

MỘT SỐ LƯU Ý TRONG VIỆC SỬ DỤNG ĐÁ MI BỤI LÀM CỐT LIỆU NHỎ CHO THIẾT KẾ CẤP PHỐI BÊ TÔNG

LÊ TÂN, NGUYỄN VIỆT ĐỨC

*Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Công nghiệp thành phố Hồ Chí Minh;
letan@iuh.edu.vn, nguyenvietduc@iuh.edu.vn*

Tóm tắt. Đá mi bụi là sản phẩm phụ đi kèm trong quá trình sàng tách ra từ sản phẩm đá nghiền tại các mỏ đá. Loại đá này có thể được sử dụng làm cốt liệu nhỏ thay thế cho cát sông trong các thiết kế cấp phối bê tông. Nhóm tác giả đã nghiên cứu và đưa ra một số khuyến nghị trong việc sử dụng loại cốt liệu này cho bê tông. Trước tiên, khi sử dụng đá mi bụi cần phải nghiên cứu kỹ tính chất cơ lý cũng như thành phần hạt của nó. Tiếp theo, khi thiết kế cấp phối bê tông không nên điều chỉnh tăng quá 10% hàm lượng xi măng so với các cấp phối thông thường sử dụng cát làm cốt liệu nhỏ. Và cuối cùng, nên cân nhắc sử dụng phụ gia hóa học để tăng tính dẻo của bê tông tươi qua đó cũng làm tăng đáng kể cường độ bê tông tuổi trẻ (3 và 7 ngày tuổi).

Từ khóa. Đá mi bụi, cốt liệu nhỏ, cấp phối bê tông, tính công tác của bê tông tươi

SOME RECOMMENDATIONS ON THE USE OF DUSTY CRUSHED STONE AS FINE AGGREGATE FOR CONCRETE MIX PROPORTION

Abstract. Dusty crushed stone is a byproduct in the sieving process of stone manufacture at the quarries. This kind of crushed stone can be used as a fine aggregate instead of river sand in the conventional concrete mix design. The authors have carried out a preliminary research and are able to give some recommendations on the use of dusty crushed stone for concrete. First, when using this stone it is necessary to study its mechanical properties as well as particle size distribution. Next, in the concrete mix design the cement content should not be exceed 10% in comparison with the conventional mix using river sand as fine aggregate. And finally, the chemical admixture should be added into concrete mixture in order to increase the workability of fresh concrete, as well as to enhance concrete strength at early age (3 and 7 days) significantly.

Keywords. Dusty crushed stone, fine aggregate, mix proportion, concrete workability

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 7570: 2006 “Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật” phân chia cát dùng cho bê tông và vữa ra thành 2 nhóm [1]: cát thô có mô đun độ lớn từ lớn hơn 2,0 đến 3,3 và cát mịn có mô đun độ lớn từ 0,7 đến 2,0. Cũng theo tiêu chuẩn này thì cát mịn có mô đun độ lớn từ 0,7 tới 1,0 chỉ được dùng để chế tạo bê tông mác tới 200 (cấp B15), cát mịn có mô đun độ lớn từ 1,0 tới 2,0 chỉ được dùng để chế tạo bê tông mác tới 300 (cấp B25). Do trữ lượng cát thô (cát vàng) của nước ta ít, phân bố không đồng đều ở các vùng miền nên nhiều nơi phải nhập khẩu cát hoặc vận chuyển xa, giá thành cao, thiếu sự chủ động về nguồn cát để chế tạo bê tông. Ngoài ra, việc khai thác cát ngày càng khó khăn do nguồn tài nguyên ngày càng cạn kiệt cùng những biện pháp nghiêm cấm của nhà nước do hậu quả của sự khai thác bừa bãi gây sạt lở các bờ sông ảnh hưởng đến an toàn đường thủy và cuộc sống của người dân, tác động mạnh làm cho giá cát sông bị đẩy lên cao.

