

# Nghiên cứu chế tạo bê tông cường độ cao siêu rắn nhanh sử dụng calcium aluminat vô định hình

Nguyễn Công Thắng<sup>1</sup>, Nguyễn Văn Tuấn<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, Số 55 đường Giải Phóng, Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

## TỪ KHOẢ

Bê tông cường độ cao  
Bê tông siêu rắn nhanh  
Aluminat canxi vô định hình  
Xi lò cao hạt hóa nghiền mịn

## TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu về việc sử dụng chất kết dính chứa phụ gia rắn nhanh aluminat canxi vô định hình (ACA) để chế tạo bê tông độ chảy cao, cường độ cao siêu rắn nhanh. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc sử dụng phụ gia khoáng silica fume và xi lò cao hạt hóa nghiền mịn (GBFS) kết hợp với phụ gia rắn nhanh có khả năng chế tạo được bê tông với độ chảy lớn hơn 500 mm và cường độ cao siêu rắn nhanh đảm bảo cường độ nén của bê tông sau 4h đạt trên 10 MPa và sau 28 ngày đạt trên 55 MPa. Bên cạnh đó, việc sử dụng GBFS với hàm lượng đến 30 % theo khối lượng chất kết dính không làm ảnh hưởng đến tốc độ rắn chắc và phát triển cường độ của bê tông. Khi sử dụng ACA với hàm lượng 15 %, cường độ của bê tông ở 4h và 28 ngày đạt tương ứng 23 MPa và 71 MPa. Mặc dù cường độ nén ở 4h thấp hơn so với mẫu sử dụng 20 %ACA nhưng ở 28 ngày cường độ nén là tương đương. Bên cạnh đó, mẫu bê tông sử dụng ACA có khả năng chống thấm ion clo không có sự khác biệt so với mẫu đối chứng (không sử dụng ACA).

## KEYWORDS

High strength concrete  
Ultra-rapid hardening concrete  
Amorphous calcium aluminat  
Ground granulated blast furnace slag

## ABSTRACT

This paper presents the test results of using an amorphous calcium aluminat (ACA) binder to produce ultra-rapid hardening high-strength concrete with a high flowability. The results show that the combined use of mineral admixtures, i.e., silica fume and ground granulated blast furnace slag (GBFS), and ACA can produce concrete with a flow value above 500 mm and compressive strength of over 10 MPa after 4 hours and 55 MPa after 28 days. Besides, it was demonstrated that the addition of GBFS with a content of up to 30 % by weight of binder did not influence the rate of hardening and strength development of concrete. The compressive strength of the sample using 15 % ACA can reach 23 MPa after 4 hours and over 71 MPa after 28 days. Although the concrete strength after 4 h was lower than that of the sample using 20 % ACA, the 28-day compressive strength of the concrete was similar. In addition, the concrete sample using ACA had no difference in chloride permeability compared with the control sample (without ACA).

## 1. Giới thiệu

Bê tông chất lượng cao là loại bê tông không những có cường độ cao mà còn được đặc trưng bởi sự vượt trội so với bê tông thông dụng về các tính năng khác như độ lưu động cao hơn, mô đun đàn hồi lớn hơn, cường độ chịu nén cao hơn, độ thấm nước thấp hơn, khả năng chịu mài mòn lớn hơn, và độ bền cao hơn. Có thể chế tạo bê tông chất lượng cao từ chính các nguyên vật liệu dùng để chế tạo bê tông thông dụng, tức là từ xi măng poóc lăng, cát, đá dăm và nước. Sự khác nhau là ở chỗ bê tông chất lượng cao được chế tạo với tỷ lệ nước/xi măng (N/X) thấp hơn so với bê tông thông dụng và có thể sử dụng thêm các loại phụ gia khoáng (PGK) hoạt tính cao siêu mịn như silica fume. Theo tác giả Mehta và các cộng sự [1], chất lượng của bê tông phụ thuộc vào độ chắc của nó. Bê tông càng đặc chắc thì cường độ và khả năng chống thấm càng cao, nên độ bền lâu càng lớn. Độ đặc chắc của bê tông, nếu hỗn hợp bê tông được lèn chặt, tăng tỷ lệ nghịch với tỷ lệ N/X. Do đó bê tông có tỷ lệ N/X càng thấp chất lượng càng cao, với

điều kiện là khi tạo hình hỗn hợp bê tông phải được lèn chặt. Trong xây dựng, việc nâng cao cường độ cũng như sự phát triển cường độ của 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, trong công tác sửa chữa cầu đường, thi công trong những trường hợp đặc biệt [2, 3].

