

Nghiên cứu ảnh hưởng của xỉ lò cao hạt hóa, tro trấu đến một số tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông cát mịn cường độ cao

Ngô Văn Toàn^{1*}

¹ TT. Vật liệu xây dựng công trình giao thông, Viện Vật liệu xây dựng, 235 Nguyễn Trãi, phường Thanh Xuân Trung, quận Thanh Xuân, TP. Hà Nội

TỪ KHOÁ

Xi lò cao hạt hóa
Tro trấu
Bê tông cát mịn cường độ cao

TÓM TẮT

Để chế tạo bê tông cát mịn cường độ cao, vấn đề phải giải quyết là đảm bảo hỗn hợp bê tông có tính công tác tốt và có tỷ lệ N/X thấp, nhưng phải được chế tạo với lượng dùng xi măng vừa phải và lượng nước nhào trộn nhỏ. Sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng (xi lò cao + tro trấu) trong bê tông cát mịn cường độ cao có thể thay thế được một lượng đáng kể xi măng bằng hỗn hợp phụ gia khoáng (xi lò cao + tro trấu) mà không gây ảnh hưởng tiêu cực tới các tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông, dẫn tới có thể sử dụng được một lượng lớn chất kết dính trong bê tông cát mịn cường độ cao mà vẫn đảm bảo lượng dùng xi măng nằm ở mức thấp. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ban đầu về việc sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng (xi lò cao + tro trấu) trong bê tông cát mịn có tỷ lệ N/CKD từ 0,25 đến 0,37. Ảnh hưởng của hai loại phụ gia khoáng nói trên đến tính công tác của hỗn hợp bê tông và cường độ của bê tông, từ đó lựa chọn tỷ lệ phối trộn hợp lý giữa xi lò cao và tro trấu. Qua đó, cho thấy sự phối hợp giữa hai phụ gia xi lò cao và tro trấu đã nâng cao đáng kể chất lượng của bê tông cát mịn, điều này góp phần quan trọng trong việc phát triển và ứng dụng hai loại phụ gia này trong chế tạo bê tông cát mịn cường độ cao.

KEYWORDS

Grain blast furnace slag
Rice husk ash
High strength fine sand concrete

ABSTRACT

To make high-strength fine sand concrete, the problem to be solved is guaranteeing good workability and low ratio water/cement of the mixture, but the cement rate is suitable and using little water. Using a mixture of mineral additives (blast furnace slag + rice husk ash) in high-strength fine sand concrete can replace a significant amount of cement with a mixture of mineral additives (blast furnace slag + rice husk ash) without negatively affecting the properties of concrete and concrete mixes, this makes it possible to use a large amount of binder in high-strength fine sand concrete while ensuring low cement usage. The paper presents the initial research results on the use a mixture of mineral additives (blast furnace slag + rice husk ash) in fine sand concrete with the ratio water/binder from 0.25 to 0.37. The influence of the two above-mentioned additives on the workability of the concrete mixture and the strength of the concrete, then choosing a suitable mixing ratio between blast furnace slag and rice husk ash. Thereby, it shows that the combination between blast furnace slag and rice husk ash has significantly improved the quality of fine sand concrete, which contributes significantly to the development and application of these two additives fabrication of high-strength fine sand concrete.

1. Đặt vấn đề

Đối với bê tông cường độ cao do tỷ lệ N/X thấp dẫn đến sẽ tồn tại một lượng xi măng không thủy hoá hết. Lượng xi măng không thủy hoá này có thể coi như là một loại vi cốt liệu và do đó có thể thay thế bằng phụ gia khoáng hoạt tính. Các loại phụ gia khoáng hoạt tính hiện nay thường hay được dùng cho bê tông như tro bay, tro trấu, xỉ lò cao nghiền mịn và silica fume...

