



ẢNH HƯỞNG CỦA XỈ LÒ CAO NGHIÊN MỊN ĐẾN MỘT SỐ TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG SỬ DỤNG CỐT LIỆU TÁI CHẾ

Tổng Tôn Kiên¹, Lê Trung Thành²

Tóm tắt: Việc nghiên cứu và sử dụng cốt liệu tái chế trong bê tông đã và đang được nghiên cứu ở Việt Nam trong những năm gần đây. Một số kết quả cho thấy việc sử dụng cốt liệu tái chế sẽ làm giảm cường độ nén và bê tông có độ bền lâu kém hơn. Đã có nhiều nghiên cứu và biện pháp nâng cao chất lượng cốt liệu tái chế cũng như chất lượng trong quá trình chế tạo bê tông được thực hiện. Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của xỉ lò cao nghiền mịn đến một số tính chất của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế từ phế thải bê tông xi măng. Kết quả cho thấy, một trong những cách tận dụng cốt liệu tái chế ở hàm lượng cao trong chế tạo bê tông là sử dụng kết hợp với 25% xỉ lò cao nghiền mịn, do có thể khắc phục một phần các hạn chế về cường độ nén và độ hút nước mao quản, độ thấm ion clo của bê tông khi sử dụng cốt liệu tái chế thay thế cốt liệu tự nhiên.

Từ khóa: Cốt liệu bê tông tái chế (CLBTN); bê tông sử dụng cốt liệu tái chế (BTCLTC); xỉ lò cao nghiền mịn (XLCNM); phế thải xây dựng (PTXD).

Summary: Research and development of concrete using recycled concrete aggregate have been being done in Vietnam recently. It is generally known that the use of recycled aggregates in concrete reduces the compressive strength and render the concrete less durable. Various methods have been attempted to improve the quality of the recycled aggregates concrete. This paper presents the effect of incorporating ground granulated blast furnace slag (GGBFS) to some properties of concrete used recycled concrete aggregates. The results show that one of the practical ways to utilize a high percentage of recycled aggregate in concrete is by incorporating 25% of GGBFS since some drawbacks, i.e. compressive strength and capillary water absorption, chloride penetrability, caused by using recycled aggregates in concrete could be minimized.

Keywords: Recycled Concrete Aggregates-RCA; Recycled Aggregates Concrete-RAC; Ground Granulated Blast Furnace Slag-GGBFS; Construction and Demolition Waste-CDW.

Nhận ngày 22/5/2015, chỉnh sửa ngày 10/6/2015, chấp nhận đăng 30/6/2015



1. Giới thiệu

Cốt liệu tái chế (CLTC) từ các loại phế thải xây dựng đã và đang được nghiên cứu sử dụng thay thế cốt liệu tự nhiên (CLTN) trong những năm gần đây. Việc sử dụng CLTC nói chung thường làm tăng độ co khô, từ biến cũng như độ hút nước nhưng giảm cường độ nén, mô đun đàn hồi của bê tông so với bê tông sử dụng CLTN [4, 6]. Chất lượng của bê tông CLTC bị giảm thường xuất phát từ một số nguyên nhân như: sự xuất hiện của nhiều vết nứt và lỗ rỗng do quá trình gia công CLTC, vì thế hạt CLTC thường có cường độ yếu hơn, có khả năng hút nước mạnh hơn so với CLTN [10]. Ngoài ra, trong hạt CLTC còn có các vùng giao diện chuyển tiếp cũ và phần vữa cũ bám dính trong hạt CLTC, cho nên bê tông sử dụng CLTC thường có khả năng thấm hút nước cao hơn bê tông sử dụng CLTN [11]. Chính các nhược điểm này đã hạn chế khả năng tận dụng CLTC với hàm lượng cao ($\geq 30\%$) trong các kết cấu bê tông chịu lực.

¹NCS.ThS, Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng. Email: kientt@nuce.edu.vn.

²TS, Vụ Khoa học công nghệ và Môi trường, Bộ Xây dựng.

Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng, khi sử dụng CLTC trong bê tông có thể ảnh hưởng đến độ bền lâu [10, 11]. Hơn nữa, độ bền lâu của các loại bê tông sử dụng cốt liệu nhỏ bê tông nghiền thường giảm hơn nhiều so với bê tông thường, mặc dù có thể có cường độ nén như nhau. Hansen và Boegh [6] cho rằng, độ co ngót của bê tông sử dụng CLTC có thể tăng tới 60% so với bê tông đối chứng. Khảo sát của Domingo Cabo [3] cũng cho thấy, độ co ngót của bê tông sử dụng 100% CLTC cao hơn khoảng 70% so với mẫu bê tông CLTN sau khoảng 180 ngày. Olorunsogo và Padayachee [10] cũng cho rằng, ở các tuổi 3, 7, 28 và 56 ngày, độ hút nước của bê tông sử dụng CLTC tăng tương ứng là 47,3; 43,69; 38,5% và 28,8% so với bê tông sử dụng CLTN, mặc dù quá trình hút nước của cả hai loại bê tông này là tương tự nhau và tuân theo cùng một quy luật. Các kết quả thí nghiệm của Levy Salomon và Helen [9] cho thấy, sau 6 tháng bảo dưỡng thì chiều sâu cacbonat của bê tông sử dụng CLTC tăng gấp 1,3-1,5 lần so với bê tông đối chứng. Otsuki [11] nhận thấy mức độ thấm ion clo của mẫu bê tông sử dụng 100% CLTC ở 28 ngày tăng 73,2%. Evangelist và De Brito cũng chỉ ra rằng tính thấm nước, độ hút nước mao quản và độ thấm ion clo của bê tông đã tăng theo hàm lượng cốt liệu nhỏ tái chế thay thế CLTN.

