



ẢNH HƯỞNG CỦA PHỤ GIA KHOÁNG ĐẾN KHẢ NĂNG ẨM MÒN CỐT THÉP TRONG BÊ TÔNG CHẤT LƯỢNG SIÊU CAO

Nguyễn Công Thắng^{1*}, Nguyễn Văn Tuấn², Phạm Hữu Hanh²

Tóm tắt: Bài báo này trình bày về nghiên cứu ảnh hưởng của một số phụ gia khoáng (PGK) đến đặc tính ăn mòn cốt thép trong bê tông chất lượng siêu cao (BTCLSC). Trong nghiên cứu này, PGK sử dụng bao gồm silica fume (SF), tro bay (FA) và xỉ lò cao hạt hóa nghiền mịn (GGBFS) được sử dụng để thay thế xi măng theo tỷ lệ SF sử dụng 10% và 20%; FA sử dụng 10% và 20%; GGBFS sử dụng 20%, 40% theo khối lượng chất kết dính. Kết quả nghiên cứu cho thấy với mẫu BTCLSC sử dụng PGK cho khả năng chống ăn mòn của cốt thép trong bê tông tốt hơn so với mẫu không sử dụng PGK và với mẫu bê tông thường (cường độ nén khoảng 30 MPa). Mức độ ăn mòn cốt thép của mẫu BTCLSC sử dụng GGBFS và SF thấp hơn so với mẫu sử dụng FA.

Từ khóa: Bê tông chất lượng siêu cao; cốt thép; phụ gia khoáng; ăn mòn; nứt.

Effect of some mineral admixtures on corrosion potential of steel reinforcement in Ultra-High Performance Concrete

Abstract: This paper presents the investigation of the effect of mineral admixtures on corrosion of steel reinforcement embedded in Ultra-High Performance Concrete (UHPC). In this research, cement was partially replaced by silica fume (SF) (10% and 20%); fly ash (FA) (10% and 20%); Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) (20% and 40% depending on weight of binder). The results indicate that sample of UHPC containing the mineral admixtures on corrosion perform better than those without mineral admixtures on corrosion inside and normal concrete samples (with compressive strength of about 30 MPa). The results show that the corrosion ability of steel reinforcement embedded in UHPC containing GGBFS and SF is lower than that using containing FA.

Keywords: Ultra-high performance concrete; steel reinforcement; mineral admixture; corrosion potential; cracking.

Nhận ngày 10/01/2018; sửa xong 24/01/2018; chấp nhận đăng 28/02/2018

Received: January 10th, 2018; revised: January 24th, 2018; accepted: February 28th, 2018



1. Tổng quan

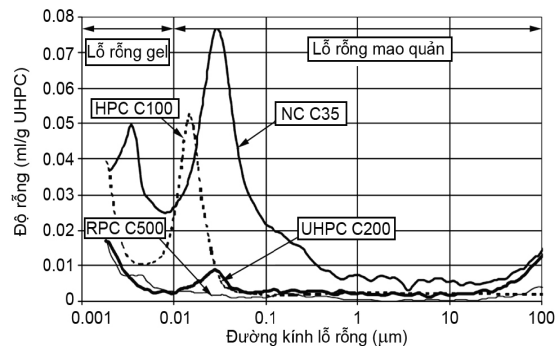
Việt Nam là một nước có bờ biển dài trên 3200 km, với rất nhiều công trình bê tông cốt thép đã và đang được xây dựng. Hiện nay các công trình này đang chịu tác động rất lớn bởi các yếu tố như ăn mòn, xói mòn. Do đó, một trong những vấn đề đang được quan tâm hiện nay là việc nâng cao chất lượng và tuổi thọ cho các công trình xây dựng, đặc biệt là các công trình xây dựng chịu tác động xâm thực mạnh như vùng biển và ven biển. Trên thực tế, để nâng cao chất lượng và tuổi thọ cho các công trình trong môi trường xâm thực cần thiết phải nâng cao khả năng chống ăn mòn cho bê tông. Trong đó, vấn đề ăn mòn cốt thép là mối quan tâm lớn nhất, một trong những yếu tố quan trọng và phổ biến gây ăn mòn cốt thép là do sự xâm nhập của ion clo vào bê tông, đặc biệt xảy ra với môi trường biển cũng như với môi trường xâm thực trong các khu công nghiệp. Mức độ ăn mòn cốt thép trong bê tông có liên quan trực tiếp đến độ đặc chắc đá xi măng, sự phân bố của lỗ rỗng. Với bê tông khi độ đặc chắc càng lớn thì khả năng chống thấm nước cũng như ngăn cản sự xâm nhập của các ion xâm thực như Cl^- , SO_4^{2-} càng lớn.