Tro trấu là sản phẩm thu được sau khi đốt trấu. Theo các công trình nghiên cứu [1,2,3,4] thì tro trấu có hàm lượng SiO₂ rất cao

(87 ÷ 96%). Hàm lượng SiO₂ của tro trấu tương đương hàm lượng SiO₂ trong silica fume. Mặt khác, khi đốt trấu trong những điều kiện thích hợp sẽ thu được tro trấu có độ xốp rất lớn và chứa chủ yếu là ôxyt SiO₂ dưới dạng vô định hình. Do các hạt tro có cấu trúc rỗng, tỷ diện tích bề mặt lớn và hàm lượng SiO₂ vô định hình cao nên loại tro trấu có độ hoạt tính puzolan rất cao. Trong Bảng phân loại các chất thải có hoạt tính puzolan của Hiệp hội Xi măng và Bê tông Châu Âu RILEM [5], tro trấu được xếp vào loại vật liệu có hoạt tính cao ngang với silica fume. Trên thế giới đã có một số công trình nghiên cứu sử dụng tro trấu phối hợp với phụ gia siêu dẻo để chế tạo bê tông cường

*Liên hệ tác giả: ngovantoan.vibm@gmail.com

Nhận ngày 26/08/2021, sửa xong ngày 04/11/2021, chấp nhận đăng 01/04/2022

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2022.261>

độ cao [6,7]. Các công trình nghiên cứu này cho thấy sử dụng tro trấu làm phụ gia khoáng đã cải thiện tính chất của hỗn hợp bê tông và làm tăng cường độ của bê tông. Một trong những nguyên nhân làm tăng cường độ là sự thay đổi cấu trúc vùng chuyển tiếp giữa đá xi măng và cốt liệu của bê tông tro trấu so với bê tông không có tro trấu. Sự thay đổi cấu trúc vùng chuyển tiếp giữa đá xi măng và cốt liệu trong bê tông khi có tro trấu theo Zhang và Malhotra [7] thể hiện ở sự giảm lượng hydrôxit canxi, kích thước các lỗ rỗng trong đá xi măng ở vùng tiếp giáp này, và ở sự giảm chiều dày của nó so với khi không sử dụng tro trấu. Kết luận này được Zhang và các cộng sự đưa ra trong công trình nghiên cứu về sự thủy hoá và cấu trúc vùng chuyển tiếp giữa đá xi măng và cốt liệu trong bê tông tro trấu [8]. Ở Việt Nam, tro trấu cũng đã được nghiên cứu sử dụng làm phụ gia khoáng để chế tạo vữa tự chảy và bê tông cường độ cao [9], bê tông chất lượng cao [10] và để cải thiện độ bền của vật liệu composite sử dụng hỗn hợp sợi xơ dừa và sợi thủy tinh [11]. Các nghiên cứu liên quan tới sử dụng tro trấu làm phụ gia khoáng trong bê tông cường độ cao đều cho thấy tro trấu có tính năng tương tự silica fume, tăng độ liên kết trong hỗn hợp bê tông, giảm hiện tượng tách nước, phân tầng, tăng cường độ của bê tông. Tuy nhiên, khi sử dụng với hàm lượng lớn thì hỗn hợp bê tông rất quánh, yêu cầu phải tiêu tốn năng lượng lên chặt lớn hơn so với hỗn hợp bê tông không sử dụng tro trấu có cùng độ sụt. Tính chất bất lợi này của tro trấu sẽ trở nên có ích khi phối hợp tro trấu với cát mịn trong bê tông cấp phối gián đoạn có độ sụt lớn, vì khi đó do độ quánh cao của hỗn hợp vữa xi măng- tro trấu - cát mịn nên hỗn hợp bê tông sẽ không bị phân tầng.

