

HIỆU QUẢ CỦA ĐÁ BAZAN VÀ CÁT NGHIỀN MỊN TRONG CƯỜNG ĐỘ BÊ TÔNG

Vũ Đình Đầu^{a,*}

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

Nhận ngày 11/10/2021, Sửa xong 04/11/2021, Chấp nhận đăng 05/11/2021

Tóm tắt

Cường độ của bê tông xi măng poóc lăng (BT) bị ảnh hưởng bởi các phụ gia khoáng thiên nhiên (PGKTN) như đá bazan và cát mịn. Mức độ ảnh hưởng phụ thuộc vào loại, hàm lượng và độ mịn của PGKTN. Trong bài báo này, hiệu quả của đá bazan và cát nghiền mịn trong cường độ nén của bê tông được đưa ra. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra hiệu quả chung của các đá bazan và cát nghiền mịn trong cường độ nén BT phụ thuộc vào hiệu quả lý học và hiệu quả hóa học của các phụ gia khoáng này. Hiệu quả chung, hiệu quả hoạt tính và hiệu quả trở của bazan và cát nghiền mịn đánh giá theo hàm lượng xi măng poóc lăng (PC) thực tế (lượng %PC còn lại sau khi đã thay thế từ 10-40%PC bằng PGKTN) phụ thuộc vào loại, độ mịn và hàm lượng của đá bazan và cát nghiền mịn, thời gian rắn chắc và cường độ BT. Khi thay thế 10-40%PC trong bê tông, hiệu quả của bazan và cát nghiền mịn trong cường độ nén là cao nhất với hàm lượng từ 10-20%: hiệu quả chung, hiệu quả trở và hiệu quả hoạt tính của 1%C hay BZ tương ứng đạt 0,64-0,96%, 0,52-0,63% và 0,63-0,65% tại tuổi 28 ngày.

Từ khoá: hiệu quả; phụ gia khoáng thiên nhiên; cát mịn; đá bazan; bê tông xi măng poóc lăng.

EFFICIENCY OF GROUND BASALT AND SAND IN COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETES

Abstract

Compressive strength of a Portland cement (PC) concrete is effected by the natural mineral admixtures such as ground basalt stone and fine sand. The influence level depends on the type, content and fineness of natural mineral admixtures. In this paper, the efficiency of the ground basalt stone and fine sand on the compressive strength of hardened concrete is introduced. The investigation results show that the efficiency of ground basalt stone and fine sand on the compressive strength of hardened concrete is depended on the chemical efficiency and the physical efficiency of the these mineral admixtures. The efficiency of ground basalt stone and fine sand evaluated according to the actual Portland cement (PC) content (the remaining %PC after the 10-40%PC in concrete has been replaced by the ground basalt stone and fine sand) depends on the type, fineness and content of ground basalt stone and fine sand, curing time and BT strength. When replacing 10-40% of PC, the efficiency in compressive strength of concretes is highest with the 10-20% content of ground basalt stone and fine sand: the general efficiency, inert and activity efficiency for the 1%content of these mineral admixtures were 0.64-0.96%, 0.52-0.63% and 0.63-0.65%, respectively, at the age of 28 days.

Keywords: efficiency; natural mineral admixtures; fine sand; basalt stone; Portland cement concrete.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2021-15\(6V\)-04](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2021-15(6V)-04) © 2021 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

1. Giới thiệu

Các loại phụ gia khoáng (PGK), đặc biệt là phụ gia khoáng thiên nhiên (PGKTN) đang được sử dụng trong xi măng và bê tông ở nước ta nhằm mục đích cải thiện tính chất cơ lý, tăng sản lượng và

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: dauvd@nuce.edu.vn (Đầu, V. Đ.)

đạt hiệu quả kinh tế cao. Phụ gia khoáng thiên nhiên có thành phần và bản chất khác nhau nên mức độ ảnh hưởng đến đặc tính cường độ của bê tông khác nhau. PGKTN thường có hoạt tính thấp nhưng trữ lượng lớn, chất lượng ổn định và giá thành thấp hơn so với phụ gia khoáng nhân tạo. Với những ưu điểm nổi trội về hiệu quả kinh tế và kỹ thuật, PGKTN ngày càng được sử dụng rộng rãi và đem lại hiệu quả kinh tế cao.

Vai trò và ảnh hưởng của PGK trong xi măng và bê tông đã được nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước nghiên cứu. Theo một số nghiên cứu [1–13], PGK nghiền mịn có ảnh hưởng đến các tính chất của xi măng và bê tông là do hiệu ứng hóa học và hiệu ứng lý học. Hiệu ứng hóa học của PGK liên quan chủ yếu đến khả năng phản ứng hóa học của các thành phần hoạt tính trong PGK với $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (do thủy hóa các khoáng xi măng tạo ra), còn hiệu ứng lý học chủ yếu được gây ra do thành phần trơ của PGK. Mức độ ảnh hưởng của PGK đến đặc tính cơ lý của bê tông phụ thuộc vào nguồn gốc, thành phần và độ mịn của chúng. PGKTN đã được nghiên cứu và sử dụng làm phụ gia khoáng trong xi măng và bê tông [10–14]. Sử dụng PGK trực tiếp trong bê tông có nhiều ưu điểm như dễ dàng thay đổi hàm lượng sử dụng, đa dạng hóa sản phẩm và đạt hiệu quả kinh tế cao hơn. Hiệu quả của một số PGK thay thế xi măng trong vữa và BT đã được nghiên cứu [15–19]. Hiệu quả của PGK sử dụng trong vữa hay BT có thể được đánh giá qua hiệu quả chung hay cả hiệu quả do hiệu quả trơ và hiệu quả hoạt tính. Phụ gia khoáng trơ được sử dụng trong nghiên cứu để thay thế cho thành phần trơ của PGK là BaSO_4 .

Nghiên cứu này khảo sát ảnh hưởng của hai loại PGKTN phổ biến rộng rãi ở nước ta là đá bazan và cát nghiền với độ mịn khác nhau đến đặc tính cường độ nén của bê tông sử dụng xi măng poóc lăng (BT) có cường độ 30 và 50 MPa. Hiệu quả chung của PGK do hiệu quả hóa học và hiệu quả lý học được đánh giá dựa trên cơ sở ảnh hưởng của phụ gia khoáng trơ là BaSO_4 , cát và đá bazan nghiền mịn đến cường độ nén của BT. Tính toán mức độ hiệu quả do thành phần trơ và thành phần hoạt tính của PGK dựa trên cường độ của BT cường độ 30 và 50 MPa sử dụng PGK rắn chắc tại tuổi 3, 7 và 28 ngày theo hàm lượng PC thực tế (là hàm lượng PC còn lại trong BT sau khi đã thay thế một phần bằng PGK). Điều này giúp cho việc hiểu rõ hơn vai trò của hiệu ứng hóa học và hiệu ứng vật lý của PGK khi lựa chọn loại và công nghệ chế tạo chúng.

2. Vật liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu sử dụng

Xi măng poóc lăng Bút Sơn được sử dụng trong nghiên cứu đạt yêu cầu PC40 có cường độ nén đạt 43,8 MPa tại tuổi 28 ngày. Phụ gia khoáng tự nhiên là đá bazan (BZ) và cát mịn (C) đã được sử dụng trong nghiên cứu. Cát sử dụng là cát mịn lấy từ cảng Phà Đen–Sông Hồng có mô đun độ lớn là 1,28 được sấy khô và nghiền trong máy nghiền bi rung để có độ mịn khác nhau là C1 và C2. Đá bazan lấy từ Hà Nam được đập nhỏ, phơi khô, nghiền với 2 độ mịn là BZ1, BZ2. Phụ gia khoáng trơ Barít BaSO_4 (Ba) sử dụng gồm độ nghiền mịn thấp (Ba1) và độ mịn cao (Ba2). Xác định các đặc tính kỹ thuật của PGK được đưa ra trong Bảng 1.