¹ TS, Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng.

² PGS.TS, Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng.

* Tác giả chính. E-mail: keulas115@gmail.com.

Hiện nay có rất nhiều biện pháp khác nhau để nâng cao tuổi thọ, hạn chế quá trình ăn mòn cốt thép trong bê tông như việc sơn phủ bề mặt các kết cấu, sử dụng các loại phụ gia đặc biệt, nâng cao chất lượng và độ đặc chắc của bê tông... Một trong những biện pháp được đánh giá là hiệu quả và đang được quan tâm đó là cải thiện các tính năng của bê tông theo hướng nâng cao cường độ cũng như tăng độ đặc chắc từ đó hạn chế sự xâm nhập của các tác nhân gây ăn mòn, tăng độ bền cho kết cấu bê tông cốt thép. Trong số các loại bê tông hiện nay, bê tông chất lượng siêu cao (BTCLSC) được đánh giá là có hiệu quả rất lớn trong việc nâng cao chất lượng và độ bền cho kết cấu. So với bê tông thường, BTCLSC có các đặc tính cơ lý vượt trội, cụ thể có độ chảy cao, cường độ nén rất cao (thường lớn hơn 150 MPa), độ thấm thấp và độ bền cao [1,2]. Trong BTCLSC, với tỷ lệ nước/chất kết dính (N/CKD) rất thấp, (thường < 0,25 theo khối lượng) [3,4], khi đó phần lỗ rỗng mao quản chiếm một tỷ lệ rất thấp [5], tổng độ rỗng của bê tông là rất nhỏ [6] và sự phân bố kích thước lỗ rỗng chủ yếu tồn tại với các lỗ rỗng gel (Hình 1). Điều này đã thể hiện rất rõ ưu điểm của BTCLSC trong việc hạn chế sự xâm nhập của các tác nhân ăn mòn như clo, sun phat, quá trình cacbonat hóa...



Hình 1. Sự phân bố kích thước lỗ rỗng trong BTCLSC (UHPC C200, RPC C500), bê tông chất lượng cao (HPC C100) và bê tông thường (NC C35) [5]

Vật liệu để chế tạo BTCLSC thông thường bao gồm cát quắc với kích thước khoảng 100-600μm, xi măng, silica fume (SF), nước và phụ gia siêu dẻo (SD). Tuy nhiên, trong BTCLSC lượng dùng xi măng tương đối cao, khoảng 900-1000 kg/m³, lượng SF thường là 150-250 kg/m³ (10-30% so với khối lượng xi măng) [7] và điều này đã ảnh hưởng rất lớn đến giá thành và tính bền vững của BTCLSC. Do vậy, việc nghiên cứu sử dụng các loại phụ gia khoáng để thay thế một phần xi măng trong BTCLSC đồng thời vẫn đảm bảo các tính chất cho bê tông là rất cần thiết. Trong số các phụ gia khoáng thì SF, xỉ lò cao hạt hóa nghiền mịn (GGBFS), tro bay (FA) được đánh giá là phù hợp trong chế tạo BTCLSC [8]. Các loại phụ gia khoáng này có chứa các oxyt hoạt tính có khả năng phản ứng với sản phẩm thủy hóa của xi măng (phản ứng puzolanic) tạo ra các sản phẩm dạng C-S-H có cường độ cao, bền với môi trường hơn, đặc biệt tăng khả năng chống ăn mòn cho bê tông [9].