Trên thế giới và ở Việt Nam, bê tông chất lượng cao được nghiên cứu và ứng dụng khá rộng rãi. Tuy nhiên, việc nghiên cứu và ứng dụng bê tông cường độ cao siêu rắn nhanh đặc biệt trong các công trình sửa chữa, công trình cần tháo ván khuôn sớm chưa được thực hiện nhiều. Trong bê tông xi măng, để thúc đẩy sự phát triển cường độ sớm có nhiều giải pháp khác nhau, tuy nhiên một trong những giải pháp được đánh giá là hiệu quả đó là sử dụng các loại phụ gia hóa học để thúc đẩy quá trình thủy hóa của xi măng, đẩy nhanh quá trình rắn chắc ở tuổi sớm [4]. Các giải pháp về việc sử dụng phụ gia hóa học rắn nhanh hiệu quả nhất là canxi clorua (CaCl<sub>2</sub>), 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

\*Liên hệ tác giả: thangnc@huce.edu.vn

Nhận ngày 11/03/2023, sửa xong ngày 17/05/2023, chấp nhận đăng 13/06/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2023.506>

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 nitrate ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ), canxi aluminat và các loại phụ gia khác [7-9]. Theo nghiên cứu của tác giả Jueshe [10] cho thấy, có thể sử dụng 3 % natri sunfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) theo khối lượng chất kết dính sẽ làm tăng nhanh cường độ của đá xi măng ở tuổi 3 ngày. Một số nghiên cứu cho thấy, việc sử dụng  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  hoặc  $\text{K}_2\text{SO}_4$  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 [8-10]. Cơ chế của phụ gia rắn nhanh không clorua là làm tăng tốc độ thủy hóa của các khoáng tricalcium silicate ( $\text{C}_3\text{S}$ ) và tricalcium aluminat ( $\text{C}_3\text{A}$ ) trong xi măng, kết quả là làm tăng nhiệt thủy hóa đồng thời thúc đẩy cường độ của đá xi măng ở tuổi sớm [11]. Phụ gia này hoạt động như một chất xúc tác để thúc đẩy quá trình thủy hóa cho khoáng tricalcium silicate ( $\text{C}_3\text{S}$ ) và tricalcium aluminat ( $\text{C}_3\text{A}$ ) [3].

Trong bài báo này sẽ nghiên cứu ảnh hưởng PGK xi lò cao hạt hoá nghiền mịn (GBFS), silica fume (SF) kết hợp với phụ gia thúc đẩy quá trình rắn chắc của xi măng như aluminat canxi vô định hình (amorphous calcium aluminate - ACA) và axit tartaric (kí hiệu TA) đến một số tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông như tính công tác,

cường độ nén, và tính thấm ion clo.

## 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 PC40, các tính chất cơ lý của xi măng đạt yêu cầu theo TCVN 2682 :2009 [12]. Xi lò cao hạt hóa nghiền mịn (GBFS) của Hòa Phát, các tính chất của xi thỏa mãn loại S75 theo TCVN 11586 :2016 [13]. Đề tài sử dụng SF dạng hạt rời của hãng Elkem với đường kính cỡ hạt trung bình 0,151  $\mu\text{m}$ , khối lượng riêng đạt 2,5  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Phụ gia rắn nhanh (Amorphous Calcium Aluminate-ACA) là một dạng aluminat canxi vô định hình, có thành phần gần với  $12\text{CaO}.7\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{C}_{12}\text{A}_7$ ). Phụ gia điều chỉnh tốc độ rắn chắc là axit tartaric (TA), đây là phụ gia ở dạng bột với kích thước hạt nhỏ hơn 100  $\mu\text{m}$  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 xi lò cao hạt hóa nghiền mịn và phụ gia rắn nhanh ACA được thể hiện ở Bảng 1.

**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	$\text{g}/\text{cm}^3$	3,15	2,92	2,95
Tỷ diện Blaine	$\text{cm}^2/\text{g}$	3820	3760	5200
Độ ổn định thể tích	mm	0,25		
Độ bền nén sau 3 ngày	MPa	33,5		
Độ 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	$\mu\text{m}$	17,3	7,2	5,0
Thành phần hóa				
$\text{SiO}_2$	%	20,3	33,28	4,2
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	%	5,05	0,73	1,6
$\text{Al}_2\text{O}_3$	%	3,51	12,2	48,3
CaO	%	62,81	41,94	43,8
MgO	%	3,02	7,21	0,8
$\text{Na}_2\text{O}$	%	-		
$\text{K}_2\text{O}$	%	-		
$\text{SO}_3$	%	2,00		
$\text{TiO}_2$	%	-		0,5
MKN	%	1,83	1,05	0,3

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 [14].