Bảng 1. Đặc tính của PGK nghiền mịn

STT	Đặc tính	Phương pháp thử	Đơn vị	C1	C2	BZ1	BZ2	Ba1	Ba2
1	Độ nghiền mịn	TCVN 4030:2003	%	6,1	1,5	5,70	1,8	5,65	1,86
2	Khối lượng riêng	TCVN 4030:2003	g/cm^3	2,63	2,63	2,79	2,79	3,78	3,78
3	Khối lượng thể tích xấp	TCVN 4030:2003	kg/m^3	906	798	924	851	1750	1580
4	Chỉ số hoạt tính với PC	TCVN 6882:2001	%	76,5	81,4	78,4	82,6	73,8	77,5

Cốt liệu sử dụng là cát vàng sông Lô và đá dăm 5-10 mm được lấy từ trạm trộn bê tông Transmeco. Đặc tính cơ lý của đá dăm và cát vàng đưa ra trong Bảng 2.

Bảng 2. Các chỉ tiêu cơ lý của đá dăm và cát vàng

STT	Chỉ tiêu	Phương pháp thử	Đơn vị	Cát vàng	Đá dăm 5-10 mm
1	Khối lượng riêng	TCVN 7572-4:2006	g/cm ³	2,63	2,703
2	Khối lượng thể tích xốp	TCVN 7572-6:2006	kg/m ³	1480	1435
3	Độ rỗng xốp	TCVN 7572-6:2006	%	43,73	46,91
4	Mô đun độ lớn	TCVN 7572-2:2006		2,25	
5	Độ nén đập	TCVN 7572-2:2006	%		11,2

Nước sử dụng thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 4506:2012 đối với nước trộn vữa và bê tông. Phụ gia siêu dẻo sử dụng là phụ gia siêu dẻo gốc polycarboxylate của hãng BIFI Việt Nam có tên thương phẩm là MC-PowerFlow 5313 là dạng lỏng, màu cam có khối lượng riêng: 1,06 g/cm³, hàm lượng sử dụng: 0,6-1,2% và có khả năng giảm nước đến 25%.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Các đặc tính của nguyên vật liệu sử dụng và cường độ nén bê tông xác định theo tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành. Hiệu quả do thành phần hóa học (H_{hh}) và do thành phần tro (H_{tro}) do phân tán và làm đầy của PGKTN trong cường độ BT được xác định thông qua hiệu quả chung do PGKTN sử dụng và phụ gia khoáng tro là BaSO₄ trong mỗi cấp phối với cùng tỷ lệ. BaSO₄ được sử dụng để thay thế thành phần tro trong PGKTN nghiên cứu. Tính toán hiệu quả của PGKTN trong cường độ của các cấp phối BT nghiên cứu theo hàm lượng PC thực tế thực hiện như sau:

- Hiệu quả chung: $H_{C-pgk-i} = R_{pgk-i} - R_{pc-i}$.
- Hiệu quả tro: $H_{tro-pgk-i} = R_{tro-pgk-i} - R_{pc-i}$.
- Hiệu quả hoạt tính: $H_{ht-pgk-i} = H_{C-pgk-i} - H_{tro-pgk-i}$.

trong đó R_{pc-i} là cường độ của mẫu BT tính toán theo hàm lượng %PC thực tế tại tuổi rắn chắc i (ngày) bằng 100%; R_{pgk-i} , R_{tro-i} là cường độ (%) của mẫu BT có PGKTN và mẫu có Ba (được coi như thành phần tro của PGKTN) tương ứng với cùng mức độ thay thế PC tính theo hàm lượng %PC thực tế tại cùng tuổi rắn chắc i (ngày); $H_{C-pgk-i}$, $H_{tro-pgk-i}$, $H_{ht-pgk-i}$ là mức độ hiệu quả chung, hiệu quả do thành phần tro và hoạt tính của PGKTN sử dụng trong BT so với mẫu BT có hàm lượng %PC thực tế tại tuổi rắn chắc i (ngày).

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Lựa chọn thành phần cấp phối BT nghiên cứu

Hai cấp phối BT cường độ 30 và 50 MPa tính toán theo phương pháp Bôlômay-Skramtaep được lựa chọn làm cấp phối gốc (đối chứng). Thành phần cấp phối BT (kg/m³) đạt độ sụt yêu cầu từ 4-6 cm đưa ra ở Bảng 3.

Bảng 3. Thành phần cấp phối bê tông sử dụng cho nghiên cứu

TT	Cấp phối BT	X	Đ	C	N	SD
1	B1 (30 MPa)	343	1208	622	220	
2	B2 (50 MPa)	455	990	773	191	4,55

Các cấp phối gốc được thay thế một lượng nhất định PC bằng PGKTN và giữ nguyên các thành phần khác. Tỷ lệ PGK thay thế PC trong các cấp phối gốc (B1 và B2) là 10, 20, 30 và 40% (theo khối lượng). Kí hiệu các cấp phối BT nghiên cứu như đưa ra trong Bảng 4 đến Bảng 6.

3.2. Ảnh hưởng của C và BZ nghiền mịn đến cường độ nén của BT

Xi măng poóc lăng trong các cấp phối BT gốc (mẫu BT đối chứng) B1 và B2 được thay thế bởi BaSO₄ (Ba là phụ gia khoáng trợ), BZ và C nghiền mịn với hàm lượng 10, 20, 30, 40% (theo trọng lượng). Cường độ BT của các cấp phối BT nghiên cứu sử dụng Ba, C và BZ xác định theo TCVN 3118:1993 tại các tuổi rắn chắc đưa ra ở Bảng 4 đến Bảng 6.

Bảng 4. Cường độ nén của BT có Ba₁ và Ba₂

STT	Kí hiệu mẫu	Ba	Cường độ nén (MPa)		
			3 ngày	7 ngày	28 ngày
1	B1	0	22,7	36,3	40,5
2	B1Ba1-10	10%Ba ₁	18,6	32,4	37,2
3	B1Ba1-20	20%Ba ₁	17,4	30,5	34,1
4	B1Ba1-30	30%Ba ₁	15,4	24,8	28,5
5	B1Ba1-40	40%Ba ₁	12,5	20,5	24,8
6	B1Ba2-10	10%Ba ₂	19,6	33,0	37,7
7	B1Ba2-20	20%Ba ₂	19,0	31,8	34,8
8	B1Ba2-30	30%Ba ₂	16,4	27,2	30,6
9	B1Ba2-40	40%Ba ₂	13,8	22,2	27,9
10	B2	0	32,1	45,5	54,6
11	B2Ba1-10	10%Ba ₁	29,6	38,6	49,7
12	B2Ba1-20	20%Ba ₁	28,6	37,9	48,2
13	B2Ba1-30	30%Ba ₁	25,2	34,1	43,6
14	B2Ba1-40	40%Ba ₁	20,1	27,5	37,3
15	B2Ba2-10	10%Ba ₂	30,4	40,4	50,5
16	B2Ba2-20	20%Ba ₂	29,9	38,6	49,2
17	B2Ba2-30	30%Ba ₂	26,0	36,1	44,3
18	B2Ba2-40	40%Ba ₂	22,7	29,8	38,2

