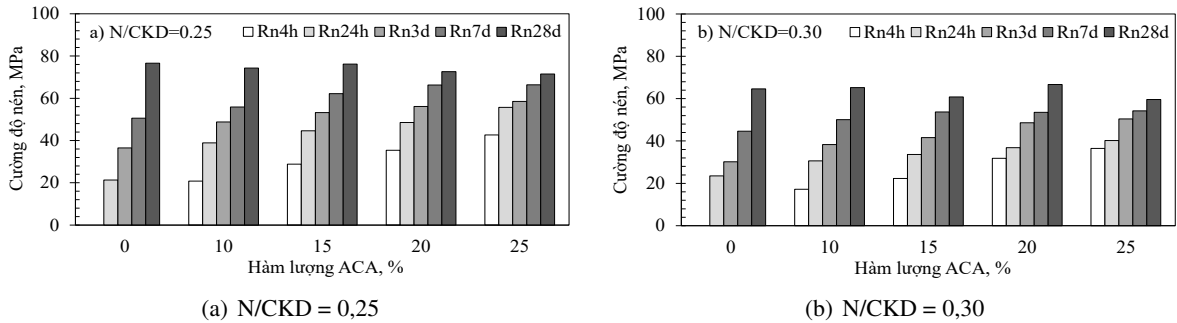
Hình 10. Độ chảy của hỗn hợp vữa sau 15 phút (GBFS = 30%)



Hình 11. Độ chảy của hỗn hợp vữa sau 30 phút (GBFS = 30%)

b. Ảnh hưởng của ACA đến cường độ nén của vữa

Trong nghiên cứu này sẽ đánh giá cường độ của vữa khi sử dụng GBFS với hàm lượng 0% và 30% ứng với tỷ lệ N/CKD = 0,25 và 0,30 trong đó hàm lượng phụ gia ACA sử dụng với hàm lượng từ 0-25% và phụ gia TA lấy là 1% so với ACA. Kết quả đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ N/CKD và hàm lượng ACA đến cường độ của vữa khi không sử dụng GBFS được thể hiện trên Hình 12(a) và Hình 12(b).



Hình 12. Ảnh hưởng của hàm lượng ACA đến cường độ nén của vữa (0%PGK)

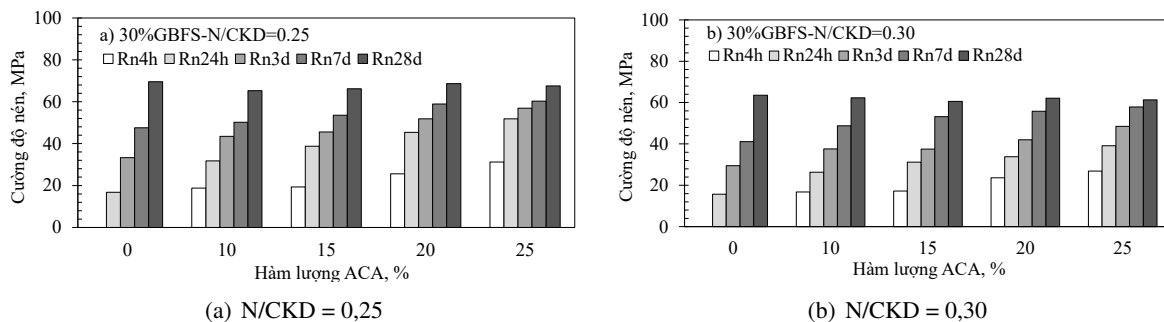
Kết quả thí nghiệm cho thấy, tại tỷ lệ N/CKD = 0,25, sau 4h khi hàm lượng ACA lớn hơn 10% cường độ nén của mẫu vữa đều đạt trên 20 MPa, cường độ nén của vữa đạt lớn nhất là 40 MPa khi hàm lượng ACA sử dụng là 25%. Ở tuổi 1 ngày cường độ nén của vữa sử dụng ACA đều lớn hơn 35 MPa, khi sử dụng ACA đến 25% thì cường độ nén lớn nhất đạt 55 MPa. Cường độ nén của vữa ở tuổi 7 ngày với mẫu sử dụng 0%ACA đạt trên 50 MPa các mẫu vữa sử dụng ACA đều đạt trên 55 MPa và đến 28 ngày cường độ của vữa đạt trên 70 MPa, cường độ nén của mẫu đối chứng (0%ACA) đạt cao nhất là 76 MPa.