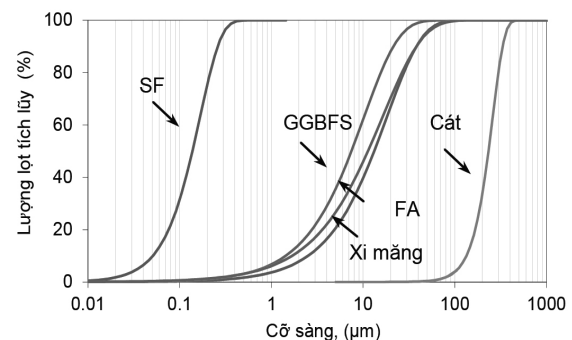
Bài báo này trình bày những kết quả thí nghiệm về ảnh hưởng của một số phụ gia khoáng (PGK) SF, GGBFS và FA đến khả năng hạn chế ăn mòn cốt thép trong BTCLSC, trong đó có so sánh sự ăn mòn cốt thép giữa BTCLSC có sử dụng PGK và không sử dụng PGK và so sánh với bê tông thường (cấp phối chuẩn để so sánh).



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

2.1 Nguyên vật liệu sử dụng

Vật liệu được dùng trong nghiên cứu gồm: Xi măng Pooclăng PC40 có các tính chất cơ lý trình bày ở Bảng 1; SF dạng hạt rời có đường kính hạt trung bình khoảng 0,15 μm, hàm lượng SiO₂ là 92,3%, chỉ số hoạt tính với xi măng là 113,5%; GGBFS được nghiền mịn với đường kính trung bình 7,2 μm; FA có đường kính cỡ hạt trung bình khoảng 10,8 μm; cốt liệu là cát quắc có đường kính cỡ hạt từ 100-600 μm, độ hong của cát là 45%; phụ gia siêu dẻo (SD) sử dụng có gốc polycarboxylate. Thành phần hóa của chất kết dính thể hiện ở Bảng 2. Thành phần hạt của chất kết dính và cát quắc được xác định bằng phương pháp nhiễu xạ laze, kết quả thể hiện ở Hình 2.



Hình 2. Thành phần hạt của chất kết dính và cát quắc sử dụng trong nghiên cứu

Với cấp phối bê tông được đề xuất theo tiêu chuẩn NT Build 356 của Na Uy được thể hiện là cấp phối đối chứng (ĐC2) với nguyên vật liệu cụ thể như sau: xi măng sử dụng cùng loại để chế tạo BTCLSC.

Cốt liệu mịn (Cát) có mô đun độ lớn $M_{dl} = 2,3$; khối lượng riêng đạt $2,62 \text{ g/cm}^3$; khối lượng thể tích đạt 1450 kg/m^3 . Cốt liệu thô (Đá dăm) có $D_{max} = 20 \text{ mm}$; khối lượng riêng đạt $2,65 \text{ g/cm}^3$; khối lượng thể tích đạt 1465 kg/m^3 . Các tính chất cơ lý của cốt liệu đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 7570:2006. Phụ gia hóa dẻo gốc Melamin với mức độ giảm nước là 15%.

Bảng 1. Tính chất cơ lý của xi măng

Tính chất	Đơn vị	Giá trị	Quy phạm	Phương pháp thí nghiệm
Độ mịn - Lượng sót sàng N°009 - Độ mịn Blaine	% cm^2/g	0,6 3870	≤ 10 ≥ 2800	TCVN 4030-2003
Độ dẻo tiêu chuẩn	%	29,5	-	TCVN 6017-2015
Giới hạn bền nén - Sau 3 ngày - Sau 28 ngày	MPa	29,8 52,2	$\geq 21,0$ $\geq 40,0$	TCVN 6016-2012

Bảng 2. Thành phần hóa học của xi măng và phụ gia khoáng

Vật liệu	Thành phần hóa học, %									
	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	CK	MKN
Xi măng	21,2	4,94	3,32	63,18	2,12	0,16	0,03	1,15	1,48	2,42
SF	92,3	1,91	0,86	0,32	0,85	0,38	1,22	0,3	0,18	1,68
FA	46,82	12,3	25,29	1,2	1,16	1,09	2,5	0,6	5,00	4,04
GGBFS	34,52	0,66	12,38	41,54	7,25	0,43	0,24	-	2,02	0,96

* Ghi chú: CK: là các chất khác (các chất không phân tích).