Xi lò cao là một trong các thải phẩm công nghiệp có khối lượng lớn. Tùy theo độ hoạt tính, xi lò cao có thể được sử dụng làm cốt liệu cho bê tông, sản xuất vật liệu chưng áp, bê tông nhẹ, bê tông tổ ong... dùng làm phụ gia khoáng trong sản xuất các loại xi măng có các tính năng khác nhau (xi măng poóc lăng - xi, xi măng xi bèn sun phát...), thay thế một phần xi măng hoặc một phần cốt liệu trong chế tạo bê tông và bê tông cốt thép. Loại xi lò cao sử dụng làm phụ gia khoáng cho bê tông hoặc để nghiên cứu xi măng thành xi măng poóc lăng xi là loại xi lò cao đã hạt hóa, có độ hoạt tính cao. Loại xi này thu được bằng cách dùng nước để làm nguội nhanh xi lỏng nóng chảy từ lò cao, việc làm nguội nhanh này làm cho xi có cấu trúc thủy tinh, và vỡ vụn thành các hạt nhỏ với cấu trúc xốp, nên gọi là xi hạt hóa. Còn xi lò cao sử dụng làm cốt liệu cho bê tông là loại xi thu được sau khi làm nguội chậm xi lỏng trong không khí. Loại xi này có dạng tảng, cấu trúc tinh thể, đặc chắc và vì vậy không có hoạt tính. Khi sử dụng làm cốt liệu, xi tảng được đập nhỏ và phân loại thành các cấp hạt yêu cầu. Theo E.L Demone và M.N.Soutos khi sử dụng xi lò cao hạt hóa trong bê tông có tác dụng tăng tính công tác, giảm đáng kể nhiệt thủy hóa, cho cường độ bê tông phát triển ở các tuổi dài lâu, tăng độ bền, giảm thấm nước, giảm đáng kể phản ứng kiềm-silic, tăng hiệu quả kinh tế. Theo kết quả nghiên cứu khảo sát ảnh hưởng của lượng dùng xi lò cao hạt hóa Thái Nguyên đến tính chất của bê tông thông dụng [12] của Viện Vật liệu xây dựng cho thấy khi đưa xi lò cao hạt hóa vào thay thế một phần xi măng với hàm lượng hợp lý thì cường độ, độ tách nước, cấp chống thấm của bê tông xi đã được cải thiện so mẫu

bê tông đối chứng. Bên cạnh đó, các nghiên cứu khi sử dụng xi lò cao làm phụ gia khoáng trong bê tông có thể gây ra một số tác dụng như: a) *Làm tăng sự tách nước trong hỗn hợp bê tông, đặc biệt khi xi có độ mịn thấp;* b) *Giảm cường độ của bê tông ở tuổi sớm so với bê tông đối chứng, nhưng cho cường độ cao hơn ở tuổi dài ngày;* c) *Có thể sử dụng với hàm lượng lớn (đến 60%) để thay thế một phần xi măng mà không ảnh hưởng xấu đến cường độ bê tông ở tuổi dài ngày.* Các tính chất này của xi lò cao sẽ rất có lợi khi phối hợp nó với tro trấu trong bê tông cát mịn cường độ cao, vì khi phối hợp với tro trấu thì các hiệu ứng bất lợi như tách nước và giảm cường độ bê tông ở tuổi sớm do sử dụng xi sẽ được triệt tiêu hoặc giảm bớt do tro trấu có hoạt tính cao thường làm tăng cường độ bê tông ở tuổi sớm, mặt khác do tro trấu có độ xốp lớn, khả năng giữ nước tốt nên sẽ làm giảm sự tách nước. Phối hợp sử dụng xi lò cao với tro trấu trong bê tông cát mịn cường độ cao đặc biệt có lợi vì có thể thay thế một lượng khá lớn xi măng bằng hỗn hợp phụ gia khoáng (tro trấu + xi lò cao) mà không gây ảnh hưởng xấu tới cường độ bê tông, do đó có thể sử dụng một lượng lớn chất kết dính trong bê tông mà vẫn đảm bảo lượng dùng xi măng nằm ở mức thấp. Với lượng dùng xi măng tương đối thấp như vậy sẽ rất có lợi đối với các tính chất của bê tông đã rắn chắc, ví dụ như độ co hóa học, sự tỏa nhiệt.

Đối với bê tông có tỷ lệ N/X thấp, độ co hóa học là một trong những yếu tố có thể làm cho bê tông bị nứt trong những ngày đầu rắn chắc. Độ co hóa học phụ thuộc vào lượng dùng xi măng, mức độ thủy hóa của xi măng. Độ co này tăng lên khi tăng lượng dùng xi măng và mức độ thủy hóa của xi măng. Có thể thấy rằng, việc sử dụng hỗn hợp xi lò cao-tro trấu sẽ làm giảm lượng dùng xi măng, từ đó giảm độ co hóa học trong bê tông cường độ cao, nên nguy cơ phát sinh các vết nứt trong bê tông ở những ngày đầu rắn chắc sẽ giảm. Từ đó, nâng cao được chất lượng của bê tông cát mịn cường độ cao, đem lại hiệu quả kinh tế kỹ thuật đáng kể.