Một trong những giải pháp để giảm thiểu việc sử dụng cát vàng và cát sông từ môi trường tự nhiên, qua đó cũng đồng thời hạ giá thành bê tông, đó là sử dụng đá mi bụi có kích thước thành phần hạt tương đương. Đá mi bụi là mặt đá, kích cỡ từ 0 đến 5mm, được sàng tách ra từ sản phẩm đá và thường được thực hiện ngay tại mỏ đá, như minh họa trong Hình 1. Loại đá này hiện nay được sử dụng nhiều để làm gạch lát sàn, gạch block, phụ gia cho công nghệ bê tông đúc ống công và thi công các công trình giao thông và phụ gia cho các loại vật liệu xây dựng khác. Thêm nữa, với việc sử dụng bê tông trong xây dựng

ngày càng gia tăng ở nước ta, thì trong hội nghị Bê tông châu Á lần thứ 7 mới đây được tổ chức tại Hà Nội với chủ đề “Phát triển bê tông bền vững cho hiện tại và tương lai” [2], sử dụng đá mi bụi làm cốt liệu nhỏ cho thiết kế cấp phối bê tông là một trong những giải pháp được đánh giá cao phục vụ cho việc phát triển bê tông bền vững. Theo một nghiên cứu đánh giá cụ thể thì đối với khu vực thành phố Hồ Chí Minh, do vị trí địa lý lân cận với một số mỏ đá tốt có trữ lượng dồi dào tại Biên Hòa – Đồng Nai, hay Dĩ An - Bình Dương, việc sử dụng đá mi làm cốt liệu nhỏ cho thiết kế cấp phối bê tông có thể làm giảm ½ chi phí nguyên liệu đầu vào so với việc sử dụng cát vàng hay cát sông với chi phí vận chuyển cao [3].

Tuy nhiên, trong quá trình trao đổi tham gia nghiên cứu hợp tác với các kỹ sư có kinh nghiệm lâu năm của Công ty tư vấn, giám sát và kiểm định công trình Bảo Việt, từ thực tiễn của việc giám sát ở công trường thi công đổ móng có sử dụng bê tông với đá mi bụi là cốt liệu nhỏ thì có phát hiện một số lỗi như những vết nứt nhỏ trên bề mặt của bê tông sau khi đã ninh kết, như minh họa trên Hình 2. Điều này làm ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng của công trình sau này. Theo tham khảo của nhóm tác giả với các kỹ sư này thì trong các thiết kế cấp phối của bê tông loại này so với thiết kế cấp phối của bê tông có sử dụng cát vàng làm cốt liệu nhỏ thì có thay đổi tăng lượng xi măng và nước để tăng tính công tác và độ dẻo của bê tông tươi. Việc tăng hàm lượng xi măng, đồng thời là thi công đổ bê tông với khối lượng và bề mặt lớn như đổ kết cấu công trình móng có thể là nguyên nhân dẫn tới hiện tượng nứt do bê tông xi măng tỏa nhiệt nhiều trong quá trình ninh kết.

Với những nội dung đã đề cập ở trên, trong bài báo này nhóm tác giả hướng đến nghiên cứu tìm hiểu về việc sử dụng đá mi bụi làm cốt liệu nhỏ trong thiết kế cấp phối bê tông, với mục đích nhằm đưa ra một số lưu ý và khuyến nghị nhằm tăng hiệu quả sử dụng của loại cốt liệu này cho bê tông xi măng.



Hình 1: Đá mi bụi tại mỏ đá



Hình 2: Vết nứt trên bề mặt bê tông tại công trình số 573 Đường Tên Lửa, Bình Tân, TP. HCM

2. NGUYÊN VẬT LIỆU SỬ DỤNG

Các nguyên vật liệu sau đây đã được sử dụng trong nghiên cứu này:

2.1. Xi măng

Xi măng sử dụng trong nghiên cứu là xi măng poóc lăng PC40 Hà Tiên đạt cường độ nén 48,5MPa, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 2682:2009 [4]. Các tính chất cơ lý của xi măng được đưa ra trong Bảng 1.

Bảng 1: Tính chất cơ lý của xi măng

Stt	Chỉ tiêu thí nghiệm	Phương pháp thử	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	TCVN 4030-2003 [5]	g/cm ³	3.11
2	Độ mịn (Lượng sót trên sàng 0,09)	nt	%	3.15
3	Lượng nước tiêu chuẩn	TCVN 6617-1995 [6]	%	28,2
4	Thời gian bắt đầu đông kết	nt	phút	105
	Thời gian kết thúc đông kết	nt	phút	295
5	Độ ổn định thể tích	nt	mm	2,1
6	Giới hạn bền nén tuổi 3 ngày	TCVN 6016-1995 [7]	N/mm ²	33,0
	Giới hạn bền nén tuổi 28 ngày	nt	N/mm ²	48,5

2.2. Cốt liệu nhỏ

Cốt liệu nhỏ cát vàng trong nghiên cứu này được lấy từ nguồn cát sông của khu vực lân cận Thành Phố Hồ Chí Minh. Cát đã được phơi khô sàng loại bỏ các hạt trên 5 mm. Các tính chất cơ lý của cát vàng được trình bày trong Bảng 2.