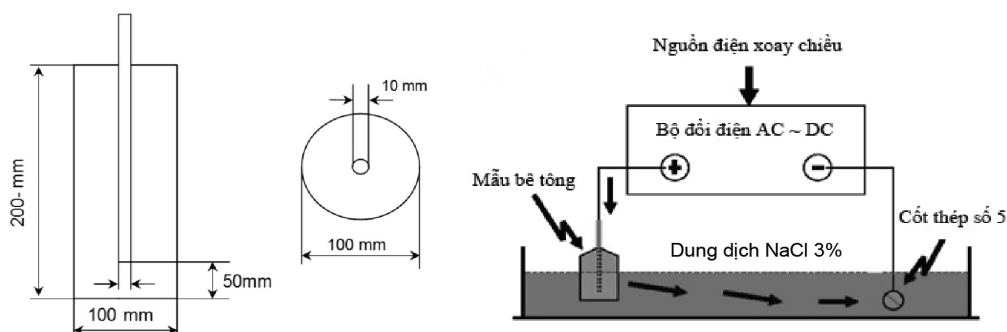
2.2 Phương pháp nghiên cứu

Thí nghiệm cường độ nén của bê tông: mẫu được đúc bằng khuôn có kích thước $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$, đến tuổi thí nghiệm tiến hành nén mẫu sử dụng các tấm ép có kích thước chiều dày 10mm, chiều rộng 40mm và chiều dài là 40mm.

Mức độ ăn mòn cốt thép trong BTCLSC được xác định bằng phương pháp gia tốc dòng điện ngoài để xác định độ bền xâm thực ion clo vào BTCLSC. Thí nghiệm được tiến hành theo phương pháp gia tốc - tiêu chuẩn NT Build 356 của Na Uy và được thực hiện tại Viện KHCN Xây dựng - Bộ Xây dựng. Cấu tạo và sơ đồ thí nghiệm được thể hiện ở Hình 3. Mẫu thí nghiệm được ngâm trong dung dịch NaCl 3% tới mức cách mặt trên của mẫu là 30mm. Một điện thế không đổi 5V được áp dụng qua mẫu, thanh thép là cực dương và tấm thép chống gỉ (cốt thép số 5) là cực âm (Hình 3). Sau khi bật dòng, khuếch tán clo được thu lại bằng cách đo dòng chạy qua mẫu. Dòng tăng lên do độ thấm clo và tăng khi ion clo tới thanh thép và thanh thép bắt đầu bị ăn mòn. Khi đó mẫu sẽ nứt hoặc quan sát thấy nước gỉ trên bề mặt, dọc thanh thép.

2.3 Cấp phối bê tông sử dụng trong nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, chất kết dính (CKD) bao gồm xi măng và SF (với cấp phối số 1 và 2), CKD bao gồm xi măng, SF và FA (với cấp phối số 3 và 4); CKD bao gồm xi măng GGBFS và SF (với cấp phối số



Hình 3. Cấu tạo và sơ đồ thí nghiệm mẫu theo phương pháp gia tốc

5 và 6). Trong đó, lượng SF, FA, GGBFS và SD được tính theo khối lượng của CKD. Cấp phối đối chứng 1 (ĐC1) CKD chỉ gồm xi măng để so sánh với các cấp phối sử dụng PGK. Tỷ lệ thành phần vật liệu sử dụng trong nghiên cứu được cho ở Bảng 3.

Bảng 3. Tỷ lệ thành phần vật liệu sử dụng trong nghiên cứu

STT	N/CKD	C/CKD	SF, %	GGBFS, %	FA, %	SD, %
CP1	0,16	1	10			1,0
CP2	0,16	1	20			1,1
CP3	0,16	1	10		10	0,9
CP4	0,16	1	10		20	0,8
CP5	0,16	1	10	20		0,75
CP6	0,16	1	10	40		0,55
ĐC1	0,16	1				1,3

Mẫu BTCLSC được so sánh với một cấp phối bê tông đối chứng 2 (ĐC2) được đưa ra trên cơ sở đề xuất theo tiêu chuẩn NT Build 356 của Na Uy, với khối lượng vật liệu được cho trong Bảng 4.