Kết quả xác định cường độ nén của BT có các PGK thay thế 10-40%PC tại tuổi 3, 7, 28 ngày (Bảng 4 đến Bảng 6) cho thấy: các PGK đã làm giảm cường độ nén so với mẫu BT chỉ có PC (cấp phối đối chứng). Hàm lượng các PGK thay thế PC càng cao, cường độ của BT giảm càng lớn. Trong 3 loại PGK sử dụng, Ba làm giảm cường độ của BT gốc lớn nhất, C và BZ có mức độ giảm khác nhau không nhiều. Điều này là do Ba là phụ gia khoáng trợ chỉ có hiệu quả do sự phân tán và làm đầy trong BT nên mức độ hiệu quả thấp hơn so với C và BZ là phụ gia khoáng hoạt tính. Tăng thời gian rắn chắc, cường độ của các mẫu BT có PGKTN tăng lên (nhưng vẫn thấp hơn mẫu đối chứng) và mẫu BT có BZ có xu hướng cao hơn tại tuổi 28 ngày. PGK sử dụng có độ mịn cao (Ba₂, C₂ và BZ₂) có mức giảm cường độ thấp hơn các mẫu độ mịn thấp (Ba₁, C₁ và BZ₁) tại cùng mức độ thay thế và tuổi rắn chắc. PGK có xu hướng làm giảm cường độ BT đối chứng thấp hơn trong BT có cường độ cao hơn (B2).

Bảng 5. Cường độ nén của BT có C₁ và C₂

STT	Kí hiệu	C %	Cường độ nén (MPa)		
			3 ngày	7 ngày	28 ngày
1	B1	0	22,7	36,3	40,5
2	B1C1-10	10%C ₁	18,9	33,9	38,4
3	B1C1-20	20%C ₁	17,3	31,8	35,7
4	B1C1-30	30%C ₁	15,3	26,2	31,2
5	B1C1-40	40%C ₁	12,4	20,6	27,5
6	B1C2-10	10%C ₂	19,4	35,2	39,3
7	B1C2-20	20%C ₂	18,9	33,2	37,4
8	B1C2-30	30%C ₂	16,4	28,9	33,3
9	B1C2-40	40%C ₂	13,6	23,6	28,9
10	B2	0	32,1	45,5	54,6
11	B2C1-10	10%C ₁	30,1	41,8	52,3
12	B2C1-20	20%C ₁	28,7	40,3	51,8
13	B2C1-30	30%C ₁	25,0	37,4	46,0
14	B2C1-40	40%C ₁	19,9	31,9	41,1
15	B2C2-10	10%C ₂	30,3	43,5	53,7
16	B2C2-20	20%C ₂	29,8	42,9	52,1
17	B2C2-30	30%C ₂	25,2	40,1	48,7
18	B2C2-40	40%C ₂	22,5	33,5	42,5

Bảng 6. Cường độ nén của BT có BZ₁ và BZ₂

STT	Kí hiệu mẫu	BZ	Cường độ nén (MPa) tuổi		
			3 ngày	7 ngày	28 ngày
1	B1	0	22,7	36,3	40,5
2	B1BZ1-10	10%BZ ₁	18,3	33,4	38,8
3	B1BZ1-20	20%BZ ₁	16,6	31,7	36,5
4	B1BZ1-30	30%BZ ₁	15,6	25,9	31,9
5	B1BZ1-40	40%BZ ₁	11,9	20,7	27,4
6	B1BZ2-10	10%BZ ₂	19,8	34,2	39,8
7	B1BZ2-20	20%BZ ₂	18,2	32,5	38,0
8	B1BZ2-30	30%BZ ₂	15,7	27,3	33,9
9	B1BZ2-40	40%BZ ₂	13,7	22,8	29,4
10	B2	0	32,1	45,5	54,6
11	B2BZ1-10	10%BZ ₁	29,5	41,8	52,7
12	B2BZ1-20	20%BZ ₁	28,4	41,0	52,1
13	B2BZ1-30	30%BZ ₁	24,7	37,6	47,2
14	B2BZ1-40	40%BZ ₁	19,8	29,7	42,4
15	B2BZ2-10	10%BZ ₂	30,0	42,8	53,4
16	B2BZ2-20	20%BZ ₂	29,6	41,9	52,1
17	B2BZ2-30	30%BZ ₂	25,9	39,5	49,7
18	B2BZ2-40	40%BZ ₂	22,6	32,3	43,5

Kết quả cường độ của các mẫu BT được thay thế 10-40%PC trong BT nghiên cứu (Bảng 5 và Bảng 6) cho thấy mức độ ảnh hưởng của loại, hàm lượng và độ mịn của C và BZ sử dụng đến cường

độ của BT đối chứng. Điều đó chỉ cho thấy mức độ hiệu quả chung của từng loại PGKTN tương ứng với hàm lượng thay thế %PC nhất định trong cường độ nén của BT nghiên cứu so với mẫu đối chứng (có 100%PC). Theo các kết quả nghiên cứu, hiệu quả chung của PGK trong cường độ BT là do kết hợp giữa hiệu quả hoạt tính và hiệu quả trợ của PGK. Hiệu quả chung này đánh giá khả năng bù đắp sự thiếu hụt cường độ BT vì giảm hàm lượng PC do thay thế bằng PGK. Vì vậy các kết quả trên chỉ cho thấy loại PGK đó làm tăng hay giảm cường độ BT ở hàm lượng thay thế nhất định mà không chỉ ra mức độ cụ thể của PGK là bao nhiêu và thay đổi như thế nào khi thay đổi hàm lượng sử dụng. Điều này làm hạn chế hiểu biết về vai trò và mức độ hiệu quả của PGK trong BT khi thay thế %PC nhất định. Mặt khác hiệu quả chung là kết quả tổng hợp của hiệu quả trợ và hiệu quả hoạt tính. Vì thế cần làm rõ vai trò của hiệu quả trợ và hiệu quả hoạt tính của PGK khi thay đổi hàm lượng sử dụng và thời gian rắn chắc của BT theo hàm lượng %PC thực tế có trong BT để hiểu rõ về hiệu quả của PGK.

3.3. Nghiên cứu hiệu quả của PGKTN trong cường độ của BT

Để thấy rõ mức độ ảnh hưởng của PGK đến đặc tính cường độ BT, hiệu quả của PGK được đánh giá theo hàm lượng PC thực tế còn lại sau khi đã thay thế một phần PC bằng PGK (sau đây gọi tắt là hàm lượng PC thực tế).