Các ảnh hưởng bất lợi của BTCLTC đã hạn chế khả năng sử dụng vật liệu này trong thực tế. Tuy nhiên, người ta cho rằng các nhược điểm này có thể được khắc phục một phần bằng cách sử dụng công nghệ trộn 2 giai đoạn, đặc biệt với bê tông có tỷ lệ N/X cao thì có thể cải thiện cường độ, độ chống thấm ion clo và độ chống thấm cacbonat của BTCLTC [13]. Abbas và cộng sự đã chỉ rằng, việc sử dụng phương pháp thiết kế thành phần bê tông theo hàm lượng vữa tương đương (EMV) cũng có thể chế tạo được bê tông có độ bền bằng giá tốt hơn, khả năng chống thấm ion clo và cacbonat cao hơn so với bê tông thiết kế theo phương pháp thông thường [5]. Một số nghiên cứu khác cũng cho thấy, khi sử dụng kết hợp với lượng phụ gia khoáng xỉ lò cao nghiền mịn (XLCNM) nhất định, có thể hạn chế được một số nhược điểm về cường độ và độ bền lâu của bê tông sử dụng CLTC [1, 2, 7].

Một số nghiên cứu khảo sát về tính chất cơ học và độ bền lâu của bê tông sử dụng CLTC kết hợp với phụ gia khoáng cũng đã được thực hiện [1, 2, 7]. Kou S.C. và các cộng sự đã thấy rằng khi sử dụng 25-35% tro bay loại F làm phụ gia khoáng thêm vào bê tông hoặc thay thế một phần xi măng trong hỗn hợp bê tông sử dụng cốt liệu lớn tái chế có thể cải thiện cường độ cơ học cũng như độ bền lâu của bê tông sử dụng CLTC [7]. Bên cạnh đó, việc sử dụng XLCNM cũng là một hướng đi rất tốt, vừa nâng cao chất lượng bê tông sử dụng cốt liệu tái chế, vừa đảm bảo giá thành của loại bê tông này. Mặc dù XLCNM thường được sử dụng để thay thế một phần xi măng, tuy nhiên Siddique đã nghiên cứu khả năng sử dụng phụ gia khoáng XLCNM có vai trò là vi cốt liệu thêm vào bê tông. Các kết quả đã chỉ ra rằng, cường độ nén, cường độ ép chế, cường độ uốn cũng như mô đun đàn hồi của bê tông đều tăng cao hơn các mẫu bê tông không có XLCNM. Hơn nữa, các tính chất cơ học của bê tông tiếp tục tăng theo tuổi bảo dưỡng và hàm lượng XLCNM thêm vào [12]. Berndt (2009) cho rằng, BTCLTC có sử dụng 50% XLCNM sẽ cho chất lượng tốt nhất [2]. Xỉ đặc biệt có lợi cho bê tông sử dụng CLTC và có thể làm hạn chế sự suy giảm cường độ của bê tông do bản thân trong hạt CLBTON đã có sẵn thành phần $\text{Ca}(\text{OH})_2$, sản phẩm thủy hóa của xi măng, cho nên hiệu ứng puzolan của XLCNM có thể sẽ tăng mạnh. Hơn nữa, hạt CLBTON cũng còn một phần clanke xi măng chưa thủy hóa sẽ tiếp tục thủy hóa trong hỗn hợp bê tông sử dụng CLBTON, cũng góp phần làm tăng cường độ và độ bền lâu của bê tông. Các thí nghiệm về độ bền lâu đã chỉ ra rằng hệ số thấm nước và khuếch tán ion clo tăng trong bê tông sử dụng CLTC. Tuy nhiên, các giá trị này có thể giảm về giá trị có thể chấp nhận được khi trong hỗn hợp bê tông có sử dụng xỉ lò cao. Ann và các cộng sự [1] cũng đã nhận thấy tốc độ ăn mòn cốt thép trong các loại bê tông có sử dụng CLTC và 30% tro bay hoặc 65% XLCNM lại thấp hơn so với mẫu đối chứng, có thể do sự hạn chế oxy và nước xâm nhập vào trong bê tông. Tuy nhiên, điều này không hiệu quả bằng việc tăng khả năng chống ăn mòn cốt thép trong bê tông.

Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của việc sử dụng kết hợp 25% XLCNM làm phụ gia khoáng thay thế xi măng hoặc thêm vào bê tông sử dụng CLBTON, nhằm cải thiện cường độ nén cũng như một số tính chất liên quan đến độ bền lâu của bê tông như: tính hút nước mao quản và độ thấm ion clo.



2. Vật liệu và Phương pháp nghiên cứu

2.1 Vật liệu sử dụng

Xi măng sử dụng là xi măng PC40 Bút Sơn, giới hạn bền nén và các tính chất cơ bản thỏa mãn TCVN 2682:2009. Xỉ lò cao nghiền mịn (XLCNM) được nghiền từ xỉ hạt lò cao của nhà máy gang thép Hòa Phát. Các tính chất cơ bản của xi măng và XLCNM được nêu ở Bảng 1 và Bảng 2.