Bảng 4. Cấp phối bê tông đối chứng

Kí hiệu mẫu	Lượng vật liệu cho 1m ³ bê tông, kg				
	XM	Cát	Đá	Nước	Phụ gia hóa dẻo
ĐC2	350	740	1080	210	2,1



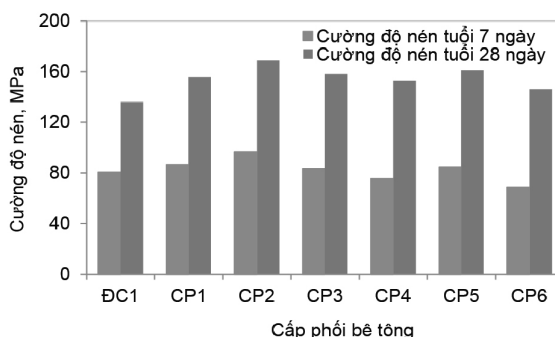
3. Kết quả thực nghiệm và bàn luận

3.1 Cường độ nén của bê tông chất lượng siêu cao

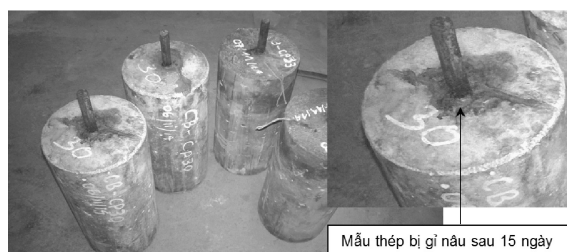
Ảnh hưởng của PGK đến cường độ nén của BTCLSC thể hiện ở Hình 4. Kết quả thí nghiệm cho thấy, việc sử dụng PGK SF cho cường độ nén của BTCLSC đạt trên 150 MPa, cường độ nén của bê tông khi sử dụng đến 20% cho cường độ nén cao hơn khoảng 8% so với mẫu bê tông sử dụng 10% SF. Với mẫu sử dụng FA đến 20% cường độ nén của BTCLSC đạt trên 150MPa. Trong khi đó với mẫu bê tông sử dụng 40%GGBFS cho cường độ nén đạt trên 145MPa.

3.2 Ảnh hưởng của PGK đến mức độ ăn mòn cốt thép trong BTCLSC

Kết quả thí nghiệm về mức độ ăn mòn cốt thép trong bê tông được xác định bằng phương pháp gia tốc dòng điện ngoài. Với phương pháp này các ion clo đã thâm nhập vào mẫu và tác động gây ra ăn mòn cốt thép, theo thời gian sẽ gây nứt mẫu bê tông. Mức độ ăn mòn cốt thép do sự xâm nhập của ion clo qua bê tông được biểu thị bằng thời gian thanh thép bắt đầu bị ăn mòn. Thời gian ăn mòn cốt thép trong mẫu càng lâu, bê tông có độ đặc chắc càng lớn, đồng thời khả năng ngăn cản sự xâm nhập của ion clo qua bê tông càng cao. Các kết quả về mức độ ăn mòn cốt thép trong BTCLSC sử dụng PGK SF, FA và GGBFS trong đó so sánh với mẫu BTCLSC không sử dụng PGK (ĐC1) và với mẫu BTT với M300 (ĐC2) được thể hiện ở Bảng 5. Hình ảnh về mẫu thép bị ăn mòn sau khi thí nghiệm theo phương pháp gia tốc được thể hiện ở Hình 5.



Hình 4. Cường độ nén của BTCLSC



Hình 5. Mẫu bê tông thí nghiệm ăn mòn theo phương pháp gia tốc

Bảng 5. Kết quả của quá trình đo gia tốc ăn mòn theo thời gian

Cấp phối	Sau 6 ngày	Sau 8 ngày	Sau 15 ngày	Sau 18 ngày	Sau 120 ngày	Sau 125 ngày	Sau 140 ngày	Sau 150 ngày
CP1	KHT	KHT	KHT	KHT	BĐG	GV	GN	
CP2	KHT	KHT	KHT	KHT	KHT	KHT	BĐG	GV
CP3	KHT	KHT	KHT	BĐG	GV	GV	GN	GN
CP4	KHT	KHT	KHT	KHT	BĐG	GV	GN	GN
CP5	KHT	KHT	KHT	KHT	KHT	BĐG	GV	GV
CP6	KHT	KHT	KHT	KHT	KHT	KHT	BĐG	GV
ĐC1	KHT	KHT	KHT	BĐG	GV	GN		
ĐC2	BĐG	GV	GN	-	-	-	-	-

* Ghi chú:

KHT: Mẫu chưa bị gỉ;

BĐG: Bắt đầu gỉ;

XHGV: Xuất hiện gỉ vàng;

GV: Cốt thép bị gỉ vàng;

GN: Cốt thép bị gỉ nâu.