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

TT	Chi tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả	Yêu cầu	Phương pháp thử
1	Khối lượng riêng	g/cm <sup>3</sup>	2,65		TCVN 7572-4:06
2	Khối lượng thể tích xốp	kg/m <sup>3</sup>	1460	> 1300	TCVN 7572-6:06
3	Độ rỗng	%	44,9		TCVN 7572-6:06
4	Mô đun độ lớn	-	2,63	> 2	TCVN 7572-2:06
5	Hàm lượng bụi mịn, sét	%	0,1	< 3	TCVN 7572-8:06
6	Độ ẩm bão hoà bề mặt khô	%	0,9		TCVN 7572-4:06
7	Hàm lượng tạp chất hữu cơ	-	Nhạt hơn màu chuẩn	Nhạt hơn màu chuẩn	TCVN 7572-9:06
8	<b>Cấp phối cỡ hạt</b>				
	Kích thước lỗ sàng, mm	Lượng sót tích lũy, %	Yêu cầu theo TCVN 7570:2006		
	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		

Cốt liệu lớn (đá dăm) có đường kính lớn nhất đạt 20 mm, các tính chất cơ lý được thể hiện trong Bảng 2. Mẫu đá thí nghiệm đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 7570 : 2006 [14].

**Bảng 3.** Các tính chất cơ lý của cốt liệu lớn.

TT	Chi tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả	Yêu cầu	Phương pháp thử
1	Khối lượng riêng	g/cm <sup>3</sup>	2,72	-	TCVN 7572-4:06
2	Khối lượng thể tích xốp	kg/m <sup>3</sup>	1450	> 1300	TCVN 7572-6:06
3	Độ hồng	%	46,6		TCVN 7572-6:06
4	Hàm lượng thoi dẹt	%	12,3	< 35%	TCVN 7572-13:06
5	Hàm lượng bùn, bụi, sét	%	0,15	< 3	TCVN 7572-8:06
6	Độ nén đập trong xi lanh	%	11,6		TCVN 7572-11:06
7	<b>Cấp phối cỡ hạt</b>				
	Kích thước lỗ sàng, mm	Lượng sót tích lũy, %	Yêu cầu theo TCVN 7570:2006		
	40	0	0		
	20	6,9	0 - 10		
	10	55,4	40 - 70		
	5	98,6	90 - 100		

**2.2. Phương pháp sử dụng trong nghiên cứu**

Tính công tác của hỗn hợp bê tông được xác định theo TCVN 3105:2022 [15].

Cường độ nén của bê tông được xác định trên cơ sở TCVN 3118:2022 [16]. Trong đó, cường độ chịu nén của bê tông được xác định trên mẫu có kích thước 100×100×100 (mm). Cường độ của bê tông được xác định ở thời điểm 4h, 1 ngày, 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày.

Khả năng chống thấm ion clo của bê tông được xác định theo tiêu chuẩn ASTM C1202 [17].

**3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận**

**3.1. Cấp phối bê tông cường độ cao rắn nhanh**

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của phụ gia ACA và PGK đến các tính chất của CKD và vữa [18], 18 cấp phối bê tông được lựa chọn nghiên cứu, trong đó CP1-CP6 với hàm lượng PGK là 0 %. CP7-CP12 sử dụng PGK GBFS với hàm lượng 30 % và CP13-CP18 sử dụng kết hợp 5 % SF với 30 % GBFS. Trong thành phần bê tông, mức ngậm cát lựa chọn là 47 %, hàm lượng TA hợp lý bằng 1 % so với khối lượng của ACA. Tỷ lệ thành phần vật liệu sử dụng trong nghiên cứu được thể hiện ở Bảng 4.