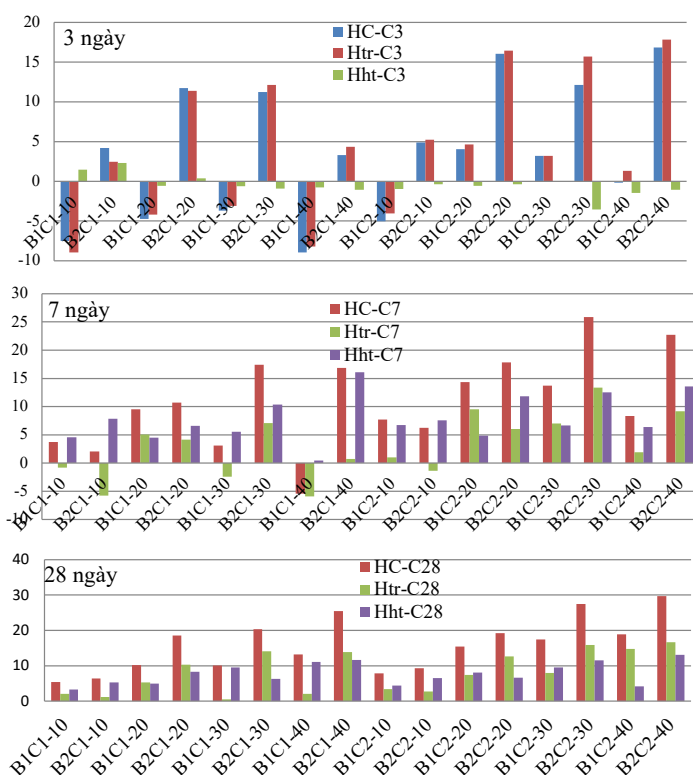
a. Hiệu quả của C trong cường độ của BT (theo hàm lượng PC thực tế)

Hiệu quả chung của C (H_{C-C}), do thành phần trợ (H_{tr-C}) và do thành phần hoạt tính (H_{ht-C}) tính toán theo hàm lượng PC thực tế có trong BT tại tuổi rắn chắc (theo số liệu ở Bảng 4 và Bảng 5) đưa ra ở Bảng 7.

Bảng 7. Hiệu quả của C tính theo %PC thực tế trong BT

STT	Kí hiệu mẫu	Hiệu quả (%) tuổi 3 ngày do			Hiệu quả (%) tuổi 7 ngày do			Hiệu quả (%) tuổi 28 ngày do		
		H_{C-C3}	H_{tr-C3}	H_{ht-C3}	H_{C-C7}	H_{tr-C7}	H_{ht-C7}	H_{C-C28}	H_{tr-C28}	H_{ht-C28}
1	B1C1-10	-7,49	-8,96	1,47	3,76	-0,83	4,59	5,34	2,06	3,28
	B2C1-10	4,19	2,46	2,33	2,08	-5,74	7,82	6,43	1,14	5,29
2	B1C1-20	-4,74	-4,19	-0,55	9,50	5,03	4,47	10,19	5,25	4,94
	B2C1-20	11,76	11,37	0,39	10,71	4,12	6,59	18,59	10,35	8,24
3	B1C1-30	-3,71	-3,08	-0,63	3,11	-2,40	5,51	10,05	0,53	9,52
	B2C1-30	11,26	12,15	-0,89	17,42	7,07	10,35	20,35	14,07	6,28
4	B1C1-40	-8,96	-8,22	-0,74	-5,42	-5,88	0,46	13,17	2,06	11,11
	B2C1-40	3,32	4,36	-1,04	16,85	0,73	16,12	25,46	13,86	11,60
5	B1C2-10	-5,04	-4,06	-0,98	7,73	1,01	6,72	7,82	3,43	4,39
	B2C2-10	4,88	5,23	-0,35	6,23	-1,34	7,57	9,28	2,77	6,51
6	B1C2-20	4,07	4,62	-0,55	14,33	9,50	4,83	15,43	7,41	8,02
	B2C2-20	16,04	16,43	-0,39	17,86	6,04	11,82	19,27	12,64	6,63
7	B1C2-30	3,21	3,21	0,00	13,73	7,04	6,69	17,46	7,94	9,52
	B2C2-30	12,15	15,71	-3,56	25,90	13,34	12,56	27,42	15,91	11,51
8	B1C2-40	-0,15	1,32	-1,47	8,35	1,93	6,41	18,93	14,81	4,12
	B2C2-40	16,82	17,86	-1,04	22,71	9,16	13,55	29,73	16,61	13,12

Tính toán hiệu quả của C1 và C2 với tỉ lệ thay thế PC từ 10-40% theo hàm lượng %PC thực tế trong BT (Bảng 7) cho thấy: Tăng hàm lượng C trong BT, hiệu quả của C trong cường độ của BT đều tăng lên rõ ràng. Hiệu quả chung, hiệu quả trở và hoạt tính của C trong cường độ BT đã xuất hiện giá trị dương ở hầu hết mẫu B1 và B2 có mức độ thay thế PC 20% tại tuổi 7 và 28 ngày và mức độ hiệu quả tăng lên theo thời gian rắn chắc. Mẫu BT có C2 cho thấy hiệu quả cao hơn so với có C1 và hiệu quả chung và hiệu quả trở chỉ C1 có giá trị âm tại tuổi 7 ngày. Hiệu quả trở của C trong cường độ BT tăng lên khi tăng hàm lượng thay thế PC, nhưng C2 tăng mạnh hơn C1 tại các tuổi rắn chắc. Hiệu quả của C ở tuổi 3 thể hiện không rõ ràng và chủ yếu giá trị âm với các tỷ lệ thay thế PC của C1 và C2. Tăng thời gian rắn chắc, hiệu quả chung, hiệu quả hoạt tính và hiệu quả trở của C có xu hướng tăng lên, nhưng C2 rõ ràng hơn C1. Tăng hàm lượng C thay thế PC trong BT, hiệu quả của C có xu hướng tăng lên theo thời gian rắn chắc, nhưng hiệu quả do hoạt tính tăng lên mạnh tại tuổi 7 ngày sau đó chậm lại và hiệu quả của C trong B2 có hướng lớn hơn trong B1. Khi tăng thời gian rắn chắc của BT, hiệu quả chung của C2 lớn hơn so với C1 khi thay thế cùng hàm lượng PC trong BT. Điều này là do sự tăng hiệu quả trở và hiệu quả hoạt tính khi tăng độ mịn của C. Mức độ hiệu quả của C tại tuổi 3, 7 và 28 thể hiện ở Hình 1.



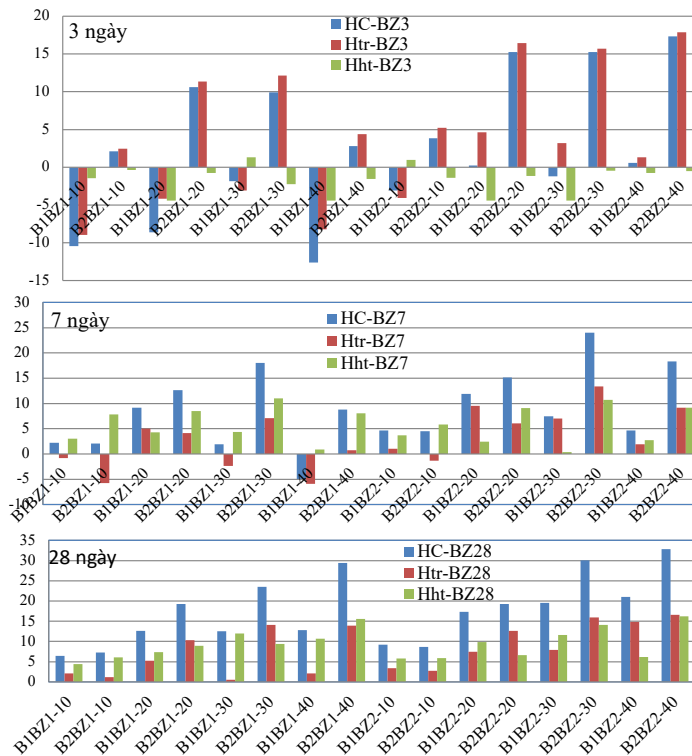
Hình 1. Hiệu quả của C trong cường độ BT theo hàm lượng %PC thực tế tại 3, 7 và 28 ngày

b. Hiệu quả của BZ trong cường độ của BT (theo hàm lượng PC thực tế)

Tính toán hiệu quả chung (H_{C-BZ}), hiệu quả do chất trở (H_{tr-BZ}) và hiệu quả hoạt tính (H_{ht-BZ}) của BZ nghiền trong cường độ nén của B1 và B2 theo hàm lượng %PC thực tế tại các tuổi rắn chắc (theo kết quả trong Bảng 4 và 6) đưa ra ở Bảng 8. Hiệu quả chung, hiệu quả trở và hoạt tính của BZ trong BT tại tuổi 3, 7 và 28 ngày được minh họa ở Hình 2.