Bảng 1. Tính chất cơ bản của xi măng và xỉ hạt lò cao nghiền mịn

STT	Tính chất	Đơn vị	Xi măng	XLCNM	Phương pháp thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	3,10	2,89	TCVN 4030: 2003
2	Tỷ diện tích	cm ² /g	3380	4520	TCVN 4030: 2003
3	Đường kính trung bình	μm	18,41	7,63	Phân tích lazer
4	Cường độ nén sau 3 ngày sau 28 ngày	MPa	23,7 43,5	- -	TCVN 6016: 2011
5	Chỉ số hoạt tính cường độ sau 7 ngày sau 28 ngày	%	- -	77 96	TCVN 4315: 2007

Bảng 2. Thành phần hóa của xi măng và xỉ hạt lò cao nghiền mịn

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	SO ₃	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O
XLCNM	35,3	32,9	14,5	10,5	2,44	1,35	1,29	0,812	0,428	0,241
Xi măng	62,2	19,6	7,33	2,54	-	2,13	0,58	-	3,3	0,17

Theo kết quả phân tích thành phần hóa ở bảng 2 thì hệ số kiểm tính của xỉ là:

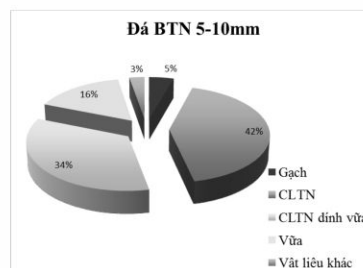
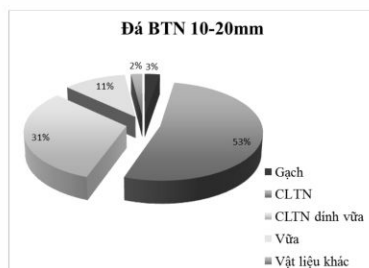
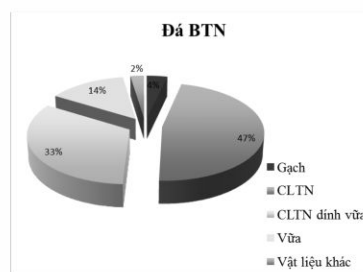
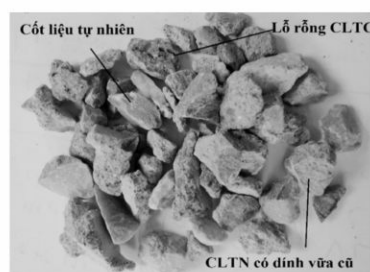
$$K = \frac{CaO + MgO + Al_2O_3}{SiO_2} = 1,83 > 1,60; \text{ còn hàm lượng MgO cao hơn 10,0\% nhưng không nhiều.}$$

Như vậy theo TCVN 4315:2007 thì loại xỉ hạt lò cao đạt yêu cầu để sản xuất xi măng.

Cốt liệu tự nhiên sử dụng gồm đá dăm $D_{max}=20\text{mm}$ làm cốt liệu lớn tự nhiên và cát vàng Sông Lô làm cốt liệu nhỏ tự nhiên được sử dụng trong mẫu bê tông đối chứng. Cốt liệu được gia công tái chế từ phế thải bê tông xi măng nghiền (CLBTN) bằng máy kẹp hàm và đập búa trực đứng, tại Xí nghiệp gạch block-Công ty cổ phần Cơ điện và Xây dựng công trình Hà Nội. Các tính chất của cốt liệu được xác định theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 7572:2006. Thành phần vật liệu của CLBTN được nêu trong Hình 1 và một số kết quả tính chất cơ bản được nêu ở Bảng 3.

Bảng 3. Tính chất cơ bản của các loại cốt liệu

STT	Tính chất thí nghiệm	Đá dăm	Đá BTN	Cát vàng	Cát BTN
1	Khối lượng riêng, g/cm ³	2,719	2,655	2,607	2,491
2	Khối lượng thể tích lèn chặt, kg/m ³	1688	1486	1813	1654
3	Khối lượng thể tích bão hòa khô bề mặt, g/cm ³	2,615	2,470	2,588	2,223
4	Độ hút nước sau 24 giờ, %	0,59	6,08	0,82	8,43
5	Độ nén đập trong xilanh, %	13,3	22,6	-	-
6	Mô đun độ lớn	-	-	2,34	2,89

**Hình 1.** Thành phần vật liệu của CLBTN

Từ Hình 1 ta thấy: có sự khác nhau rõ ràng về thành phần vật liệu giữa hai cấp hạt đá BTN 10-20mm và đá BTN 5-10mm. Khi kích thước cấp hạt CLBTN giảm thì hàm lượng CLTN dính vừa giảm từ 34% xuống đến 31%. Trong khi đó hàm lượng vừa thì ngược lại, tăng nhẹ từ 11% đối với đá BTN 10-20mm lên tới 16% đối với đá BTN 5-10mm; hàm lượng CLTN cũng tăng nhẹ. Điều này có thể do cường độ của phần vừa trong phế thải bê tông thấp nên dễ dàng bị nghiền nhỏ hơn so với phần CLTN. Tương tự, hàm lượng gạch và các vật liệu khác đều tăng nhẹ khi kích thước cấp hạt CLBTN giảm. Tuy nhiên, xét hàm lượng các thành phần vật liệu trung bình trong hỗn hợp đá BTN, tổng lượng CLTN, CLTN dính vừa và vừa trong đá BTN đều xấp xỉ hoặc lớn hơn 90%. Trong đó riêng hàm lượng vừa cũ tự do trong đá BTN có tới 14%.

Nước sử dụng là nước sinh hoạt, thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật của nước trộn trong bê tông theo TCVN 4506:2012. Phụ gia siêu dẻo ACE388 được sử dụng để điều chỉnh và giữ độ sụt không đổi (10 ± 2 cm) cho hỗn hợp bê tông sử dụng các loại cốt liệu khác nhau.