Tại tỷ lệ N/CKD = 0,30, sau 4h cường độ nén của vữa sử dụng 10%ACA đạt trên 15 MPa, với mẫu sử dụng trên 15%ACA cho cường độ nén đạt trên 20 MPa, cường độ nén cao nhất đạt được à 36 MPa khi ACA sử dụng 25%. Ở tuổi 1 ngày cường độ nén của vữa sử dụng ACA đều lớn hơn 30 MPa, khi sử dụng ACA đến 25% thì cường độ nén lớn nhất đạt 40 MPa. Cường độ nén của vữa ở tuổi 7 ngày với mẫu sử dụng 0%ACA đạt trên 40 MPa các mẫu vữa sử dụng ACA đều đạt trên 50 MPa và đến 28 ngày cường độ của vữa đạt trên 60 MPa.

Kết quả đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ N/CKD và hàm lượng ACA đến cường độ của vữa sử dụng 30% GBFS được thể hiện trên Hình 13(a) và Hình 13(b). Kết quả thí nghiệm cho thấy, với tỷ lệ N/CKD = 0,25, cường độ nén của vữa sau 4h đạt trên 20MPa khi hàm lượng ACA sử dụng trên 20%, cường độ nén lớn nhất đạt 31 MPa khi hàm lượng ACA sử dụng 25%. Cường độ nén của vữa ở tuổi 1 ngày với mẫu sử dụng ACA lớn hơn 30 MPa và cường độ nén ở tuổi 7 ngày lớn hơn 50 MPa. Cường độ nén của vữa ở tuổi 28 ngày lớn hơn 65 MPa, cường độ nén lớn nhất đạt 69 MPa với mẫu đối chứng không sử dụng ACA.

Với tỷ lệ N/CKD = 0,30, cường độ nén của vữa sau 4h đạt trên 20 MPa khi hàm lượng ACA lớn hơn 20%. Cường độ nén sau 1 ngày lớn hơn 25 MPa khi sử dụng ACA với hàm lượng 10% và đạt trên 30 MPa khi hàm lượng ACA trên 15%. Cường độ nén ở tuổi 28 ngày đạt trên 60 MPa.

Kết quả thí nghiệm cho thấy, với mẫu vữa sử dụng 30%GBFS có cường độ nén thấp hơn so với mẫu không sử dụng GBFS với các tỷ lệ N/CKD và hàm lượng ACA khác nhau. Tuy nhiên, khi sử dụng GBFS kết hợp ACA cường độ nén của vữa sau 4h đạt trên 20 MPa và cường độ nén ở tuổi 7 ngày đều đạt trên 50 MPa.



Hình 13. Ảnh hưởng của hàm lượng ACA đến cường độ nén của vữa (30%GBFS)