Bảng 8. Hiệu quả của BZ tính theo %PC thực tế có trong BT

STT	Kí hiệu mẫu	Hiệu quả (%) tuổi 3 ngày do			Hiệu quả (%) tuổi 7 ngày do			Hiệu quả (%) tuổi 28 ngày do		
		H _C -BZ3	H _{tr} -BZ3	H _{ht} -BZ3	H _C -BZ7	H _{tr} -BZ7	H _{ht} -BZ7	H _C -BZ28	H _{tr} -BZ28	H _{ht} -BZ28
1	B1BZ1-10	-10,43	-8,96	-1,47	2,23	-0,83	3,06	6,44	2,06	4,38
	B2BZ1-10	2,11	2,46	-0,35	2,08	-5,74	7,82	7,24	1,14	6,10
2	B1BZ1-20	-8,59	-4,19	-4,40	9,16	5,03	4,31	12,65	5,25	7,40
	B2BZ1-20	10,59	11,37	-0,78	12,64	4,12	8,52	19,28	10,35	8,93
3	B1BZ1-30	-1,83	-3,08	1,31	1,93	-2,40	4,33	12,52	0,53	11,99
	B2BZ1-30	9,92	12,15	-2,23	18,05	7,07	10,98	23,49	14,07	9,42
4	B1BZ1-40	-12,63	-8,22	-4,41	-4,96	-588	0,92	12,76	2,06	10,70
	B2BZ1-40	2,80	4,36	-1,56	8,79	0,73	8,06	29,42	13,86	15,56
5	B1BZ2-10	-3,09	-4,06	0,97	4,68	1,01	3,67	9,19	3,43	5,76
	B2BZ2-10	3,84	5,23	-1,39	4,52	-1,34	5,86	8,67	2,77	5,90
6	B1BZ2-20	0,23	4,62	-4,39	11,91	9,50	2,41	17,28	7,41	9,87
	B2BZ2-20	15,26	16,43	-1,17	15,11	6,04	9,07	19,28	12,64	6,64
7	B1BZ2-30	-1,19	3,21	-4,40	7,44	7,04	0,40	19,57	7,94	11,63
	B2BZ2-30	15,26	15,71	-0,45	24,02	13,34	10,68	30,04	15,91	14,13
8	B1BZ2-40	0,58	1,32	-0,74	4,68	1,93	2,75	20,99	14,81	6,18
	B2BZ2-40	17,34	17,86	-0,52	18,32	9,16	9,16	32,78	16,61	16,17



Hình 2. Hiệu quả của BZ trong cường độ B1 và B2 đánh giá theo hàm lượng %PC thực tế tại 3, 7 và 28 ngày

Đánh giá hiệu quả của BZ theo hàm lượng %PC thực tế trong BT (Bảng 8) cho thấy: Hiệu quả của BZ khi thay thế PC trong cường độ BT hầu hết có giá trị âm và không ổn định ở tuổi 3, nhưng đến 7 và 28 ngày đã có giá trị dương. Tăng hàm lượng BZ trong BT, hiệu quả chung và hiệu quả trở tăng lên mạnh. Hiệu quả trở của BZ tăng lên khi tăng hàm lượng và độ mịn của BZ sử dụng đã cho thấy vai trò phân tán và làm đầy của BZ đã làm tăng mức phân tán và độ thủy hóa của xi măng. Hiệu quả hoạt tính của BZ hầu như âm và không ổn định ở 3 ngày tuổi, nhưng hầu hết có giá trị dương tại tuổi 7 và 28 ngày đã cho thấy khả năng tương tác hóa học của các thành phần hoạt tính của BZ chậm. Tăng thời gian rắn chắc của BT, hiệu quả của BZ tăng lên với tốc độ khác nhau. Mức độ hiệu quả có xu hướng tăng lên rõ ràng hơn ở tuổi dài ngày khi tăng hàm lượng BZ trong BT. Tăng hàm lượng BZ thay thế PC, hiệu quả chung, hiệu quả hoạt tính và hiệu quả trở đều có xu hướng tăng lên nhưng không tỷ lệ với mức tăng BZ. Hiệu quả trong cường độ BT của BZ tăng lên rõ ràng hơn khi tăng hàm lượng BZ2 tại các tuổi rắn chắc. Tại các tuổi và các mức thay thế PC trong BT, mức độ hiệu quả của BZ trong B2 có hướng lớn hơn trong B1. Hiệu quả của BZ1 và BZ2 thay thế %PC khác nhau trong B1 và B2 tại tuổi rắn chắc khác nhau được minh họa như ở Hình 2.

3.4. Hiệu quả của PGK trong cường độ nén BT khi thay thế %PC khác nhau

Như các kết quả nghiên cứu đã đưa ra ở trên, khi sử dụng C và BZ nghiền mịn thay thế PC trong BT với hàm lượng khác nhau đã đem lại hiệu quả khác nhau. Mức độ hiệu quả của C và BZ trong cường độ nén BT theo hàm lượng %PC thực tế phụ thuộc vào mức độ thay thế PC, độ mịn của PGKTN và thời gian rắn chắc của BT. C và BZ thay thế 10-20%PC trong BT có mức độ hiệu quả cao, khi tăng C hay BZ > 20% thì mức độ hiệu quả giảm đi. Điều này cho thấy hiệu quả chung của C và BZ khi thay thế PC không đủ bù đắp mức độ giảm cường độ của BT do sự giảm hàm lượng PC khi sử dụng các PGK này. Vì thế khi thay thế PC càng lớn, mức độ giảm cường độ BT càng lớn.

Bảng 9. Hiệu quả của C tính cho 1%C theo hàm lượng PC thực tế có trong BT

STT	Kí hiệu mẫu	Hiệu quả (%) tuổi 3 ngày do			Hiệu quả (%) tuổi 7 ngày do			Hiệu quả (%) tuổi 28 ngày do		
		H' _{C-C3}	H' _{tr-C3}	H' _{ht-C3}	H' _{C-C7}	H' _{tr-C7}	H' _{ht-C7}	H' _{C-C28}	H' _{tr-C28}	H' _{ht-C28}
1	B1C1-10	-0,75	-0,89	0,14	0,38	-0,08	0,46	0,53	0,21	0,32
	B2C1-10	0,42	0,25	0,17	0,21	-0,57	0,78	0,64	0,11	0,53
2	B1C1-20	-0,23	-0,21	-0,02	0,48	0,26	0,22	0,51	0,26	0,25
	B2C1-20	0,59	0,57	0,02	0,54	0,21	0,33	0,93	0,52	0,41
3	B1C1-30	-0,12	-0,10	-0,02	0,10	-0,08	0,18	0,34	0,02	0,32
	B2C1-30	0,38	0,40	-0,02	0,58	0,24	0,34	0,68	0,47	0,21
4	B1C1-40	-0,22	-0,20	-0,02	-0,14	-0,15	0,01	0,33	0,05	0,28
	B2C1-40	0,08	0,11	-0,03	0,42	0,02	0,40	0,64	0,35	0,29
5	B1C2-10	-0,50	-0,41	-0,09	0,77	0,10	0,67	0,78	0,34	0,44
	B2C2-10	0,49	0,52	-0,04	0,62	-0,13	0,75	0,93	0,28	0,65
6	B1C2-20	0,20	0,23	-0,03	0,72	0,48	0,24	0,77	0,37	0,40
	B2C2-20	0,80	0,82	-0,02	0,89	0,30	0,59	0,96	0,63	0,33
7	B1C2-30	0,11	0,11	0,00	0,46	0,23	0,23	0,58	0,26	0,32
	B2C2-30	0,41	0,52	-0,11	0,86	0,44	0,42	0,91	0,53	0,38
8	B1C2-40	0,00	0,03	-0,03	0,21	0,05	0,16	0,47	0,37	0,10
	B2C2-40	0,42	0,44	-0,02	0,57	0,23	0,34	0,74	0,42	0,32