2.2 Thành phần cấp phối bê tông

Trên cơ sở cấp phối bê tông sử dụng CLTN có độ sụt 10 ± 2 cm và cường độ nén tiêu chuẩn đạt 30MPa (ĐC), có ba loại bê tông sử dụng CLBTN thay thế 100% theo thể tích CLTN khác nhau là: hỗn hợp bê tông sử dụng 100% đá BTN thay thế đá dăm (BTN_CV), cát BTN thay thế cát vàng (ĐD-CV) và hỗn hợp bê tông sử dụng toàn bộ CLBTN thay thế CLTN (BTN). Các loại hỗn hợp bê tông này được chia làm 3 nhóm là: nhóm bê tông không có XLCNM (ĐC, BTN_CV, ĐD_BTN, BTN), nhóm bê tông sử dụng 25% XLCNM thay thế xi măng (ĐC-r25XLC, BTN_CV-r25XLC, ĐD_BTN-r25XLC, BTN-r25XLC) và nhóm bê tông sử dụng 25% XLCNM làm phụ gia khoáng thêm vào hỗn hợp bê tông (ĐC-a25XLC, BTN_CV-a25XLC, ĐD_BTN-a25XLC, BTN-a25XLC). Thành phần cấp phối bê tông được thiết kế theo nguyên tắc thể tích tuyệt đối với hỗn hợp cốt liệu lớn sử dụng có hai cấp hạt 5-10mm và 10-20mm có tỷ lệ phối hợp 2 cấp hạt đảm bảo hỗn hợp cốt liệu lớn có khối lượng thể tích lèn chặt lớn nhất là 36% đá 5-10mm và 64% đá 10-20mm, hàm lượng cốt liệu nhỏ trong hỗn hợp cốt liệu được giữ không đổi là 42% khối lượng; độ sụt của hỗn hợp bê tông được giữ không đổi là 10 ± 2 cm bằng cách sử dụng phụ gia siêu dẻo ACE388. Thành phần cấp phối các loại hỗn hợp bê tông nghiên cứu được nêu ở Bảng 4.

2.3 Phương pháp nghiên cứu

Hỗn hợp bê tông được trộn theo quy trình trộn hai giai đoạn của Tam Vivian W.Y. đề xuất [13]. Độ sụt và khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông được xác định theo TCVN 3106:1993, TCVN 3108:1993. Cường độ nén của bê tông được xác định trên các tổ mẫu lập phương $100 \times 100 \times 100$ mm ở các tuổi bảo dưỡng khác nhau. Các mẫu được chế tạo, bảo dưỡng trong khuôn 1 ngày ở nhiệt độ trong phòng thí nghiệm khoảng $27 \pm 2^\circ\text{C}$, sau đó tháo khuôn ngâm vào nước đến tuổi thí nghiệm theo TCVN 3105: 1993. Cường độ nén của bê tông được xác định ở các tuổi 1, 3, 7, 28, 56 và 91 ngày bảo dưỡng, theo TCVN 3118:1993. Độ hút nước mao quản của bê tông cũng được xác định trên mẫu lập phương $100 \times 100 \times 100$ mm dựa theo tiêu chuẩn ASTM C1585-10 ở các tuổi 7, 28 và 91 ngày bảo dưỡng. Độ thấm ion clo được xác định theo TCVN 9337:2012 phù hợp với tiêu chuẩn ASTM C1202-10 trên các mẫu trụ có chiều dày 50mm, đường kính 100mm được cắt từ mẫu trụ có chiều cao 200mm.

Bảng 4. Thành phần vật liệu của hỗn hợp bê tông

STT	Kí hiệu cấp phối	Lượng dùng các vật liệu cho 1m^3 bê tông, kg (lít)							
		Nước	Xi măng	XLCNM	Đá dăm 5-10/10-20	Đá BTN 5-10/10-20	Cát vàng	Cát BTN	PGSD
1	ĐC	196	350	0	381/677	0/0	705	0	0
2	BTN_CV	196	350	0	0/0	339/609	705	0	2,8
3	ĐD_BTN	196	350	0	381/677	0/0	0	653	2,8
4	BTN	196	350	0	0/0	339/609	0	653	3,5
5	ĐC-r25XLC	196	262,5	87,5	380/375	0/0	703	0	0,0
6	BTN_CV-r25XLC	196	262,5	87,5	0/0	338/608	703	0	2,8
7	ĐD_BTN-r25XLC	196	262,5	87,5	380/675	0/0	0	651	2,8
8	BTN-r25XLC	196	262,5	87,5	0/0	338/608	0	651	3,5
9	ĐC-a25XLC	196	350	87,5	364/647	0/0	674	0	0,0
10	BTN_CV-a25XLC	196	350	87,5	0/0	324/582	674	0	3,15
11	ĐD_BTN-a25XLC	196	350	87,5	364/647	0/0	0	624	3,15
12	BTN-a25XLC	196	350	87,5	0/0	324/582	0	624	3,85

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông

Theo Bảng 4, khối lượng thể tích của các loại hỗn hợp bê tông sử dụng CLBTN (BTN_CV, ĐD_BTN, BTN) đều thấp hơn khoảng 8÷12% so với khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông sử dụng CLTN (ĐC). Điều này do bản thân hạt CLBTN có thể có các vết nứt và các hạt CLBTN chứa lượng vữa xi măng có cấu trúc rỗng xốp và khối lượng thể tích, khối lượng riêng nhỏ hơn so với CLTN (Bảng 3). Đối với hỗn hợp bê tông sử dụng 25% XLCNM thay thế xi măng hoặc làm phụ gia khoáng thêm vào bê tông thì khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông lại tăng lên, tuy nhiên sự thay đổi này không đáng kể. Điều này có thể do một phần các hạt XLCNM đã xâm nhập vào các khe nứt và lỗ rỗng trong hạt CLBTN, dẫn đến làm tăng khối lượng thể tích của hỗn hợp hạt cốt liệu cũng như khối lượng thể tích của bê tông.