Việc sử dụng phụ gia ACA để rút ngắn thời gian đông kết, thúc đẩy quá trình rắn chắc và phát triển cường độ của đá xi măng cũng có thể được giải thích, aluminat canxi vô định hình với thành phần chính là CaO và Al_2O_3 với tỷ lệ gần với 12:7. Quá trình đông kết của $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ xảy ra gần như tức thì, thậm chí khi lắc một lượng nhỏ $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ với một lượng nước lớn trong bình cũng không tránh được hiện tượng tích tụ khoáng được bao bọc bởi các sản phẩm thủy hóa. Các sản phẩm mới hình thành là hydrat aluminat kiềm cao C_4AH_{13} và các gel aluminat. Sự hình thành của pha này dẫn đến làm giảm pha CaO , do đó làm tăng tốc quá trình tái kết tinh aluminat kiềm cao thành tricanxi aluminat với sáu phân tử nước dạng lập phương (C_3AH_6). Phản ứng chuyển đổi canxi aluminat từ dạng lục giác sang dạng khối là yếu tố quan trọng đảm bảo sự duy trì và phát triển cường độ của đá xi măng (ngăn cản/hạn chế sự suy giảm Rn). Quá trình này xảy ra nhanh hơn ở điều kiện môi trường ẩm và nhiệt độ cao hơn so với nhiệt độ môi trường. Quá trình thủy hóa giải phóng một lượng hydroxyt nhôm dưới dạng gibbsit và một phần bemit, thúc đẩy sự hình thành cấu trúc tinh thể-keo bền vững hơn. C_{12}A_7 tương tác mạnh mẽ với nước, nồng độ các thành phần trong dung dịch ở giai đoạn đầu thủy hóa cao hơn vài lần so với quá trình thủy hóa của CA. Sau này tốc độ phản ứng tiếp tục giảm do dung dịch bão hòa cũng như sự lắng dần các canxi aluminat trên bề mặt các đơn tinh thể với sự hình thành màng hydrat. Quá trình thủy hóa của C_{12}A_7 ban đầu sẽ tạo ra C_2AH và các gel aluminat. Với hỗn hợp sử dụng GBFS thì sản phẩm thủy hóa chính là CAH_{10} , trong khi với C_{12}A_7 nguyên chất sẽ tạo sản phẩm C_3AH_6 .

4. Kết luận

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu đạt được, tác giả đưa ra một số kết luận như sau:

- Sử dụng phụ gia rắn nhanh ACA đã làm giảm rất lớn thời gian đông kết của CKD, thời gian bắt đầu đông kết của CKD giảm từ 135 phút với mẫu 0%ACA xuống 17 phút với mẫu sử dụng 5%ACA. Việc sử dụng kết hợp với TA giúp kéo dài thời gian đông kết của CKD. Hàm lượng TA hợp lý lựa chọn là 1% so với khối lượng ACA.

- Phụ gia rắn nhanh ACA đã thúc đẩy nhanh tốc độ phát triển cường độ của vữa. Có thể sử dụng kết hợp phụ gia ACA và TA để chế tạo vữa cường độ cao rắn nhanh với cường độ nén đạt trên 20 MPa sau 4h, cường độ nén ở 7 ngày đạt trên 50MPa và ở 28 ngày đạt trên 70 MPa.

- Đối với mẫu không sử dụng PGK, tại tỷ lệ N/CKD = 0,25, có thể sử dụng ACA với hàm lượng trên 10% và TA bằng 1%ACA để chế tạo vữa với cường độ nén sau 4h đạt trên 20 MPa và ở 7 ngày đạt trên 55 MPa. Khi tỷ lệ N/CKD = 0,30, hàm lượng ACA sử dụng trên 15% sẽ cho cường độ nén sau 4h đạt trên 20 MPa và sau 28 ngày đạt trên 55 MPa.

- Có thể sử dụng phụ gia khoáng GBFS với hàm lượng 30% thay thế xi măng để chế tạo vữa cường độ cao rắn nhanh đảm bảo yêu cầu cường độ nén sau 4h đạt trên 20 MPa và cường độ nén ở tuổi 28 ngày đạt trên 60 MPa. Khi sử dụng 30%GBFS, cường độ nén của vữa sau 4h và sau 07 ngày tương ứng đạt trên 20 MPa và 55 MPa khi hàm lượng ACA sử dụng trên 20%.

Lời cảm ơn

Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, Bộ xây dựng cho đề tài “Nghiên cứu chế tạo bê tông cường độ cao độ chảy cao rắn nhanh hướng tới ứng dụng trong các công trình kè bảo vệ bờ”, mã số: RD 24-20.