Kết quả thí nghiệm cho thấy, với mẫu bê tông đối chứng M300 (ĐC2), mẫu bắt đầu gỉ trong 6 ngày thí nghiệm, mẫu bê tông bị nứt sau 15 ngày thí nghiệm. Trong khi đó với mẫu BTCLSC, thời gian bắt đầu xuất hiện gỉ nhẹ cốt thép màu vàng trong bê tông lớn hơn rất nhiều so với mẫu bê tông đối chứng (M300). Với mẫu sử dụng 100% xi măng (ĐC1) thì thời gian xuất hiện gỉ ở 105 ngày và mẫu bị phá hủy sau 125 ngày. Trong khi đó, cấp phối sử dụng 10%SF và 20%SF thì thời gian xuất hiện gỉ tương ứng đến 120 ngày và 140 ngày. Với mẫu BTCLSC sử dụng 10%FA và 20%FA thời gian bắt đầu gỉ tương ứng sau 110 ngày và 120 ngày và tiếp tục quan sát đến 140 ngày mẫu xuất hiện gỉ nâu và có hiện tượng nứt trên bề mặt mẫu. Với mẫu BTCLSC sử dụng 20%GGBFS và 40%GGBFS thời gian bắt đầu xuất hiện gỉ tương tự như với mẫu sử dụng 20%SF, thời gian bắt đầu xuất hiện gỉ sau khoảng 130 ngày và sau khoảng 150 ngày quan sát mẫu vẫn chưa xuất hiện hiện tượng nứt trên bề mặt mẫu. Qua kết quả thực nghiệm có thể thấy, khả năng chống thấm và chống sự xâm nhập của ion clo vào trong BTCLSC là rất tốt. So với mẫu bê tông thường thì mức độ ăn mòn cốt thép xảy ra nhanh hơn rất nhiều so với mẫu BTCLSC, đồng thời với mẫu BTCLSC khi sử dụng PGK với hàm lượng hợp lý cũng có mức độ ăn mòn cốt thép xảy ra chậm hơn so với mẫu không sử dụng PGK (ĐC1). Kết quả này cũng phù hợp với các kết luận của [8] về hiệu quả của phản ứng puzolanic đến độ đặc vi cấu trúc của bê tông, đặc biệt là với BTCLSC đã làm giảm độ rỗng, tăng khả năng chống thấm nước và ion clo của BTCLSC từ đó nâng cao độ bền tăng khả năng chống ăn mòn cốt thép cho bê tông. Khả năng hạn chế sự xâm nhập của các ion clo đạt được là do BTCLSC có tỷ lệ N/CKD rất thấp kết hợp với việc tối ưu hóa thành phần hạt đã làm tăng độ đặc vi cấu trúc cho BTCLSC. Bên cạnh đó, trong BTCLSC chiều dày vùng chuyển tiếp ITZ giữa xi măng và cát được cải thiện rất lớn. Trong nghiên cứu [10] tác giả đã cho thấy chiều dày của vùng ITZ trong BTCLSC được xác định là rất nhỏ so với bê tông thường. Điều này là do việc loại bỏ các hạt cốt liệu lớn kết quả là do sự giảm của hiệu ứng tường chắn thông thường xuất hiện xung quanh bề mặt của các hạt cốt liệu lớn. Kết quả quan sát cho thấy, có bề rộng khoảng 20 μ m xuất hiện giữa bề mặt cốt liệu và đá xi măng trong mẫu bê tông thường và sự bám dính ở một phần của bề mặt tiếp xúc trong bê tông thường, tuy nhiên trong BTCLSC có sự liên kết rất tốt trong vùng ITZ giữa đá xi măng và cốt liệu.