Các nghiên cứu và phân tích trên cho thấy sự phối hợp giữa hai phụ khoáng gia xi lò cao và tro trấu có thể nâng cao đáng kể chất lượng của bê tông cát mịn, điều này góp phần quan trọng trong việc phát triển và ứng dụng hai loại phụ gia khoáng này trong chế tạo bê tông cát mịn cường độ cao.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Xi măng: Xi măng Bút Sơn PC40 (XM) đáp ứng được yêu cầu của TCVN 2682:2009, có khối lượng riêng 3,10 g/cm³, độ mịn (lượng sót trên sàng 0,09 mm) 1,8 %, độ dẻo tiêu chuẩn 29,0 %, độ ổn định thể tích 1,0mm, thời gian bắt đầu đông kết 95 phút, thời gian kết thúc đông kết 140 phút. Xi măng đạt cường độ chịu nén 24,0 MPa ở tuổi 3 ngày và 50,2 MPa tuổi 28 ngày.

Cốt liệu nhỏ: Cát mịn (CM) khai thác ở Sông Hồng (Hà Nội) và cát thô Sông Lô (CV) đã được phơi khô sàng loại bỏ các hạt trên 5mm. Thành phần hạt và tính chất của cát được nêu trong các Bảng (1, 2).

Cốt liệu lớn: Đá dăm (Đ) có kích thước hạt lớn nhất 20mm, được sản xuất từ mỏ đá Đồng Ao - Hà Nam. Cốt liệu lớn có khối lượng thể

Bảng 3. Thành phần hoá của tro trấu.

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	MKN
86,98	0,73	0,84	1,40	0,11	2,46	0,57	5,14

Bảng 4. Thành phần hóa học của xi lò cao hạt hóa Thái Nguyên.

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	MnO	TiO ₂	S ²⁻
34,2	0,64	13,7	42,6	6,9	0,08	0,24	0,07	0,81	0,13	1,23

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Để làm rõ các vấn đề nêu trên, nghiên cứu đã tiến hành chế tạo 31 cấp phối bê tông lập theo quy hoạch thực nghiệm bậc hai tâm xoay để nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố: tỷ lệ N/CKD, hàm lượng tro

trấu, hàm lượng xi lò cao, và hàm lượng phụ gia siêu dẻo tới độ sụt của hỗn hợp bê tông và cường độ bê tông. Kết quả nghiên cứu được trình bày tại Bảng 5.

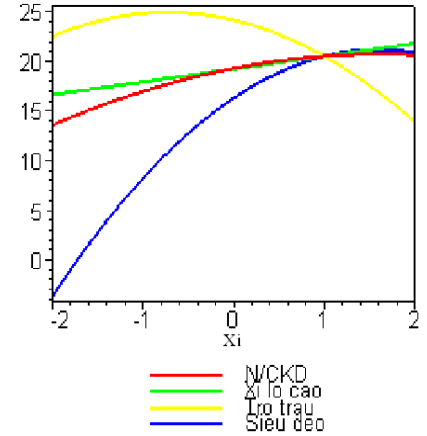
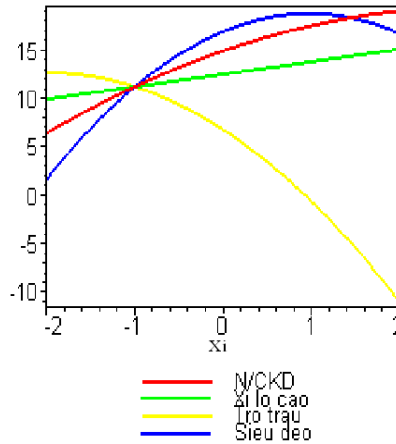
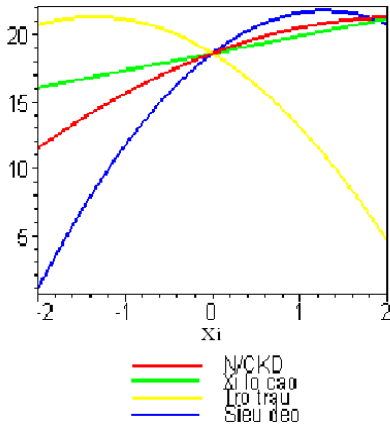
Bảng 5. Thành phần bê tông nghiên cứu và kết quả nghiên cứu.