3.2 Cường độ nén

Các kết quả cường độ nén bê tông được đưa ra ở Bảng 5 và các Hình 2-3, mỗi giá trị biểu thị là giá trị trung bình của ba kết quả thí nghiệm. Có thể thấy rằng, cường độ nén của tất cả các mẫu bê tông đều tăng theo thời gian bảo dưỡng, tuy nhiên cường độ nén của các loại bê tông sử dụng CLBTN đều thấp hơn so với cường độ nén bê tông sử dụng CLTN. Cường độ nén ở 28 ngày của mẫu ĐC đạt 35,5 MPa, trong khi đó cường độ nén của bê tông sử dụng 100% cốt liệu lớn (BTN_CV), cốt liệu nhỏ (ĐD_BTN) hoặc cả hai loại cốt liệu tái chế từ phế thải bê tông (BTN) chỉ đạt tương ứng 76,3%; 77,5% và 75,8%. Điều này có thể do 2 nguyên nhân sau: (1) Thành phần vữa cũ có cấu trúc rỗng xốp bám dính vào hạt CLTN cũ và (2) bản thân trong hạt CLBTN cũng tồn tại nhiều khuyết tật và vết nứt xuất hiện trong quá trình gia công nghiền phế thải bê tông. Những điều này đã dẫn đến tính chất cơ lý của các hạt CLBTN thường kém hơn CLTN [7, 14].

Khi sử dụng XLCNM thay thế 25% xi măng đã làm giảm cường độ nén của bê tông ở tất cả các tuổi bảo dưỡng. Tuy nhiên, mức độ giảm cường độ nén tùy thuộc vào loại cốt liệu sử dụng và tuổi bảo dưỡng bê tông. Đối với mẫu bê tông sử dụng CLTN và 25% XLCNM thay thế xi măng (ĐC-r25XLC), cường độ nén giảm tương ứng ở tuổi 7 ngày và 91 ngày là giảm 19,4% và 17,0% so với mẫu bê tông không sử dụng XLCNM (ĐC). Đối với các loại bê tông sử dụng CLBTN thì mức độ giảm cường độ nén ở tuổi 7 ngày còn lớn hơn (17,8%-25,7%), nhưng giá trị này lại thấp hơn ở tuổi 91 ngày (chỉ giảm 7,2-9,5%) so với mẫu bê tông không sử dụng XLCNM. Điều này chứng tỏ khi sử dụng 25% XLCNM thay thế xi măng có thể hạn chế khả năng suy giảm cường độ nén của bê tông sử dụng CLBTN thay thế CLTN.

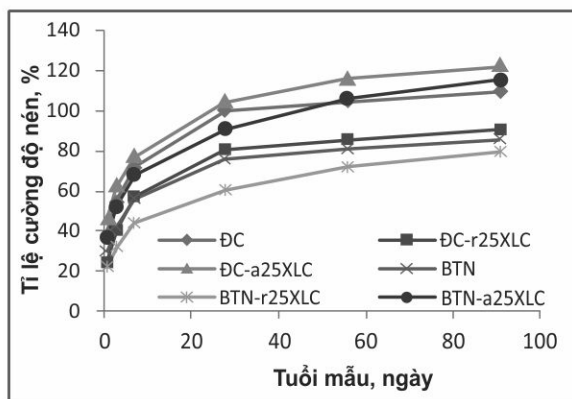
Bảng 5. Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông và cường độ nén của bê tông

STT	Kí hiệu cấp phối	Độ sụt, cm	KLTT của HHT, kg/m ³	Cường độ nén của bê tông ở các tuổi, MPa					
				1	3	7	28	56	91
1	ĐC	9,5	2431	13,4	19,3	25,3	35,5	37,2	38,8
2	BTN-CV	12,25	2240	12,1	17,8	22,6	27,1	28,7	30,4
3	ĐD-BTN	10,5	2189	10,3	15,5	21,3	27,5	29,9	32,0
4	BTN	11,0	2139	10,6	15,1	19,9	26,9	28,8	30,5
5	ĐC-r25XLC	9,25	2390	8,7	14,4	20,4	28,6	30,2	32,2
6	BTN-CV-r25XLC	12,0	2261	8,5	12,0	16,8	23,2	25,6	27,5
7	ĐD-BTN-r25XLC	10,5	2210	8,9	13,1	17,5	24,2	27,3	29,7
8	BTN-r25XLC	11,25	2156	7,8	11,3	15,6	21,5	25,6	28,1
9	ĐC-a25XLC	9,0	2453	16,3	22,2	27,5	37,2	41,1	43,4
10	BTN-CV-a25XLC	11,5	2280	13,5	22,5	29,4	34,7	39,9	43,1
11	ĐD-BTN-	9,75	2212	13,8	21,8	27,6	33,4	38,3	42,8
12	BTN-a25XLC	9,75	2227	13,0	18,5	24,1	32,3	37,5	40,9

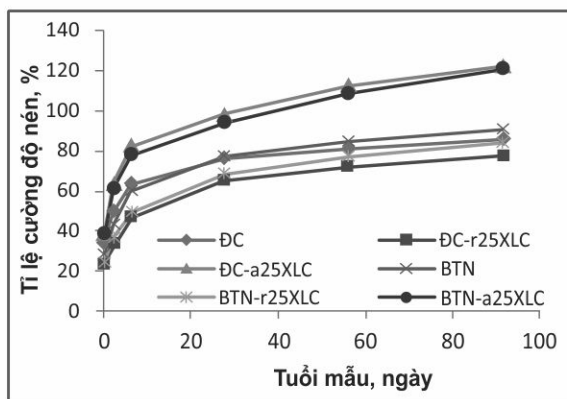
Khi sử dụng 25% XLCNM làm phụ gia khoáng thêm vào hỗn hợp bê tông, thì cường độ nén của bê tông sử dụng các loại CLBTN được cải thiện đáng kể và mức độ tăng cường độ nén cũng cao hơn so với bê tông sử dụng CLTN. Cường độ nén của các loại bê tông sử dụng CLBTN và XLCNM sau 28 và 91 ngày bảo dưỡng dao động lần lượt trong khoảng từ 32,3 đến 34,7 MPa và 40,9-43,1 MPa; tăng khoảng 20,1-28,0% và 33,8-41,8% so với mẫu bê tông chỉ sử dụng CLBTN (BTN, BTN_CV, ĐD_BTN). Trong khi đó, việc sử dụng 25% XLCNM làm phụ gia khoáng thêm vào bê tông sử dụng CLTN (ĐC-a25XLC) chỉ làm tăng 4,8% và