**Bảng 4.** Cấp phối bê tông sử dụng trong nghiên cứu.

TT	Tỷ lệ vật liệu theo khối lượng			Lượng vật liệu tính cho 1m <sup>3</sup> , kg								
	N/CKD	SD	ACA	XM	SF	GBFS	Cát	Đá	Nước	SD	ACA	TA
1	0,25	1,2	0	595			810	902	149	7,14		
2	0,25	1,2	15	565			780	869	141	6,78	84,75	0,8475
3	0,25	1,2	20	564			780	869	141	6,77	112,8	1,128
4	0,3	1,1	0	588			800	890	176	6,47		
5	0,3	1,1	15	560			775	865	168	6,16	84	0,84
6	0,3	1,1	20	562			778	866	169	6,18	112,4	1,124
7	0,25	1,1	0	417		179	810	902	149	6,55		
8	0,25	1,1	15	396		170	780	869	141	6,22	84,75	0,8475
9	0,25	1,1	20	395		169	780	869	141	6,20	112,8	1,128
10	0,3	1,0	0	412		176	800	890	176	5,88		
11	0,3	1,0	15	392		168	775	865	168	5,60	84	0,84
12	0,3	1,0	20	393		169	778	866	169	5,62	112,4	1,124
13	0,25	0,9	0	387	30	179	810	902	149	5,36		
14	0,25	0,9	15	367	28	170	780	869	141	5,09	84,75	0,8475
15	0,25	0,9	20	367	28	169	780	869	141	5,08	112,8	1,128
16	0,3	0,8	0	382	29	176	800	890	176	4,70		
17	0,3	0,8	15	364	28	168	775	865	168	4,48	84	0,84
18	0,3	0,8	20	365	28	169	778	866	169	4,50	112,4	1,124

**3.2. Ảnh hưởng của PGK và ACA đến độ chảy của hỗn hợp bê tông**

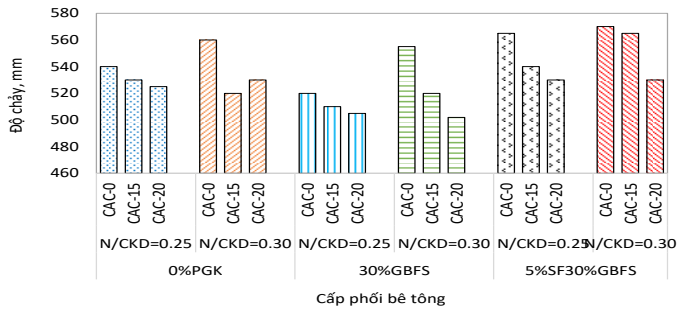
Kết quả nghiên cứu về độ chảy của hỗn hợp bê tông bằng côn Abraham được thể hiện ở Hình 2. Các kết quả đạt được cho thấy độ chảy của hỗn hợp bê tông đạt trên 500 mm. Kết quả cho thấy, với mỗi tỷ lệ N/CKD khác nhau, hàm lượng PGK và hàm lượng ACA khác nhau sẽ cho tính công tác của hỗn hợp bê tông thay đổi. Khi hàm lượng ACA tăng thì tính công tác của hỗn hợp bê tông có xu hướng giảm. Với tỷ lệ N/CKD=0,30, độ chảy của hỗn hợp bê tông đều đạt trên 550 mm. Bên cạnh đó, việc sử dụng 30 % GBFS và sử dụng hỗn hợp PGK với 5 % SF + 30 % GBFS sẽ làm giảm lượng dùng PGSD đồng thời vẫn cải thiện độ chảy của hỗn hợp bê tông. Trên cơ sở kết quả thử nghiệm, hỗn hợp bê tông chế tạo đạt trạng thái độ chảy khá lớn. Với cấp phối sử dụng 0 %PGK thì tại tỷ lệ N/CKD = 0,30 và hàm lượng ACA = 0 % thì độ chảy của hỗn hợp bê tông lớn hơn 550 mm đạt mức SF1 về độ chảy loãng của bê tông tự lèn theo TCVN 12209:2018. Khi sử dụng đến 30 %GBFS, với cấp phối sử dụng N/CKD = 0,30 và ACA = 0 % thì đạt mức SF1 đồng thời lượng PGSD giảm so với cấp phối sử dụng 0 % PGK. Khi sử dụng kết hợp kết hợp 5 % SF + 30 % GBFS thì tính công tác của hỗn hợp bê tông cải thiện tốt hơn đồng thời hàm lượng PGSD giảm so với cấp phối sử dụng 0 % PGSD. Hỗn hợp có độ chảy loãng mức SF1 khi N/CKD=0,3 đồng thời ACA sử dụng đến 15 %.