TT	KH	Lượng dùng vật liệu, kg/m ³							Kết quả TN	
		XM	XLC	TT	N	SD	Đ	CM	ĐS, cm	R _{n28} , N/mm ²
1	CPM1	385	82,5	82,5	154	3,3	1233	479	9,5	92,7
2	CPM2	385	82,5	82,5	187	3,3	1169	455	17,5	79,8
3	CPM3	275	192,5	82,5	154	3,3	1229	478	12,5	89,8
4	CPM4	275	192,5	82,5	187	3,3	1165	453	20,5	78,6
5	CPM5	330	82,5	137,5	154	3,3	1219	474	0,5	93,5
6	CPM6	330	82,5	137,5	187	3,3	1155	449	4,0	82,0
7	CPM7	220	192,5	137,5	154	3,3	1215	473	2,0	88,8
8	CPM8	220	192,5	137,5	187	3,3	1151	448	7,5	81,0
9	CPM9	385	82,5	82,5	154	5,5	1229	478	20,0	93,3
10	CPM10	385	82,5	82,5	187	5,5	1165	453	22,0	80,0
11	CPM11	275	192,5	82,5	154	5,5	1225	476	21,5	90,0
12	CPM12	275	192,5	82,5	187	5,5	1161	452	23,0	79,0
13	CPM13	330	82,5	137,5	154	5,5	1215	472	12,0	93,9
14	CPM14	330	82,5	137,5	187	5,5	1151	448	18,5	82,4
15	CPM15	220	192,5	137,5	154	5,5	1211	471	18,0	90,4
16	CPM16	220	192,5	137,5	187	5,5	1147	446	22,0	80,2
17	CPM17	302,5	137,5	110	137,5	4,4	1254	488	12,0	98,5
18	CPM18	302,5	137,5	110	203,5	4,4	1126	438	22,0	75,4
19	CPM19	412,5	27,5	110	170,5	4,4	1194	464	16,5	88,5
20	CPM20	192,5	247,5	110	170,5	4,4	1186	461	20,5	84,0
21	CPM21	357,5	137,5	55	170,5	4,4	1204	468	22,0	84,9
22	CPM22	247,5	137,5	165	170,5	4,4	1176	457	4,5	87,0
23	CPM23	302,5	137,5	110	170,5	2,2	1194	464	2,5	85,8
24	CPM24	302,5	137,5	110	170,5	6,6	1186	461	20,5	86,0
25	CPM25	302,5	137,5	110	170,5	4,4	1190	463	19,0	88,0
26	CPM26	302,5	137,5	110	170,5	4,4	1190	463	18,5	86,6
27	CPM27	302,5	137,5	110	170,5	4,4	1190	463	19,5	87,8
28	CPM28	302,5	137,5	110	170,5	4,4	1190	463	18,0	87,0
29	CPM29	302,5	137,5	110	170,5	4,4	1190	463	17,5	87,5
30	CPM30	302,5	137,5	110	170,5	4,4	1190	463	18,5	86,5
31	CPM31	302,5	137,5	110	170,5	4,4	1190	463	19,5	88,3

Sau khi đã xác định được mô hình thống kê thực nghiệm mô tả ảnh hưởng của các yếu tố nêu trên tới độ sụt và cường độ chịu nén của bê tông cát mịn. Trên cơ sở phân tích các phương trình hồi quy thực nghiệm đã cho thấy:

- **Ảnh hưởng của từng nhân tố riêng lẻ đến tính công tác khi cố định các nhân tố còn lại:** Ảnh hưởng của các nhân tố riêng lẻ tới tính công tác của hỗn hợp bê tông được trình bày trên Hình 4(a,b,c). Trên

các hình này mô tả sự thay đổi độ sụt của hỗn hợp bê tông khi tăng tỷ lệ N/CKD, hàm lượng xi, tro trấu, hoặc phụ gia siêu dẻo từ giá trị nhỏ nhất đến giá trị lớn nhất trong khoảng khảo sát, trong khi giữ nguyên hàm lượng của 3 nhân tố còn lại ở giá trị ứng với điểm tâm, mức thấp, mức cao của kế hoạch (nghĩa là trị số ở dạng mã hoá của nhân tố đang xét thay đổi từ -2 đến 2, còn 3 nhân tố còn lại có giá trị xi = 0, -1, +1).