17,0% tương ứng ở các tuổi 28 và 91 ngày bảo dưỡng, so với cường độ nén của mẫu bê tông sử dụng CLTN và không có XLCNM (ĐC). Việc tăng cao cường độ nén của bê tông có XLCNM là do ảnh hưởng của hiệu ứng puzolanic của XLCNM ở tuổi muộn. Ngoài ra, cường độ nén của bê tông còn tăng theo sự giảm tỷ lệ N/CKD (Chất kết dính (CKD) là hỗn hợp của xi măng và XLCNM) và tăng tỷ lệ CKD/Cốt liệu (đặc biệt là tỷ lệ CKD/cốt liệu nhỏ). Điều này phù hợp với các kết quả nghiên cứu trước đó [7, 14].

Tỷ lệ cường độ nén được tính bằng tỷ lệ giữa cường độ nén của bê tông sử dụng đá BTN, cát BTN và toàn bộ CLBTON so với cường độ nén của mẫu bê tông sử dụng CLTN và không có XLCNM ở tuổi 28 ngày (Hình 2 và Hình 3). Có thể thấy rằng, cường độ nén của mẫu bê tông sử dụng CLBTON và 25% XLCNM (BTN_CV-r25XLC, ĐD_BTN-r25XLC, BTN-r25XLC và BTN_CV-a25XLC, ĐD_BTN-a25XLC, BTN-a25XLC), có sự tăng cường độ nén rõ rệt với tất cả các loại CLBTON thay thế CLTN. Tuy nhiên, ở các tuổi sớm ngày (<28 ngày), cường độ nén của mẫu bê tông khi thay thế 25% xi măng bằng XLCNM (BTN-r25XLC) lại thấp hơn so với mẫu BTN. Điều này có thể do tốc độ thủy hóa và hoạt tính puzolanic của hạt XLCNM trong bê tông [1]. Còn đối với các mẫu sử dụng 100% CLBTON và 25% XLCNM làm phụ gia khoáng thêm vào hỗn hợp bê tông (BTN-a25XLC) thì cường độ nén của mẫu đã được cải thiện đáng kể hơn cường độ nén của mẫu bê tông BTN chỉ sử dụng xi măng. Hơn nữa sự cải thiện cường độ nén của các mẫu bê tông này là rõ rệt ở các tuổi sau 28 ngày. Cường độ nén của mẫu BTN-a25XLC ở tuổi 56 ngày của mẫu đạt tương đương và thậm chí vượt cả cường độ của mẫu bê tông ĐC sử dụng CLTN. Sự tăng cường độ nén của bê tông sử dụng toàn bộ CLBTON và phụ gia khoáng XLCNM luôn cao nhất và cao hơn cả của mẫu bê tông sử dụng CLTN có XLCNM. Điều này có thể do đặc tính của hạt CLBTON luôn có phần vữa xi măng bám dính với nhiều lỗ rỗng và $\text{Ca}(\text{OH})_2$ trong các lỗ rỗng. Khi bê tông sử dụng 100% CLBTON kết hợp với XLCNM thì sẽ có 3 hiệu ứng có thể góp phần nâng cao cường độ nén của bê tông là: (1) Một phần XLCNM sẽ xâm nhập vào các lỗ rỗng của phần vữa bám dính trong hạt CLBTON, sau đó cải thiện vùng giao diện chuyển tiếp (ITZ) liên kết giữa đá xi măng mới và hạt bề mặt hạt CLBTON tốt hơn; (2) Các vết nứt và khuyết tật có sẵn trong hạt CLBTON cũng sẽ được lấp đầy và hàn gắn bằng các sản phẩm thủy hóa của phản ứng puzolan giữa XLCNM và $\text{Ca}(\text{OH})_2$ có sẵn trong các lỗ rỗng, các khe nứt nhỏ hoặc do clanhke xi măng cũ tiếp tục thủy hóa; (3) giảm tỷ lệ N/CKD và tăng tỷ lệ CKD/Cốt liệu (đặc biệt là tỷ lệ CKD/cốt liệu nhỏ). Kết quả này hoàn toàn phù hợp với các nghiên cứu của Ann K. (2008) và Kou S.C. (2012) [1, 7].



Hình 2. Tỷ lệ cường độ nén của bê tông sử dụng CLTN và CLBTON



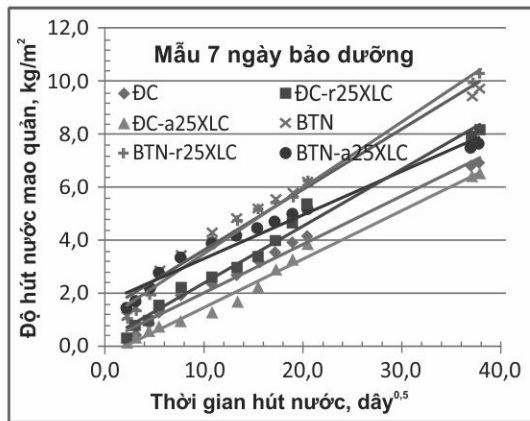
Hình 3. Tỷ lệ cường độ nén của bê tông sử dụng đá BTN và cát BTN