Việc cải thiện tính công tác khi có sử dụng PGK có thể giải thích do GBFS có bề mặt thủy tinh đặc chắc nên khi thay thế xi măng thì lượng nước dư trong hỗn hợp sẽ tăng lên nên, do vậy việc sử dụng

GBFS sẽ cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông, giảm lượng nước nhào trộn, và giảm hàm lượng PGSD [19]. Bên cạnh đó, khi sử dụng PGK SF với đường kính hạt trung bình khoảng 0,15 μm, với các hạt có dạng hình cầu nên khi sử dụng với hàm lượng thấp có tác dụng làm giảm nội ma sát trong hỗn hợp hạt, còn gọi là hiệu ứng “ô bi”, đồng thời giúp cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông. Bên cạnh đó, theo Bache [20] cho rằng trong hỗn hợp bê tông có PGSD và tỷ lệ N/CKD thấp, các hạt SF siêu mịn sẽ chiếm chỗ của nước nằm giữa các hạt xi măng vón tụ, làm tăng lượng nước tự do trong hồ và do đó làm cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông. Tuy vậy, khi tiếp tục tăng hàm lượng SF, do tỷ diện của SF rất lớn, khoảng 18.000 – 20.000 cm<sup>2</sup>/g [21, 22], nên cần một lượng nước rất lớn để thấm ướt bề mặt và hiệu ứng này không thể bù đắp lại được các hiệu ứng có lợi của SF. Do vậy, trong nghiên cứu này mới sử dụng kết hợp với hàm lượng SF là 5 % so với khối lượng CKD.



**Hình 1.** Độ chảy loãng của hỗn hợp bê tông.



Hình 2. Độ chảy của hỗn hợp bê tông.

### 3.3. Ảnh hưởng của PGK và ACA đến cường độ bê tông

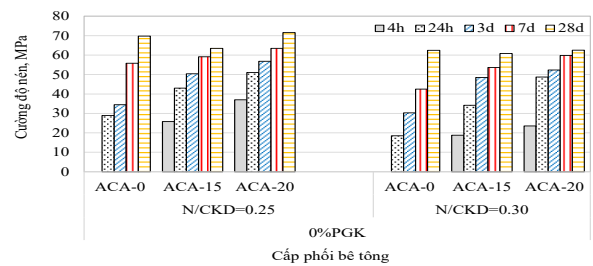
Kết quả thí nghiệm cường độ nén của mẫu bê tông được thể hiện ở Hình 3, Hình 4 và Hình 5. Kết quả thí nghiệm cho thấy, tại các cấp phối nghiên cứu, khi không sử dụng phụ gia ACA, cường độ nén của bê tông sau 4h chưa hình thành. Khi sử dụng 0 % PGK và sử dụng ACA với hàm lượng 15 % thì cường độ nén của bê tông đạt 25 MPa và 18,8 MPa tương ứng với tỷ lệ N/CKD = 0,25 và 0,30; Khi hàm lượng ACA sử dụng đến 20 % thì cường độ nén của bê tông ở 4h đạt 37 MPa và 23,5 MPa tương ứng với tỷ lệ N/CKD = 0,25 và 0,30. Khi sử dụng ACA thì cường độ nén của bê tông ở tuổi 7 ngày đều đạt trên 50 MPa, cường độ nén ở tuổi 28 ngày đều đạt trên 60 MPa. Như vậy, cường độ nén của bê tông đều thỏa mãn yêu cầu đặt ra.

Khi sử dụng 30 % GBFS cường độ nén của bê tông sau 4h không có sự khác biệt đáng kể so với mẫu đối chứng, khi sử dụng ACA với hàm lượng 15 % và 20 % thì cường độ nén của bê tông đều đạt trên 15 MPa và 20 MPa tương ứng với tỷ lệ N/CKD là 0,30 và 0,25. Khi tăng hàm lượng ACA lên 20 % thì cường độ nén sau 4h đạt trên 20 MPa và 30 MPa tương ứng với tỷ lệ N/CKD = 0,30 và 0,25. Cường độ nén ở tuổi 7 ngày đều đạt trên 50 MPa và ở tuổi 28 ngày đạt trên 55 MPa với tỷ lệ N/CKD = 0,30 và đạt trên 65 MPa khi tỷ lệ N/CKD = 0,25. Cường độ nén cao nhất đạt 68 MPa ở tỷ lệ N/CKD = 0,25 và hàm lượng ACA đến 20 %.