Hình 4a. Ảnh hưởng của từng nhân tố riêng lẻ tới độ sụt của hỗn hợp bê tông khi cố định các nhân tố khác tại tâm kế hoạch ($x_i=0$).

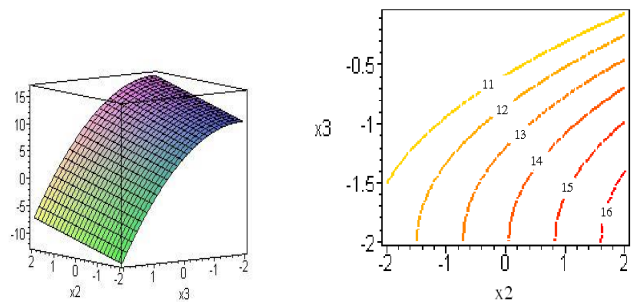
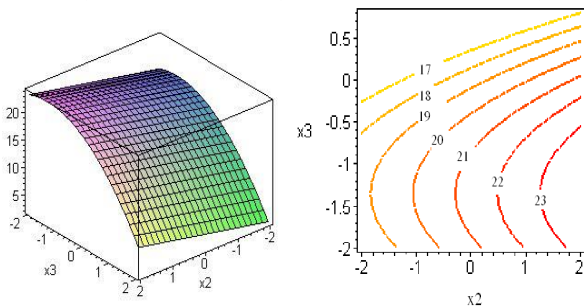
Hình 4b. Ảnh hưởng của từng nhân tố riêng lẻ tới độ sụt của hỗn hợp bê tông khi cố định các nhân tố khác tại mức dưới kế hoạch ($x_i=-1$).

Hình 4c. Ảnh hưởng của từng nhân tố riêng lẻ tới độ sụt của hỗn hợp bê tông khi cố định các nhân tố khác tại mức trên kế hoạch ($x_i=+1$).

Phân tích Hình 4 (a,b,c): Tăng tỷ lệ N/CKD độ sụt hỗn hợp bê tông tăng. Hàm lượng xi tăng độ sụt tăng chứng tỏ khi cho xi vào hỗn hợp bê tông sẽ rất có lợi cho tính công tác. Tăng phụ gia siêu dẻo thì độ sụt của hỗn hợp bê tông tăng, phụ gia siêu dẻo có ảnh hưởng mạnh nhất đến độ sụt, hàm lượng phụ gia siêu dẻo càng lớn thì độ sụt càng cao, tuy nhiên khi tăng hàm lượng phụ gia siêu dẻo gần đến giá trị lớn nhất trong khoảng khảo sát (tức là $x_4 = 1$:-: 2, tương đương giá trị thực là 1 :-: 1,2 % CKD) thì độ sụt không tăng nữa, điều này có thể là do phụ gia siêu dẻo đã đạt đến điểm bão hòa. Ngược lại, khi tăng hàm lượng tro trấu thì độ sụt giảm, đặc biệt ta có thể thấy độ sụt

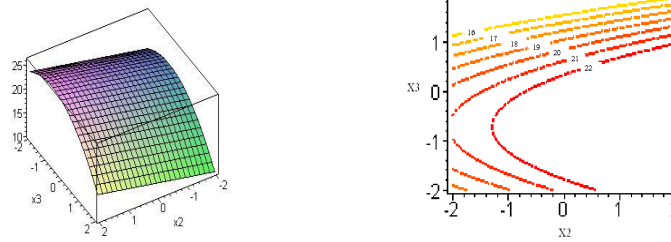
giảm mạnh khi x_3 tăng từ 0 :-: 2 (tương đương giá trị thực là hàm lượng tro trấu tăng từ 20 :-: 30 % CKD). Ngoài ra có thể nhận thấy với những hỗn hợp bê tông có tỷ lệ N/CKD lớn, với các hàm lượng tro trấu nhỏ thì tro trấu không gây ảnh hưởng xấu đến tính công tác của hỗn hợp bê tông.