3.3 Độ hút nước mao quản

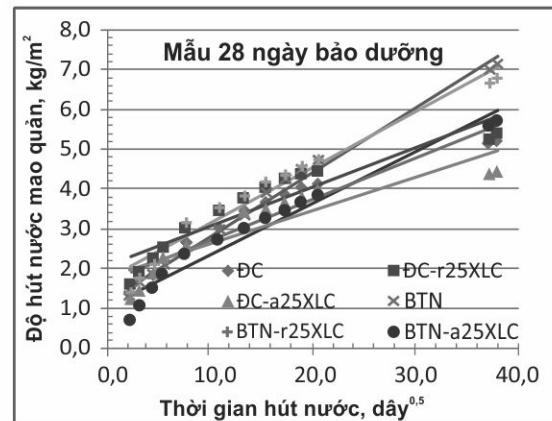
Hình 4-6 biểu diễn mao quản của các loại bê tông sử dụng CLTN và CLBTON ở các tuổi bảo dưỡng khác nhau. Độ hút nước mao quản của các mẫu bê tông đều phụ thuộc tuyến tính với thời gian (giờ^{0.5}) ở tất cả các tuổi bảo dưỡng 7, 28 và 91 ngày, nhưng độ hút nước của bê tông sử dụng các loại CLBTON luôn lớn hơn nhiều so với bê tông sử dụng CLTN cùng loại, kết quả này cũng phù hợp với các nghiên cứu của các tác giả khác [7, 9] và thực tế là độ hút nước của hạt CLBTON luôn cao hơn so với CLTN (Bảng 3). Điều này chứng tỏ cấu trúc bê tông sử dụng CLBTON có nhiều lỗ rỗng hở và thông nhau hơn. Đây cũng chính là một trong những nguyên nhân có thể làm giảm tính bền lâu của bê tông trong các môi trường xâm thực. Bên cạnh đó, độ dốc của các đường thẳng quan hệ giữa độ hút nước mao quản với thời gian cũng khác nhau, hay nói cách khác tốc độ hút nước mao quản của các mẫu bê tông cũng rất khác nhau. Điều này chứng tỏ hệ thống lỗ rỗng mao quản của các mẫu bê tông cũng có số lượng và kích thước lỗ rỗng khác nhau.

Hệ thống lỗ rỗng mao quản này cũng giảm theo tuổi bảo dưỡng của mẫu. Ở tuổi 7 ngày, độ hút nước mao quản của bê tông sau 24 giờ ngâm nước là $9,78 \text{ kg/m}^2$ đối với mẫu BTN và $6,9 \text{ kg/m}^2$ đối với mẫu ĐC. Nhưng đến 28 ngày, giá trị này tương ứng đã giảm còn $7,15 \text{ kg/m}^2$ (73,1%); $5,19 \text{ kg/m}^2$ (75,2%); và tiếp tục giảm xuống còn 50,1%; 65,4%. Điều này chứng tỏ hệ thống lỗ rỗng mao quản của bê tông sử dụng CLBTN giảm mạnh hơn so với bê tông sử dụng CLTN.

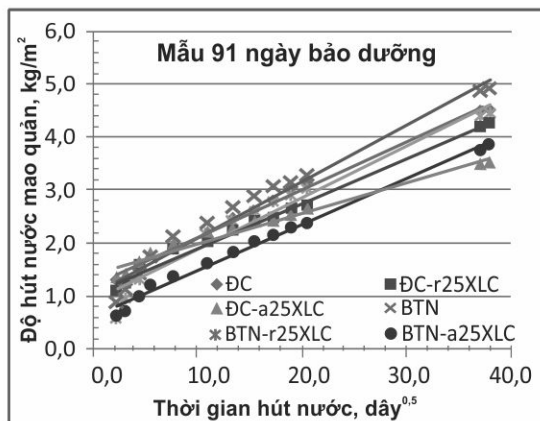
Việc sử dụng XLCNM thay thế một phần xi măng hay làm phụ gia khoáng thêm vào bê tông cũng cải thiện đáng kể cấu trúc lỗ rỗng mao quản trong mẫu bê tông nhờ vào hiệu ứng lấp đầy của hạt XLCNM cũng như các sản phẩm của phản ứng puzolanic giữa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ và XLCNM. Điều này sẽ góp phần tăng khả năng chống thấm nước cũng như độ bền của các loại bê tông sử dụng CLBTN. Mức độ giảm độ hút nước của bê tông sử dụng các loại CLBTN và 25% XLCNM làm phụ gia khoáng thêm vào hỗn hợp bê tông cũng luôn cao nhất do hiệu ứng puzolan của XLCNM và do sự giảm tỷ lệ N/CKD.



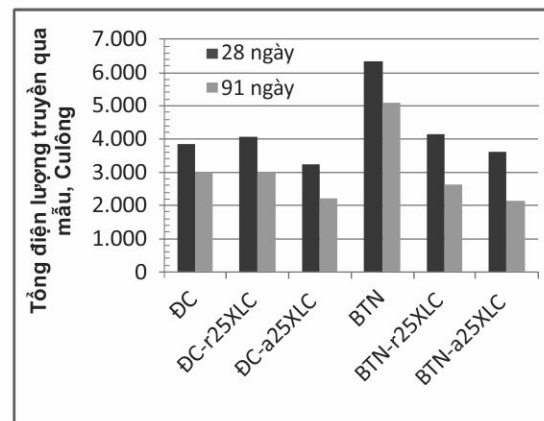
Hình 4. Độ hút nước mao quản của bê tông sử dụng CLTN và CLBTN ở tuổi 7 ngày