Cốt liệu nhỏ khác được sử dụng trong nghiên cứu này đó là đá mi bụi từ mỏ đá ở Biên Hòa-Đồng Nai, đá có thành phần hạt là 0- 5 mm. Các tính chất cơ lý của cát vàng được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 2: Tính chất cơ lý của cát vàng 0-5 mm

Stt	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng thể tích ở trạng thái bão hòa nước- khô bề mặt	g/cm ³	2.64
2	Khối lượng thể tích xốp	g/cm ³	1.55
3	Độ hồng	%	39,5
4	Hàm lượng bụi, bùn, sét	%	0,96
5	Mô đun độ lớn	-	2.2
6	Tạp chất hữu cơ	-	Đạt
7	Thành phần hạt	-	Đạt

Bảng 3: Tính chất cơ lý của đá mi bụi 0-5 mm

Stt	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng thể tích ở trạng thái bão hòa nước- khô bề mặt	g/cm ³	2.67
2	Khối lượng thể tích xốp	g/cm ³	1.67
3	Hàm lượng bụi, bùn, sét	%	1,5
4	Hàm lượng hạt mềm yếu	%	0
5	Độ hút nước	%	0,9
6	Thành phần hạt	-	Mô đun độ lớn 2,0 - 2,2

2.3. Cốt liệu lớn

Cốt liệu lớn sử dụng trong nghiên cứu, như có thể thấy trong Hình 3, là đá dăm có thành phần hạt là 5-20 mm, giống như đá mi bụi cũng được lấy từ mỏ đá ở Biên Hòa-Đồng Nai. Một số tính chất cơ lý của đá dăm được thể hiện trong Bảng 4 bên dưới.

Bảng 4: Tính chất cơ lý của đá dăm 5-20mm

Stt	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng thể tích ở trạng thái bão hòa nước- khô bề mặt	g/cm ³	2.7
2	Khối lượng thể tích xốp	g/cm ³	1.58
3	Hàm lượng bụi, bùn, sét	%	1,5
4	Hàm lượng thoi dẹt	%	14,9
5	Hàm lượng hạt mềm yếu	%	0
6	Độ hút nước	%	0,5
7	Thành phần hạt	-	Đạt

2.4. Phụ gia hóa học và nước

Phụ gia hóa học là phụ gia siêu dẻo SikaPlast®-151V gốc PolyCarboxylate-Ether Polymer thế hệ thứ 3, như có thể thấy trên Hình 4, được cung cấp từ nhà máy Sika-Việt Nam tại Nhơn Trạch, Đồng Nai. Theo catalogue từ nhà sản xuất, phụ gia này được sử dụng có tác dụng tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông, giảm lượng nước và tăng độ đặc của bê tông. Một số tính chất hóa lý của phụ gia hóa học được trình bày trong bảng 5.

Nước để trộn các thành phần vật liệu của bê tông được lấy từ nguồn nước máy của thành phố Hồ Chí Minh.

Bảng 5: Tính chất hóa lý của phụ gia hóa học

Stt	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	1,075 ÷ 1,095
2	Nồng độ pH	-	4 ÷ 6



Hình 3: Cân đá để tiến hành trộn bê tông



Hình 4: Phụ gia hóa học Sikaplast®-151V

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ ĐÁNH GIÁ

3.1. Các thiết kế cấp phối bê tông

Trong nghiên cứu này mác bê tông 300 được lựa chọn là đối tượng để tính toán thiết kế cấp phối các thành phần. Mác bê tông này hiện nay cũng được sử dụng khá phổ biến trên thị trường tập trung chủ yếu

là các công trình xây dựng dân dụng ở các thành phố lớn của Việt Nam đặc biệt là khu vực thành phố Hồ Chí Minh và các vùng lân cận. Các tài liệu chỉ dẫn kỹ thuật liên quan phù hợp các quy chuẩn quy phạm hiện hành [8], cũng như là các kinh nghiệm nghiên cứu của nhóm tác giả được áp dụng và sử dụng xuyên suốt trong quá trình tính toán thiết kế cấp phối cho bê tông mác 300 [9].