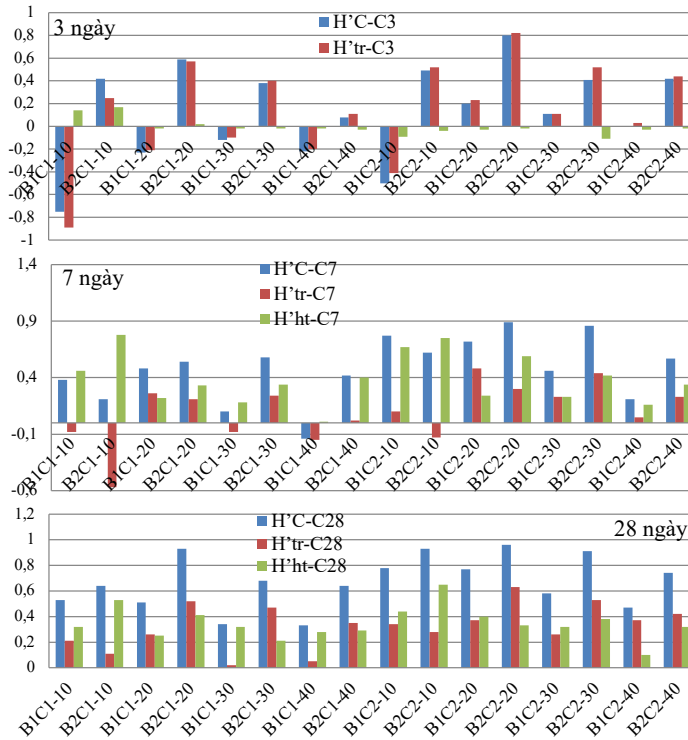
Đánh giá hiệu quả chung, hiệu quả trở và hoạt tính cho thấy ảnh hưởng của hàm lượng PGKTN thay thế PC trong BT. Để thấy rõ hơn vai trò và mức độ ảnh hưởng của các PGK này, mức độ hiệu quả do 1%PGK thay thế PC đã được đưa ra. Dựa vào kết quả trong Bảng 6 và 7, tính toán hiệu quả chung ($H'_{C-pgk-i}$), hiệu quả trở ($H'_{tr-pgk-i}$) và hiệu quả hoạt tính ($H'_{ht-pgk-i}$) tính cho 1%PGKTN theo hàm lượng PC thực tế có trong BT đưa ra trong Bảng 9 và Bảng 10. Hiệu quả của C và BZ theo thời gian rắn chắc được minh họa ở Hình 3 và Hình 4.

Bảng 10. Hiệu quả của BZ tính cho 1%BZ theo hàm lượng %PC thực tế có trong BT

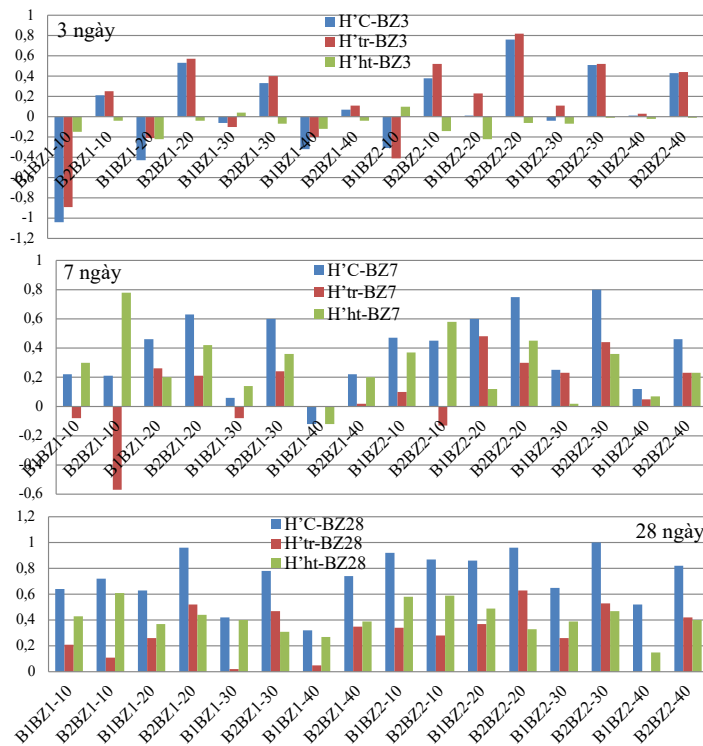
STT	Kí hiệu mẫu	Hiệu quả (%) tuổi 3 ngày do			Hiệu quả (%) tuổi 7 ngày do			Hiệu quả (%) tuổi 28 ngày do		
		H'_{C-BZ3}	H'_{tr-BZ3}	H'_{ht-BZ3}	H'_{C-BZ7}	H'_{tr-BZ7}	H'_{ht-BZ7}	H'_{C-BZ28}	$H'_{tr-BZ28}$	$H'_{ht-BZ28}$
1	B1BZ1-10	-1,04	-0,89	-0,15	0,22	-0,08	0,30	0,64	0,21	0,43
	B2BZ1-10	0,21	0,25	-0,04	0,21	-0,57	0,78	0,72	0,11	0,61
2	B1BZ1-20	-0,43	-0,21	-0,22	0,46	0,26	0,20	0,63	0,26	0,37
	B2BZ1-20	0,53	0,57	-0,04	0,63	0,21	0,42	0,96	0,52	0,44
3	B1BZ1-30	-0,06	-0,10	0,04	0,06	-0,08	0,14	0,42	0,02	0,40
	B2BZ1-30	0,33	0,40	-0,07	0,60	0,24	0,36	0,78	0,47	0,31
4	B1BZ1-40	-0,32	-0,20	-0,12	-0,12	0,00	-0,12	0,32	0,05	0,27
	B2BZ1-40	0,07	0,11	-0,04	0,22	0,02	0,20	0,74	0,35	0,39
5	B1BZ2-10	-0,31	-0,41	0,10	0,47	0,10	0,37	0,92	0,34	0,58
	B2BZ2-10	0,38	0,52	-0,14	0,45	-0,13	0,58	0,87	0,28	0,59
6	B1BZ2-20	0,01	0,23	-0,22	0,60	0,48	0,12	0,86	0,37	0,49
	B2BZ2-20	0,76	0,82	-0,06	0,75	0,30	0,45	0,96	0,63	0,33
7	B1BZ2-30	-0,04	0,11	-0,07	0,25	0,23	0,02	0,65	0,26	0,39
	B2BZ2-30	0,51	0,52	-0,01	0,80	0,44	0,36	1,00	0,53	0,47
8	B1BZ2-40	0,01	0,03	-0,02	0,12	0,05	0,07	0,52	0,37	0,15
	B2BZ2-40	0,43	0,44	-0,01	0,46	0,23	0,23	0,82	0,42	0,40

Kết quả tính toán ở Bảng 9 (theo kết quả Bảng 7) cho thấy: hiệu quả của C trong cường độ nén của BT đánh giá theo 1%C có mức độ khác nhau. Hiệu quả của 1%C theo %PC thực tế trong BT cho thấy mức độ ảnh hưởng rõ hơn của hàm lượng C và thời gian rắn chắc. Hiệu quả chung, hiệu quả trở và hoạt tính của C đều tăng lên nhưng mức độ khác nhau khi tăng thời gian rắn chắc, nhưng H'_{tr-C} thể hiện nhanh hơn tại tuổi 3 ngày và sau đó thay đổi không lớn khi tăng thời gian rắn chắc đến 28 ngày.