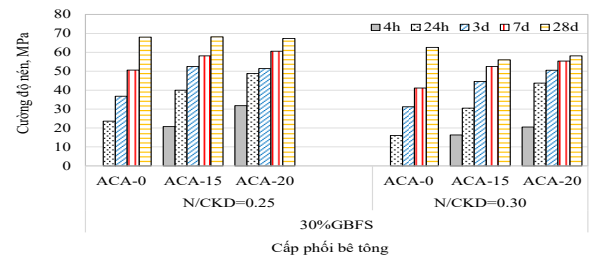
Khi có sự kết hợp giữa 5 % SF + 30 % GBFS và sử dụng phụ gia ACA thì cường độ nén của bê tông thỏa mãn yêu cầu của đề tài. Cường độ nén của bê tông sau 4h đều đạt trên 10 MPa và cường độ nén của bê tông sau 28 ngày đạt trên 55 MPa. Cường độ nén sau 4h đạt trên 20 MPa và trên 15 MPa tương ứng với tỷ lệ N/CKD là 0,25 và 0,30. Ở tuổi 7 ngày cường độ nén của bê tông đạt trên 65 MPa và 55 MPa tương ứng với tỷ lệ N/CKD là 0,25 và 0,30. Cường độ nén ở tuổi 28 ngày đạt lớn nhất 71 MPa với tỷ lệ N/CKD = 0,25 và hàm lượng ACA trên 15 %.

Như vậy, các kết quả cho thấy việc sử dụng kết hợp PGK trong chế tạo bê tông cường độ cao rắn nhanh không có suy giảm về cường độ so với mẫu đối chứng (0 % PGK). Việc sử dụng PGK sẽ giúp giảm lượng dùng xi măng đồng thời không làm ảnh hưởng đến cường độ của bê tông, điều này có ý nghĩa rất lớn về mặt kinh tế, kỹ thuật và môi trường. Bên cạnh đó, việc sử dụng PGK giúp cải thiện tính chất của bê tông, giảm nhiệt độ thủy hóa của xi măng, giảm nguy cơ nứt kết cấu

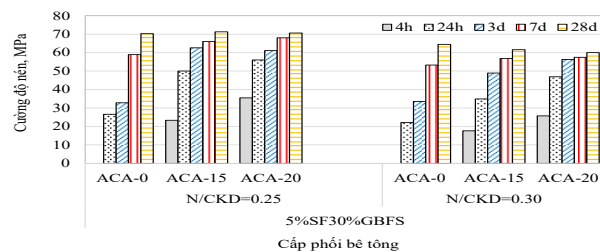
do co ngót nội sinh, đặc biệt với hệ bê tông có tỷ lệ N/CKD thấp [1, 23]. Do PGK có kích thước hạt nhỏ (đặc biệt các hạt SF siêu mịn, nhỏ hơn các hạt xi măng khoảng 100 lần) nên có khả năng lấp đầy khoảng trống giữa các hạt xi măng, làm tăng độ đặc chắc của hệ, còn gọi là hiệu ứng vật lý. Mặt khác, PGK ở dạng hoạt tính nên có thể cải thiện sự thủy hóa và vi cấu trúc của hệ thông qua các phản ứng thứ cấp giữa các PGK này với các sản phẩm thủy hóa xi măng, chẳng hạn phản ứng puzolanic. Từ đó làm giảm hàm lượng hydroxit canxi (CH- không có tính kết dính) của hệ, trong khi đó hàm lượng các sản phẩm thủy hóa ở dạng bền, như C-S-H, lại tăng lên, từ đó sẽ cải thiện được cường độ và độ bền cho bê tông. Bên cạnh đó, do các hạt PGK có kích thước nhỏ, có thể điền đầy vào các vùng chuyển tiếp giữa cốt liệu và đá xi măng, và thực hiện các phản ứng thứ cấp làm giảm các sản phẩm thủy hóa không có tính chất kết dính (như CH) tại các vùng này, làm tăng độ đặc chắc và tăng sự liên kết ở các vị trí này. Hơn nữa, một số PGK như GBFS, ở điều kiện dưỡng hộ thường, cường độ nén của bê tông ở những ngày đầu tăng không nhiều so với mẫu đối chứng, nhưng sự phát triển cường độ ở tuổi về sau khá lớn.



Hình 3. Ảnh hưởng của hàm lượng ACA và tỷ lệ N/CKD đến cường độ nén của bê tông (PGK = 0 %).



Hình 4. Ảnh hưởng của hàm lượng ACA và tỷ lệ N/CKD đến cường độ nén của bê tông (GBFS = 30 %).