Tài liệu tham khảo

- [1] ASTM C387-17. *Standard Specification for Packaged, Dry, Combined Materials for Concrete and High Strength Mortar*. American Concrete Institute, Detroit.
- [2] Bhavikatti, M. A., Karjinni, V. (2012). Combined effect of hardening accelerator and method of curing in the strength development of pavement concrete. *International Journal of Civil & Structural Engineering*, 2(4):1060–1069.
- [3] Naqash, J. A., Lone, I. H., Majid, A., Gayas, B., Hussaini, I., Hassan, M. (2015). Accelerating Admixture “Rapidite”-Its Effect on Properties of Concrete. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 6:58–65.
- [4] Aitcin, P.-C., Flatt, R. J. (2015). *Science and technology of concrete admixtures*. Woodhead Publishing.
- [5] Meagher, T., Shanahan, N., Buidens, D., Riding, K. A., Zayed, A. (2015). [Effects of chloride and chloride-free accelerators combined with typical admixtures on the early-age cracking risk of concrete repair slabs](#). *Construction and Building Materials*, 94:270–279.
- [6] Myrdal, R. (2007). *Accelerating admixtures for concrete*. SINTEF report, Concrete Innovation Centre, The Research Council of Norway.
- [7] Malhotra, V. M. (1996). High-Volume Fly Ash and Slag Concrete. *Concrete Admixtures Handbook*, Elsevier, 800–838.
- [8] Tuấn, N. K., Đầu, V. Đ. (2015). [Nghiên cứu chế tạo vữa khô cường độ cao rắn nhanh sử dụng cho mối nối và công tác sửa chữa kết cấu bê tông cốt thép](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐHXDHN*, 9(2):59–66.
- [9] Hoang, K., Justnes, H., Geiker, M. (2016). [Early age strength increase of fly ash blended cement by a ternary hardening accelerating admixture](#). *Cement and Concrete Research*, 81:59–69.
- [10] Xu, S., Chen, Z., Zhang, B., Yu, J., Zhang, F., Evans, D. G. (2009). [Facile preparation of pure CaAl-layered double hydroxides and their application as a hardening accelerator in concrete](#). *Chemical Engineering Journal*, 155(3):881–885.
- [11] Thắng, N. C., Thắng, N. T., Hanh, P. H., Tuấn, N. V., Lâm, N. T. (2013). [Nghiên cứu chế tạo bê tông cường độ siêu cao sử dụng phụ gia khoáng thay thế một phần xi măng ở Việt Nam hướng tới phát triển bền vững](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐHXDHN*, 7(1):83–92.
- [12] Thắng, N. C., Hanh, P. H., Tuấn, N. V. (2013). [Nghiên cứu chế tạo bê tông chất lượng siêu cao sử dụng silica fume và xỉ lò cao hạt hóa nghiền mịn ở Việt Nam](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 7(1):83–92.
- [13] Trung, T. Đ., Đại, B. D., Đầu, V. Đ. (2015). [Nghiên cứu chế tạo vữa nền cho bê tông tự lèn, cường độ cao sử dụng cát mịn và hỗn hợp phụ gia khoáng xỉ lò cao - tro trấu](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 9(2):67–76.
- [14] Qian, J., Shi, C., Wang, Z. (2001). [Activation of blended cements containing fly ash](#). *Cement and Concrete Research*, 31(8):1121–1127.
- [15] TCVN 2682:2009. *Xi măng pooc lăng - Yêu cầu kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.

- [16] TCVN 11586:2016. *Xỉ hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [17] TCVN 7570:2006. *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [18] TCVN 7572-4:06. *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử, Phần 4: Xác định khối lượng riêng*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [19] TCVN 7572-6:06. *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử, Phần 6: Xác định khối lượng thể tích xốp và độ hở*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [20] TCVN 7572-2:06. *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử, Phần 2: Xác định thành phần hạt*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [21] TCVN 7572-8:06. *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử, Phần 4: Xác định hàm lượng bùn, bụi, sét trong cốt liệu và hàm lượng sét cục trong cốt liệu nhỏ*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [22] TCVN 7572-9:06. *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử, Phần 9: Xác định tạp chất hữu cơ*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [23] TCVN 6017:2015 (ISO9597:2008). *Xi măng - Phương pháp xác định thời gian đông kết và độ ổn định thể tích*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [24] ASTM C1437-20. *Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar*. American Concrete Institute, Detroit.
- [25] TCVN 3121-11:2003. *Vữa xây dựng - phương pháp thử: Xác định cường độ uốn và nén của vữa đã đóng rắn*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.