Với H'_{ht-C} tại 3 ngày tuổi hầu hết có giá trị âm và không ổn định, nhưng có giá trị dương từ tuổi 7 ngày trở đi. Hàm lượng C thay thế PC từ 10% đến 20% cho hiệu quả hoạt tính cao và rõ ràng từ tuổi 7 ngày, nhưng sau 7 ngày thì mức độ hiệu quả tăng chậm lại. Tại tuổi 7 ngày, H'_{ht-C7} của 1%C có thể đạt 0,75%-0,78%, nhưng mức độ hiệu quả chung H'_{C-C7} có thể đạt 0,77% đến 0,89% khi mức thay thế PC từ 10-20%. Tại tuổi 28 ngày, H'_{C-C28} của 1%C với mức thay thế 10-20%PC trong BT có thể đạt 0,93% đến 0,96% và mức độ hiệu quả do hoạt tính có thể đạt 0,53% đến 0,65%. Mức độ hiệu quả của C2 có hướng cao hơn C1. Với B2 có cường độ cao, mức độ hiệu quả của C2 cũng có biểu hiện cao hơn. Khi hàm lượng C thay thế PC từ 10-40%, mức độ hiệu quả chung của 1%C1 thay đổi không nhiều, nhưng C2 thể hiện hiệu quả cao hơn tại tuổi 28 ngày. Với hiệu quả hoạt tính của 1%C tăng lên khi C thay thế PC đến 20% sau đó giảm đi khi tăng hàm lượng C lớn hơn 20% tại tuổi 28 ngày và C2 có dấu hiệu giảm thấp hơn C1. Biểu đồ Hình 3 cho thấy rõ hiệu quả của 1%C khi thay thế PC với mức độ khác nhau trong B1 và B2 tại các tuổi rắn chắc.



Hình 3. Mức độ hiệu quả của 1%C trong cường độ BT đánh giá theo %PC thực tế tại 3, 7 và 28 ngày rắn chắc



Hình 4. Hiệu quả của 1%BZ trong cường độ BT đánh giá theo hàm lượng %PC thực tế và hàm lượng thay thế PC tại 3, 7 và 28 ngày rắn chắc

Khi sử dụng BZ, hiệu quả của 1%BZ thay thế PC theo hàm lượng PC thực tế có trong BT (dựa theo kết quả trong Bảng 8) đưa ra trong Bảng 10. Hiệu quả của 1%BZ thay thế PC trong BT theo thời gian rắn chắc minh họa ở Hình 4.

Hiệu quả của 1%BZ thay thế 1%PC trong BT thể hiện rõ hơn mức độ ảnh hưởng của hàm lượng PGK và thời gian rắn chắc. Tăng thời gian rắn chắc của BT, hiệu quả của BZ tăng lên nhưng mức độ khác nhau. Tăng thời gian rắn chắc, hiệu quả trở H_{tr-BZ} đã thể hiện ngay tại tuổi 3 ngày với B2 và thay đổi không lớn khi tăng thời gian rắn chắc đến 28 ngày. Với H'_{ht-BZ} thể hiện rõ từ tuổi 7 ngày trở đi, còn tại 3 ngày tuổi thể hiện rất nhỏ và không ổn định. Khi tăng hàm lượng BZ thay thế PC từ 10% đến 20% cho hiệu quả hoạt tính cao từ tuổi 7 ngày trở đi. Mức độ hiệu quả chung H'_{C-BZ7} của 1%BZ có thể đạt từ 0,60% đến 0,75% tại 7 ngày tuổi với mức thay thế PC là 10 đến 20%, nhưng mức độ hiệu quả hoạt tính H'_{ht-BZ} đạt từ 0,63% đến 0,75%, còn H'_{tr-BZ} đạt từ 0,58% đến 0,78% trong khi H'_{tr-BZ} thấp và không ổn định khi mức thay thế PC đến 20%. Tại tuổi 28 ngày, H'_{C-BZ28} của 1%BZ tại mức thay thế 10-20%PC trong BT có thể đạt từ 0,72% đến 0,96%, còn $H'_{ht-BZ28}$ đạt từ 0,59% đến 0,61%. Mức độ hiệu quả do thành phần trở của BZ trong cường độ BT có mức độ thấp hơn và không ổn định. Tăng hàm lượng BZ thay thế 20%-30%PC thì hiệu quả chung của BZ giảm đi không nhiều tại tuổi 7, nhưng lại giảm đi mạnh hơn tại 28 ngày. Hiệu quả của BZ2 có khuynh hướng cao hơn BZ1. Với BT có cường độ cao B2, hiệu quả của BZ cũng có biểu hiện cao hơn. Biểu đồ Hình 4 cho thấy rõ mức độ ảnh hưởng của 1%BZ khi thay thế PC với hàm lượng khác nhau trong cường độ BT cường độ khác nhau theo thời gian rắn chắc.

So sánh mức độ hiệu quả của C và BZ (theo 1%PGK) trong cường độ BT cho thấy: Tăng hàm lượng C và BZ thay thế PC, mức độ hiệu quả chung và hoạt tính tăng và đạt cao nhất khi sử dụng đến 20% PGK và sau đó có hướng giảm đi nhưng mức độ khác nhau. Với C1 và BZ1 có mức độ hiệu quả chung và hiệu quả hoạt tính giảm đi lớn hơn C2 và BZ2 tại cùng hàm lượng ở mức > 20% tại tuổi 28 ngày. C và BZ có hiệu quả chung khác nhau không nhiều ở tuổi sớm, nhưng từ 7 ngày trở đi thì BZ có hướng lớn hơn so với C (đặc biệt với độ mịn cao). Hiệu quả do hoạt tính của BZ biểu hiện cao hơn của C ở tuổi dài ngày (Hình 3 và 4). Sử dụng hàm lượng khác nhau trong BT, mức độ hiệu quả chung, hiệu quả hoạt tính và hiệu quả trở của C và BZ trong cường độ nén của BT sẽ khác nhau. Hiệu quả trở, hiệu quả hoạt tính tăng lên khi tăng độ mịn của PGKTN đã kéo theo hiệu quả chung tăng lên. Đánh giá theo 1%PGK đã cho thấy rõ hiệu quả chung cao nhất của BZ có thể đạt 0,96% (gần tương đương với 1%PC) khi hàm lượng BZ2 thay thế PC đến 20%. Điều này có nghĩa là với hàm lượng và độ mịn hợp lý, có thể sử dụng BZ và C thay thế PC mà không làm giảm cường độ của BT so với mẫu đối chứng.