Hình 5. Ảnh hưởng của hàm lượng ACA và tỷ lệ N/CKD đến cường độ nén của bê tông (5 %SF + 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, từ đó giúp tăng cường độ nén của bê tông. Việc cải thiện tính chất này cũng có thể được giải thích, aluminat canxi vô định hình với thành phần chính là CaO và Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> với tỷ lệ gần với 12:7. Quá trình đông kết của 12CaO.7Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> xảy ra gần như tức thì, thậm chí khi lắc một lượng nhỏ 12CaO.7Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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<sub>4</sub>AH<sub>13</sub> 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<sub>3</sub>AH<sub>6</sub>). 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 cường độ). 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<sub>12</sub>A<sub>7</sub> tương tác mạnh 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<sub>12</sub>A<sub>7</sub> ban đầu sẽ tạo ra C<sub>2</sub>AH và các gel aluminat. Với hỗn hợp sử dụng GBFS thì sản phẩm thủy hóa chính là CAH<sub>10</sub>, trong khi với C<sub>12</sub>A<sub>7</sub> nguyên chất sẽ tạo sản phẩm C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub>.

### 3.3. Nghiên cứu khả năng chống thấm ion clo của bê tông

Để đánh giá khả năng chống thấm trong môi trường xâm thực biển cũng như đánh giá mức độ đặc chắc trong cấu trúc bê tông. Đề tài đã tiến hành xác định khả năng chống thấm ion clo của bê tông. Thí nghiệm dựa trên nguyên tắc đo điện lượng truyền qua mẫu bê tông hình trụ đường kính 100 mm, chiều dày 50 mm trong thời gian 6 giờ. Điện thế một chiều 60 V được đặt vào hai mặt của mẫu trụ trong đó một mặt tiếp xúc với dung dịch NaOH, mặt kia tiếp xúc với dung dịch NaCl. Mẫu thí nghiệm được tiến hành ở tuổi 28 ngày. Dưới tác động của điện trường, ion Clo sẽ khuếch tán theo các lỗ rỗng mao quản tạo thành dòng điện. Tổng điện lượng truyền qua, tính theo Culông đo được có quan hệ với khả năng chống thấm ion clo của bê tông.

Trong nghiên cứu, đề tài tiến hành với 02 cấp phối: cấp phối sử dụng 5 % SF và 30 % GBFS với tỷ lệ N/CKD=0,25 và ACA=0 % và 15 %, kết quả nghiên cứu được thể hiện ở Bảng 5.

**Bảng 5.** Kết quả đo độ thấm ion clo của mẫu bê tông sử dụng và không sử dụng ACA.

Kí hiệu mẫu	Điện lượng truyền qua, (Culong)
ACA0%	156
ACA15%	164

Như vậy, theo tiêu chuẩn ASTM C1202-17 thì mẫu bê tông có mức độ thấm ion clo ở cấp thấp rất thấp. Điều này cho thấy, việc sử dụng phụ gia rắn nhanh ACA không làm ảnh hưởng đến độ đặc chắc, mức độ thấm ion clo của mẫu bê tông. Điều này sẽ giúp đảm bảo đặc chắc, độ bền trong môi trường xâm thực của mẫu bê tông này.

## 4. Kết luận

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu đạt được, một số kết luận có thể được rút ra như sau:

- Phụ gia rắn nhanh ACA đã thúc đẩy nhanh tốc độ phát triển cường độ của bê tông. Có thể sử dụng kết hợp phụ gia ACA và TA để chế tạo bê tông cường độ cao rắn nhanh với cường độ nén của bê tông sau 4h đạt trên 10 MPa và sau 28 ngày đạt trên 55 MPa. Với cấp phối sử dụng PGK=0 % tại tỷ lệ N/CKD=0,25 và ACA=20 % sẽ cho cường độ nén cao nhất sau 4h và 28 ngày tương ứng đạt 37 MPa và 71 MPa.
- Với bê tông sử dụng ACA, việc sử dụng 30 % GBFS không ảnh hưởng đến tốc độ rắn chắc và sự phát triển cường độ của bê tông. Khi sử dụng kết hợp 5 % SF + 30 % GBFS cũng cho cường độ nén tương đương với mẫu sử dụng PGK=0 %. Đặc biệt khi sử dụng ACA=15 % cường độ của bê tông ở 4h và 28 ngày đạt ở mức cao, tương ứng 23 MPa và 71 MPa, cường độ nén ở 4h thấp hơn so với mẫu sử dụng ACA = 20 %, tuy nhiên ở 28 ngày cường độ nén là tương đương.
- Các kết quả đánh giá về mức độ thấm ion clo đã cho thấy, việc sử dụng phụ gia rắn nhanh ACA không có sự khác biệt so với mẫu không sử dụng phụ gia ACA. Như vậy, việc sử dụng phụ gia ACA đảm bảo yêu cầu về độ bền của bê tông so với mẫu không sử dụng phụ gia ACA.