Sau quá trình thử nghiệm và điều chỉnh hàm lượng, có tất cả 3 cấp phối cho bê tông mác 300, như có thể thấy chúng được thể hiện trong Bảng 6. Thứ nhất là CP1 là cấp phối tuân tủy theo tiêu chuẩn hiện hành và có trong rất nhiều tài liệu chỉ dẫn, mà có sử dụng cát vàng làm cốt liệu nhỏ. CP2 là cấp phối mà hàm lượng cát vàng được thay thế 100% bằng đá mi bụi. Như có thể thấy là việc sử dụng đá mi thì hàm lượng nước và xi măng đã thay đổi theo chiều hướng tăng khoảng 4% để đảm bảo là tỷ lệ nước trên xi măng (N/X) là không đổi so với CP1. Còn trong CP3 thì vẫn sử dụng hoàn toàn là đá mi bụi thay cho 100% cát vàng nhưng có khác so với CP2 là đã sử dụng phụ gia hóa học. Cho nên như có thể thấy trong Bảng 3, với CP3 thì hàm lượng nước và xi măng vẫn giữ nguyên như trong CP1.

Bảng 6: Thành phần vật liệu của các cấp phối bê tông thí nghiệm

Cấp phối	Xi măng (kg)	Cát vàng (kg)	Đá mi bụi (kg)	Đá cốt liệu lớn (kg)	Phụ gia hóa học (lít)	Nước máy (lít)	Tỷ lệ N/X
CP1	285	780	-	1015	-	180	0.63
CP2	296	-	780	1015	-	187	0.63
CP3	285	-	780	1015	2,1	180	0.63

3.2. Tính công tác của bê tông tươi

Tính công tác của bê tông hay còn thể hiện khả năng dễ đổ của bê tông tươi được thể hiện qua thí nghiệm độ sụt của bê tông tươi ngay sau quá trình trộn. Kết quả thí nghiệm độ sụt của các cấp phối bê tông CP1-CP3 được thể hiện trong Bảng 7. Có thể thấy là độ sụt của CP2 đã giảm đáng kể so với CP1, điều này có thể thấy là việc sử dụng đá mi bụi làm giảm độ dẻo của bê tông tươi, mặc dù là trước đó có tăng hàm lượng nước và xi măng. Theo đánh giá phân tích của nhóm tác giả thì hàm lượng xi măng cho CP2 không nên vượt quá 10% so với hàm lượng tiêu chuẩn của CP1 vì hai lý do sau:

- Thứ nhất: với hàm lượng xi măng vượt quá như vậy, thì nhiệt lượng tỏa ra nhiều trong quá trình ninh kết và khả năng cao là sẽ dẫn đến hiện tượng nứt bề mặt của bê tông, đặc biệt trong quá trình đổ bê tông khối lượng lớn như đã nêu ở phần trên.
- Thứ hai: đảm bảo là giá thành của 1m³ bê tông với đá mi bụi làm cốt liệu nhỏ vẫn có giá cả phải chăng.

Bảng 7: Kết quả thí nghiệm độ sụt và cường độ cho các cấp phối bê tông

Cấp phối	Độ sụt (mm)	Cường độ nén – giá trị trung bình 3 mẫu lập phương 15x15x15cm (MPa)		
		3 ngày	7 ngày	28 ngày
CP1	70	19.3	25.7	33.7
CP2	55	18.4	24	30.8
CP3	105	21.9	27.4	31.7

Việc sử dụng phụ gia dẻo trong CP3 đã làm tăng tính công tác hay kết quả thí nghiệm độ sụt có thể thấy rõ điều này như trong thể hiện trong Bảng 7. Ngoài ra, khả năng dễ đổ của bê tông tươi cũng tăng lên rất nhiều như có thể nhận thấy trong Hình 5 và Hình 6 tương ứng với CP2 và CP3 trong quá trình đổ bê tông vào khuôn đúc mẫu. So với CP3, các kỹ thuật viên đã phải rung nhiều hơn trong quá trình làm đầy các khuôn đúc mẫu với CP2. Từ đó có thể thấy rằng việc sử dụng CP3, đầm rung ở công trường sẽ được giảm thiểu nhiều so với việc sử dụng CP2, do đó năng lượng điện cho thiết bị rung và nhân công lao động sẽ ít đi, đồng thời quá trình đổ bê tông cũng sẽ diễn ra nhanh hơn.