4. Kết luận và kiến nghị

Kết quả nghiên cứu đánh giá hiệu quả của cát và bazan nghiền mịn thay thế 10-40%PC trong BT cường độ 30 và 50 MPa có thể đưa ra kết luận sau:

- C và BZ nghiền mịn thay thế 10-40%PC làm giảm cường độ nén BT và mức độ giảm tăng lên khi tăng mức thay thế PC. Tăng độ nghiền mịn của C và BZ, tăng thời gian rắn chắc của BT, mức độ giảm cường độ của BT giảm đi.

- Đánh giá hiệu quả của C và BZ theo hàm lượng PC thực tế trong BT cho thấy:

- + Hiệu quả chung, hiệu quả trở và hoạt tính của C và BZ tăng lên theo thời gian rắn chắc và hầu hết có giá trị dương từ tuổi 7 ngày rắn chắc. Tăng hàm lượng C và BZ trong BT, mức độ hiệu quả tăng lên. Mức độ hiệu quả chung và hoạt tính của C và BZ không khác nhau nhiều ở tuổi sớm, nhưng BZ có hướng lớn hơn so với C (đặc biệt với độ mịn cao) từ 7 ngày tuổi.

+ Hiệu quả của C và BZ có dấu hiệu cao hơn BT có cường độ cao tại cùng mức độ thay thế PC và thời gian rắn chắc. Tăng hàm lượng và độ mịn của C và BZ trong BT, mức độ hiệu quả trong cường độ nén của BT sẽ tăng lên.

+ Đánh giá hiệu quả của C và BZ theo 1%PGKTN thay thế PC cho thấy: hiệu quả đạt giá trị cao khi sử dụng hàm lượng thay thế 10-20%PC trong BT. Lớn hơn hàm lượng đó hiệu quả của C và BZ giảm đi phụ thuộc vào thời gian rắn chắc và độ mịn PGK.

Hiệu quả của C và BZ nghiền mịn đánh giá theo 1% PGKTN này có thể là cơ sở để lựa chọn hàm lượng và độ mịn hợp lý của PGK sử dụng trong BT để đạt hiệu quả về kinh tế hay kỹ thuật.

Sử dụng BaSO₄ nghiền mịn để thay thế thành phần tro của PGK trong nghiên cứu không ảnh hưởng xấu đến kết quả trong thí nghiệm phân tích nhiệt hay xác định mất khi nung của đá hay vữa xi măng poóc lăng như khi sử dụng C. Mặt khác đặc tính của BaSO₄ cũng gần với các phụ gia khoáng hơn so với C.

Thực tế hiệu quả do thành phần tro và hoạt tính của PGK được đánh giá theo phương pháp tính toán gián tiếp và phụ thuộc nhiều vào việc lựa chọn PGK tro thay thế chất tro trong phụ gia khoáng sử dụng. Thực tế không thể xác định chính xác hàm lượng chất tro trong PGK và sự ảnh hưởng của các loại chất tro đến đặc tính cơ lý của BT. Để đánh giá đầy đủ về mức độ hiệu quả của PGK đến đặc tính BT cần phải nghiên cứu thêm về ảnh hưởng của các loại PGK tro sử dụng, ảnh hưởng của thành phần chất tro và hàm lượng chất tro trong các loại PGK có độ mịn khác nhau trong bê tông có cường độ khác nhau.

Lời cảm ơn

Bài báo được viết dựa trên kết quả nghiên cứu của Đề tài cấp trường “Nghiên cứu đánh giá hiệu quả sử dụng đá bazan và cát nghiền mịn trong bê tông cường độ 30 và 50 MPa”, Mã số 65-2020/KH XD. Tác giả chân thành cảm ơn Trường Đại học Xây dựng Hà Nội đã hỗ trợ tài chính cho đề tài và Phòng nghiên cứu và Thí nghiệm Vật liệu Xây dựng, Khoa Vật liệu Xây dựng đã tạo điều kiện thuận lợi để thực hiện đề tài.

Tài liệu tham khảo

- [1] Đầu, V. Đ. (2008). Ảnh hưởng của phụ gia khoáng hoạt tính đến sự hydrát hóa của xi măng poóc lăng. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, (2).
- [2] Goldman, A., Bentur, A. (1989). [Bond Effects in High-Strength Silica Fume Concretes](#). *ACI Master Journal*, 86(5).
- [3] Fraay, A. L. A., Bijen, J. M., de Haan, Y. M. (1989). [The reaction of fly ash in concrete a critical examination](#). *Cement and Concrete Research*, 19(2):235–246.
- [4] Bentur, A. (1990). Microstructure, interfacial effects and micromechanics of cementitious composites, *Advances in Cementitious Materials. Proceedings of Conference on Advances in Cementitious Materials, Gaithersburg, Maryland*, 16:523–550.
- [5] Soroka, I., Setter, N. (1977). [The effect of fillers on strength of cement mortars](#). *Cement and Concrete Research*, 7(4):449–456.
- [6] Goldman, A., Bentur, A. (1993). [The influence of microfillers on enhancement of concrete strength](#). *Cement Concrete Research*, 23(4):962–972.
- [7] Isaia, G. C., Gastaldini, A. L. G., Moraes, R. (2003). [Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete](#). *Cement and Concrete Composites*, 25(1):69–76.

- [8] Isaia, G. C., Gastaldini, A. L. G., Moraes, R. (2003). [Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete](#). *Cement and Concrete Composites*, 25(1):69–76.
- [9] Malhotra, V. M., Mehta, P. K. (2004). *Pozzolanic and Cementitious Materials*. CRC Press.
- [10] Alp, I., Deveci, H., Süngün, Y. H., Yilmaz, A. O., Kesimal, A., Yilmaz, E. (2009). Pozzolanic characteristics of a natural raw material for use in blended cements. *Iranian Journal of Science and Technology*, 33(B4):291–300.
- [11] Hassaan, M. Y. (2001). [Basalt rock as an alternative raw material in Portland cement manufacture](#). *Materials Letters*, 50(2-3):172–178.
- [12] Laibao, L., Yunsheng, Z., Wenhua, Z., Zhiyong, L., Lihua, Z. (2013). [Investigating the influence of basalt as mineral admixture on hydration and microstructure formation mechanism of cement](#). *Construction and Building Materials*, 48:434–440.
- [13] Sua-iam, G., Makul, N. (2013). [Utilization of limestone powder to improve the properties of self-compacting concrete incorporating high volumes of untreated rice husk ash as fine aggregate](#). 38:455–464.
- [14] El-Didamony, H., Helmy, I. M., Osman, R. M., Habboud, A. M. (2015). [Basalt as Pozzolana and Filler in Ordinary Portland Cement](#). 8(2):263–274.
- [15] Babu, K. G., Rao, G. S. N. (2000). *Efficiency of pozzolans in cement composites*. L& EN Spon, Concrete.
- [16] Babu, K. G., Rao, G. S. N. (1996). [Efficiency of fly ash in concrete with age](#). *Cement and Concrete Research*, 26(3):465–474.
- [17] Đầu, V. Đ. (2011). Đánh giá hiệu quả của phụ gia khoáng sử dụng trong xi măng và bê tông. *Tuyển tập báo cáo hội nghị khoa học và công nghệ Trường Đại học Xây dựng lần 16*, 74–85.
- [18] Đầu, V. Đ. (2020). [Assessing the efficiency level of ground basalt stone and fine sand in compressive strength of portland cement](#). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 869:032019.
- [19] Đầu, V. Đ. (2020). *Nghiên cứu đánh giá hiệu quả sử dụng đá bazan và cát nghiền mịn trong bê tông cường độ 30 và 50 MPa*. Đề tài cấp trường, mã số: 65-2020/KH XD.