## Tài liệu tham khảo

- [1]. P.K. Mehta, V. Malhotra, *High performance, high volume fly ash concrete*. ACCA, 2008.
- [2]. M. Bhavikatti, V. Karjinni, Combined effect of hardening accelerator and method of curing in the strength development of pavement concrete. *Int J Civ Struct Eng*, 2012. 2: pp.1060-1069.
- [3]. J.A. Naqash, L.I. Majid, B. Gayas, I. Hussaini, M. Hassan, Accelerating admixture “rapidite”—its effect on properties of concrete. *Int J Civ Eng Technol*, (2015), 6: pp.58-65.
- [4]. P. Aitcin, *Science and technology of concrete admixtures*. <https://doi.org/10.1016/c2015-0-00150-2>, 2015.
- [5]. T. Meagher, S.N.D. Buidens, K.A. Riding, A. Zayed, Effects of chloride and chloride-free accelerators combined with typical admixtures on the early-age cracking risk of concrete repair slabs. *Constr Build Mater*, (2015), 94: pp.270-279.
- [6]. R. Myrdal, *Accelerating admixtures for concrete*, (2007), SINTEF report, ISBN: 978-82-536-0989-8.
- [7]. V. Malhotra, *Concrete admixtures handbook*. 1996: p. 410-517, <https://doi.org/10.1016/b978-081551373-5.50011-8>.

- [8]. Ngô Kim Tuấn, Vũ Đình Đầu, 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*, 2015. 9(2): p. 59-66, <https://stce.nuce.edu.vn/index.php/vn/article/view/483>.
- [9]. K. Hoang, H. Justnes, M. Geiker, Early age strength increase of fly ash blended cement by a ternary hardening accelerating admixture. *Cement and Concrete Research*. 81(2016): pp.59-69.
- [10]. Q. Jueshi, C. Shi, W. Zhi, Activation of blended cements containing fly ash. *Cem. Concr. Res.* 31(2001): pp.1121–1127.
- [11]. S. Xu, C.Z. Zhang, J. Yu, F. Zhang, D.G. Evans, Facile preparation of pure CaAl-layered double hydroxides and their application as a hardening accelerator in concrete. *Chem Eng J*, (2009), 155: pp. 881–885, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.08.003>.
- [12]. TCVN 2682:2009, *Xi măng pooc lăng - Yêu cầu kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [13]. TCVN 11586:2016, *Xi hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [14]. TCVN 7570:2006, *Cốt liệu cho bê tông và vữa - yêu cầu kỹ thuật*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [15]. TCVN 3105:2022 *Hỗn hợp bê tông và bê tông - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [16]. TCVN 3118:2022, *Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [17]. ASTM C1202:19 *Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*.
- [18]. Nguyễn Công Thắng, Nguyễn Văn Tuấn, Bùi Thế Anh, Nghiên cứu chế tạo vữa cường độ cao siêu rắn nhanh trên cơ sở chất kết dính hỗn hợp xi măng và calcium aluminate. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, ĐHXDHN, 2021, 2021. 15(6V): p. 70-82. DOI: [https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2021-15\(6V\)-07](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2021-15(6V)-07).
- [19]. Ramachandra, High-Volume Fly Ash and Slag concrete. *Noyes*, 1995: pp.800-837.
- [20]. H.H. Bache, Densified Cement-Based/Ultrafine Particles-Based Materials. *Proceedings, Second International Conference on Superplasticizer in Concrete, Ottawa*, 1981: p. 185-213.
- [21]. C.T. Holland, *Silica Fume User's Manual*. 2005: Silica Fume Association. pp.183.
- [22]. N.V. Tuan, *Rice Husk Ash as a Mineral Admixture for Ultra High Performance Concrete*, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, the Netherlands. 2011. pp.165.
- [23]. N.C. Thang., et al, Effect of Zeolite on Shrinkage and Crack Resistance of High-Performance Cement-Based Concrete. *Materials*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13173773>.