Hình 5: Tính công tác của bê tông tươi CP2



Hình 6: Tính công tác của bê tông tươi CP3

3.3. Đặc tính cường độ nén của bê tông sau khi đã đông kết theo thời gian

Bê tông sau khi đã được đổ đầy vào các khuôn, 24h sau các mẫu bê tông lập phương $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ sẽ được tháo khỏi khuôn và được đưa sang công đoạn tiếp theo đó là dưỡng hộ. Trong quá trình các mẫu bê tông sẽ được nhúng trong bể nước để đảm bảo độ ẩm 100% và nhiệt độ xung quanh là $20 \pm 2^\circ\text{C}$ (Hình 7). Đến ngày thử nghiệm cường độ nén, mẫu bê tông được lấy ra khỏi bể nước khoảng 3h trước khi tiến hành thử (Hình 8), để đảm bảo các mẫu bê tông đã khô tránh việc bê tông bị ẩm làm sai lệch kết quả cường độ nén thực của bê tông.



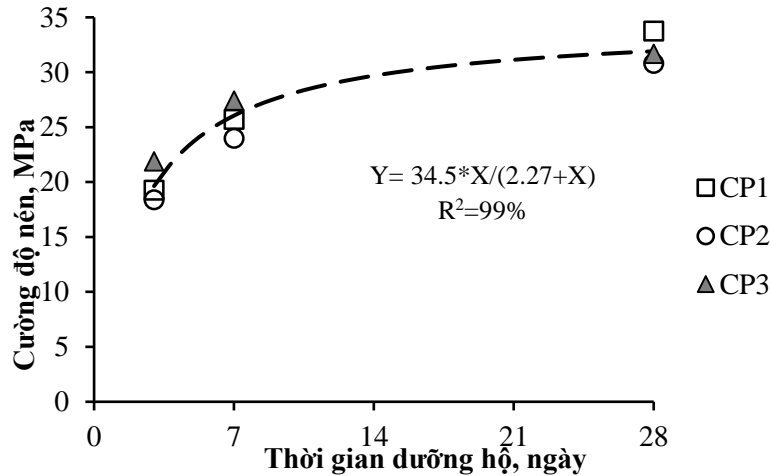
Hình 7: Dưỡng hộ mẫu bê tông trong nước



Hình 8: Mẫu được lấy ra chuẩn bị trước khi nén

Trong nghiên cứu này, các cấp phối bê tông CP1-CP3 được thử nghiệm cường độ nén ở 3, 7, và 28 ngày tuổi. Như đã biết, mác của bê tông được xác định khi bê tông 28 ngày tuổi, tuy nhiên việc xác định các ngày tuổi sớm hơn 28 ngày sẽ giúp cho nhận biết được độ biến thiên của cường độ nén theo thời gian. Điều này theo chia sẻ kinh nghiệm của các kỹ sư tư vấn giám sát là khá quan trọng trong thực tế, vì các nhà thầu khi thi công ở công trường đều có mong muốn tiến hành thi công sớm để đẩy nhanh tiến độ nhưng vẫn phải đảm bảo chất lượng công trình. Việc biết được các thông số của cường độ bê tông ở các ngày tuổi sớm (3, 7 ngày) sẽ giúp cho các nhà thầu tự tin trong việc tiến hành tiếp tục xây dựng các hạng mục tiếp theo và đảm bảo là không làm ảnh hưởng đến chất lượng của bê tông đã đổ trước đó.

Các kết quả của thí nghiệm cường độ nén của các cấp phối CP1-CP3 ở các ngày tuổi 3, 7, 28 ngày được thể hiện trong Bảng 7, và đồ thị biến thiên của cường độ nén theo thời gian có thể thấy trên đồ thị của Hình 9.