Hình 5. Độ hút nước mao quản của bê tông sử dụng CLTN và CLBTN ở tuổi 28 ngày



Hình 6. Độ hút nước mao quản của bê tông sử dụng CLTN và CLBTN ở tuổi 91 ngày



Hình 7. So sánh khả năng thấm ion clo của bê tông sử dụng CLTN và CLBTN

3.4 Khả năng thấm ion clo

Khả năng thấm ion clo của các loại bê tông được so sánh ở Hình 7. Các kết quả cho thấy khả năng thấm ion clo của bê tông tăng khi sử dụng CLBTN thay thế CLTN. Tuy nhiên, với cùng loại cốt liệu sử dụng thì, khi sử dụng XLCNM thay thế một phần xi măng hoặc làm phụ gia khoáng thêm vào hỗn hợp bê tông, lại làm tăng khả năng chống thấm ion clo. Có thể thấy, khi tỷ lệ N/CKD giảm thì độ chống thấm ion clo tăng (Hình 7) do thể tích lỗ rỗng trong bê tông giảm theo mức độ giảm tỷ lệ N/CKD, bê tông trở nên không thấm và từ đó khả năng chống thấm ion clo tăng lên. Các kết quả này phù hợp với kết quả về độ hút nước mao quản ở trên, cũng như các kết quả nghiên cứu của Leng F. [8]. Ngoài ra, khả năng chống thấm cũng tăng theo tuổi bảo dưỡng từ 28 đến 91 ngày. Điều này do sản phẩm thủy hóa trong các lỗ rỗng đã tăng nên có thể đã tạo ra các vùng không thấm hút nước cũng như tăng khả năng chống thấm ion clo.

Theo Leng F. và cộng sự các nguyên nhân làm tăng khả năng chống thấm ion clo có thể là: (1) việc sử dụng XLCNM đã bổ sung thành phần hạt mịn lấp đầy vào các lỗ rỗng và giảm các lỗ rỗng hở thông nhau trong bê tông, (2) sản phẩm C-S-H được tạo thành nhiều hơn do XLCNM thủy hóa sẽ hấp phụ các ion clo và hạn chế sự di chuyển của ion clo, (3) XLCNM sử dụng làm phụ gia khoáng thêm vào bê tông còn làm giảm tỷ lệ N/CKD của các loại bê tông [8].



4. Kết luận

Dựa trên các kết quả thí nghiệm, chúng ta có thể đưa ra một số kết luận như sau:

- Việc sử dụng 100% các loại CLBTN thay thế CLTN làm giảm cường độ nén của bê tông từ 22,5-24,2%. Tuy nhiên, khi sử dụng 25%XLCNM thay thế một phần xi măng lại làm giảm cường độ nén của bê tông ở tuổi sớm (<28 ngày), nhưng lại hạn chế sự giảm cường độ nén ở tuổi muộn (>91 ngày). Còn khi sử dụng XLCNM làm phụ gia khoáng thêm vào bê tông thì lại có thể cải thiện cường độ nén bê tông ở tất cả các tuổi bảo dưỡng (tăng khoảng từ 20-28% ở tuổi 28 ngày và từ 33,8-42% ở tuổi 91 ngày so với mẫu bê tông sử dụng CLBTN không có XLCNM). Sự tăng cường độ nén của bê tông sử dụng toàn bộ CLBTN và phụ gia khoáng XLCNM luôn cao hơn sự tăng cường độ nén của mẫu bê tông sử dụng CLTN có XLCNM.

- Độ hút nước mao quản và tính thấm ion clo tăng khi sử dụng các loại CLBTN thay thế CLTN trong bê tông. Tuy nhiên, độ hút nước mao quản giảm và khả năng chống thấm ion clo tăng, hay nói cách khác tính bền lâu của bê tông sẽ được cải thiện khi bê tông sử dụng kết hợp với XLCNM.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin chân thành cảm ơn: Công ty Cổ phần Cơ điện và Xây dựng công trình đã gia công các loại cốt liệu tái chế cho đề tài.

Tài liệu tham khảo

1. Ann Ky, et al. (2008), "Durability of recycled aggregate concrete using pozzolanic materials", *Waste Management*, 28:993-999.
2. Berndt M.L. (2009), "Properties of sustainable concrete containing fly ash, slag and recycled concrete aggregate", *Construction and Building Materials*, 23 (2009):2606-2613.
3. Domingo-Cabo A., et al. (2009), "Creep and shrinkage of recycled aggregate concrete", *Construction and Building Materials*, 23(23 (2009)):2545-2553.
4. Etxeberria M, et al. (2007), "Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete", *Cement and Concrete Research*, 37(5):735-742.
5. Fathifazi G., et al. (2009), "New Mixture Proportioning Method for Concrete Made with Coarse Recycled Concrete Aggregate", *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 21(10):601-611.
6. Hansen T. C. & Boegh. E. (1995), "Elasticity and drying shrinkage of recycle-aggregate", *ACI Journal*, No. 5., No. 5(September-October):Pp. 648-652.
7. Kou S.C. & Poon C.S. (2012), "Enhancing the durability properties of concrete prepared with coarse recycled aggregate", *Construction and Building Materials*, 35:69-76.
8. Leng F, Feng N & Lu X (2000), "An experimental study on the properties of resistance to diffusion of chloride ions of fly ash and blast furnace slag concrete", *Cement & Concrete Research*, 30(6):989-992.
9. Levy S.M. & Helene P. (2004), "Durability of recycled aggregates concrete: A safe way to sustainable development", *Cement and Concrete Research*, Vol. 34:pp. 1975-1980.
10. Olorunsogo F. T. (1999), Early Age Properties of Recycled Aggregate Concrete, in *Proceedings of the International Conference on Exploiting Wastes in Concrete*, ed Jappy R. K. Dhir and T. G., Thomas Telford, pp 165-170.
11. Otsuki N., Miyazaki S-I. & Yodsiraj W. (2003), "Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, chloride penetration and carbonation of concrete", *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 15(5):443-451.
12. Rafat Siddique (2008), *Waste Materials and By-Products in Concrete*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p427.
13. Tam Vivian W.Y., Gao X.F. & Tam C.M. (2005), "Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach", *Cement and Concrete Research*, 35(2005):1195-1203.
14. Tống Tôn Kiên (2014), *Nghiên cứu nâng cao chất lượng bê tông sử dụng cốt liệu bê tông tái chế*, Chuyên đề tiến sĩ số 2, Trường Đại học Xây dựng.