Như vậy, kết quả thí nghiệm đã thể hiện hiệu quả của phụ gia khoáng sẽ làm mịn hệ thống rỗng và độ rỗng của đá XM. Khi sử dụng PGK SF, hạt SF siêu mịn làm tăng độ đặc chắc cấu trúc của đá xi măng và làm giảm kích thước rỗng. Cũng lưu ý rằng phản ứng puzolanic của SF xảy ra sớm hơn và lượng CH trong đá XM giảm hơn so với mẫu đá XM trong bê tông thường (ĐC2) và mẫu BTCLSC không sử dụng PGK (ĐC1). Từ đó, cho thấy lượng sản phẩm C-S-H sinh ra từ phản ứng puzolanic giữa SF và CH là nhiều hơn, làm mịn cấu trúc rỗng và giảm thể tích các lỗ rỗng lớn của đá XM. Tính chất vùng chuyển tiếp (ITZ) giữa đá xi măng và cốt liệu ảnh hưởng lớn đến các tính chất của bê tông. Thông thường, vi cấu trúc của vùng ITZ bị ảnh hưởng của “hiệu ứng tường chắn” ở phần bề mặt xung quanh các hạt cốt liệu và chiều dày của vùng ITZ có thể đến khoảng 50 μ m đối với bê tông thường. Khi sử dụng PGK, đặc biệt là SF, thì vùng chuyển tiếp này được cải thiện đáng kể, bề rộng ITZ giảm, đồng thời đồng nhất và đặc chắc hơn [11].



4. Kết luận

Qua kết quả thí nghiệm đề tài rút ra một số kết luận như sau:

- Ở điều kiện dưỡng hộ tiêu chuẩn ($27 \pm 2^\circ\text{C}$), việc sử dụng PGK với SF có thể sử dụng đến 20%, FA sử dụng đến 20% và GGBFS sử dụng đến 40% trong việc chế tạo BTCLSC sẽ cho cường độ nén của bê tông ở 28 ngày đạt trên 120MPa.

- Với BTCLSC có sử dụng PGK sẽ có độ đặc chắc lớn, khả năng chống ăn mòn cốt thép trong BTCLSC lớn hơn rất nhiều so với mẫu BTCLSC không sử dụng PGK và mẫu bê tông thường. Với BTCLSC sử dụng SF đến 20%, sử dụng GGBFS đến 40% và FA với 20% sẽ cho mức độ ăn mòn cốt thép trong bê tông thấp hơn so với mẫu BTCLSC khi không sử dụng PGK./.

Tài liệu tham khảo

1. AFGC-SETRA (2002), *Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concretes*, Interim Recommendations, AFGC publication, Paris, France.
2. Richard P., Cheyrezy M.H. (1995), "Composition of reactive powder concretes", *Cement and Concrete Research*, 25(7), 1501-1511.
3. Schmidt M.S., Fehling E. (2005), "Ultra-High-Performance Concrete: Research, Development and Application in Europe", *ACI 228*, 51-78.
4. Voort T.V., Suleiman M., Sritharan S. (2008), *Design and Performance Verification of Ultra-High Performance Concrete Piles for Deep Foundations*, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University.
5. Schimdt M.S., Fehling E. (2005), "Ultra-High-Performance Concrete: Research, Development and Application in Europe", *Seventh International Symposium on the Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete*, Washington, D.C., USA, SP-228-4.
6. Cheyrezy M., Maret V., Frouin L. (1995), "Microstructural analysis of RPC (Reactive Powder Concrete)", *Cement and Concrete Research*, 25(7):1491-1500.
7. Richard P., Cheyrezy M.H. (1994), "Reactive Powder concretes with high ductility and 200-800 MPa compressive strength", in Mehta, P.K. (ed). *Concrete Technology: Past, Present and Future, Proceedings of the V. Mohan Malhotra Symposium*, ACI SP 144-24, 507-518.
8. Nguyễn Công Thắng (2016), *Nghiên cứu chế tạo bê tông chất lượng siêu cao sử dụng phụ gia khoáng và vật liệu sẵn có ở Việt Nam*, Luận án tiến sĩ, Đại học Xây dựng, Hà Nội.
9. Ramachandra V.S. (1995), *High-Volume Fly Ash and Slag concrete*, Noyes, 800-837.
10. Tuan N.V. (2011), *Rice Husk Ash as a Mineral Admixture for Ultra High Performance Concrete*, PhD thesis Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, the Netherlands, 165.
11. Maso J.C. (1996), "Interfacial Transition Zone in Concrete", *RILEM Reports*, Taylor & Francis.