Hình 9: Biểu đồ thể hiện độ biến thiên của cường độ nén theo thời gian dưỡng hộ

Ta nhận thấy trong Bảng 7, cả 3 cấp phối CP1-CP3 bê tông đều đạt mức 300 ở 28 ngày tuổi. Việc sử dụng đá mi trong CP2 và CP3 đã làm giảm cường độ ở 28 ngày tuổi khoảng 6-9% so với sử dụng cát vàng. Trong 2 cấp phối CP1 và CP2, có thể nhận thấy là cường độ nén của bê tông 3 và 7 ngày tuổi tương ứng là bằng khoảng 60% và 80% so với cường độ nén của bê tông ở 28 ngày tuổi. Trong khi đó ở cấp phối CP3 có sử dụng phụ gia dẻo thì cường độ nén của bê tông 3 và 7 ngày tuổi tương ứng là bằng khoảng 70% và 90% so với cường độ nén của bê tông ở 28 ngày tuổi. Điều này có thể giải thích được là do sử dụng phụ gia làm tăng tính dẻo và khả năng dễ đổ của bê tông tươi nhờ đó mà cường độ nén của bê tông tuổi trẻ (3 và 7 ngày tuổi). Tuy nhiên bên cạnh đó thì cường độ nén của bê tông CP3 ở 28 ngày tuổi cũng không có nhiều khác biệt lắm so với các cấp phối khác CP1 và CP2.

4. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Đá mi bụi có thể sử dụng làm cốt liệu nhỏ trong thiết kế cấp phối bê tông. Tuy nhiên sau quá trình nghiên cứu về loại cốt liệu này, nhóm tác giả có một số khuyến nghị sau đây:

- Khi sử dụng đá mi bụi cần phải nghiên cứu kỹ tính chất cơ lý cũng như thành phần hạt của nó;
- Khi thiết kế cấp phối bê tông không nên điều chỉnh tăng quá 10% hàm lượng xi măng so với các cấp phối thông thường sử dụng cát làm cốt liệu nhỏ vì việc đó sẽ có khả năng gây ra nứt bề mặt của bê tông do nhiệt lượng lớn tỏa ra trong quá trình ninh kết của xi măng;
- Có thể sử dụng phụ gia hóa học để tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông mà không cần tăng lượng nước và xi măng, cho nên khả năng nứt của bê tông khi đổ với khối lượng và bề mặt lớn có thể được khắc phục, đồng thời cường độ của bê tông có thể đạt 90-100% so với mức (R_{28}) ở 7 ngày tuổi.

Việc sử dụng hiệu quả đá mi bụi chắc chắn sẽ làm giảm giá thành của 1m³ bê tông cũng như tăng tính bền vững của vật liệu bê tông cho hiện tại và tương lai.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả chúng tôi chân thành cảm ơn các kỹ sư và kỹ thuật viên của *Công ty cổ phần tư vấn giám sát và kiểm định công trình Bảo Việt* đã giúp đỡ trong việc cung cấp một số nguyên vật liệu, thực hiện thí nghiệm như đúc mẫu và thử mẫu ở các ngày tuổi. Chúng tôi cũng cảm ơn công ty trách nhiệm hữu hạn Sika Việt Nam đã cung cấp cho chúng tôi sản phẩm phụ gia hóa học SikaPlast®-151V.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. TCVN 7570-2006 Cốt liệu cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật.
2. Kỹ yếu Hội nghị Bê tông châu Á lần thứ 7 với chủ đề “Phát triển bê tông bền vững cho hiện tại và tương lai”, Hà nội 30/10-2/11/2016.
3. Phạm Thế Hiệp, “Thực nghiệm sử dụng đá nghiền làm cốt liệu mịn trong sản xuất bê tông tại công ty VLXD 1828”, Luận Văn Tốt Nghiệp, Bộ môn vật liệu silicate, Khoa công nghệ vật liệu, Trường đại học bách khoa-TPHCM, 2014.
4. TCVN 2682-2009 Xi măng Pooc lăng - Yêu cầu kỹ thuật.
5. TCVN 4030-2003 Xi măng - Phương pháp xác định độ mịn
6. TCVN 6017-1995 Xi măng - Phương pháp thử - Xác định thời gian đông kết và độ ổn định thể tích của xi măng.
7. TCVN 6016-1995 Xi măng - Phương pháp thử - Xác định độ bền.
8. Bộ Xây Dựng, “Chỉ dẫn kỹ thuật chọn thành phần bê tông các loại” theo quyết định số 778/1998/QĐ-BXD-Hà Nội, 1998.
9. Nguyễn Việt Đức, Đặng Hoàng Minh, “Thiết kế cấp phối cho bê tông cường độ-chất lượng cao: phương pháp tối ưu hóa đa mục tiêu”, *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Mở TP.HCM*, số tháng 20(4)-2016, trang 65-76.

Ngày nhận bài: 25/01/2017

Ngày chấp nhận đăng: 02/07/2017