- **Ảnh hưởng đồng thời của 2 nhân tố đến tính công tác khi cố định các nhân tố còn lại:**
 - Ảnh hưởng của xi lò cao và tro trấu tới độ sụt khi cố định N/CKD và phụ gia siêu dẻo:



Hình 5a. Ảnh hưởng của xi lò cao và tro trấu tới độ sụt của hỗn hợp bê tông khi $x_1=x_4=0$ (N/CKD = 0,31; SD = 0,8 %).

Hình 5b. Ảnh hưởng của xi lò cao và tro trấu tới độ sụt của hỗn hợp bê tông khi $x_1=x_4=-1$ (N/CKD = 0,28; SD = 0,6 %).

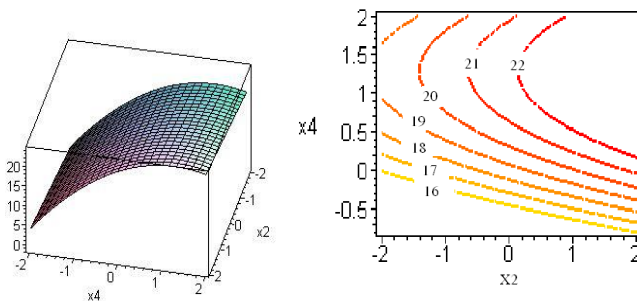


Hình 5c. Ảnh hưởng của xi lò cao và tro trấu tới độ sụt của hỗn hợp bê tông khi $x_1 = x_4 = +1$ (N/CKD = 0,34; SD = 1 %).

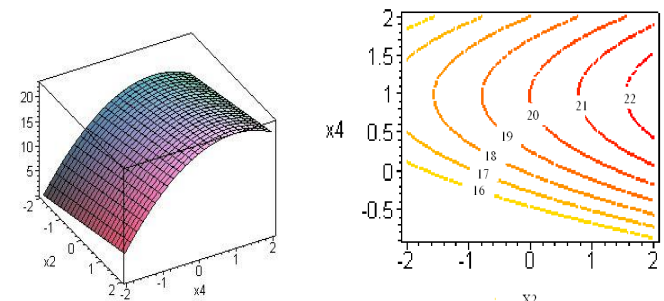
Phân tích trên Hình 5(a,b,c): Khi cố định hàm lượng phụ gia siêu dẻo và tỷ lệ N/CKD ở các mức (thấp, trung bình, cao) thì độ sụt của hỗn hợp bê tông tăng, tỷ lệ thuận với hàm lượng xi lò cao và tỷ lệ nghịch với hàm lượng tro trấu. Điều này cũng phù hợp với xu hướng mô tả trên Hình 4 (a,b,c); Từ kết quả phân tích trên Hình 4(a,b,c) cho thấy độ sụt giảm rất mạnh khi tăng tro trấu từ 20 tới 30%, tuy nhiên trên các Hình 5(a,b,c) cho thấy có thể khắc phục suy giảm độ sụt do tăng tro trấu bằng cách tăng hàm lượng xi lò cao đồng thời với tăng hàm lượng tro trấu theo tỷ lệ hợp lý. Như vậy, việc phối hợp hai phụ

gia khoáng xi lò cao và tro trấu theo tỷ lệ hợp lý cho phép chế tạo bê tông với hàm lượng tro trấu đủ lớn để đảm bảo cường độ mà vẫn đạt yêu cầu về độ sụt hỗn hợp bê tông trong khi không cần dùng quá nhiều phụ gia siêu dẻo. Căn cứ vào các đường đồng mức độ sụt ta có thể dễ dàng lựa chọn được rất nhiều các cặp nghiệm (hàm lượng xi lò cao, hàm lượng tro trấu) để thu được các hỗn hợp bê tông đạt cùng mức độ sụt theo yêu cầu thực tế.

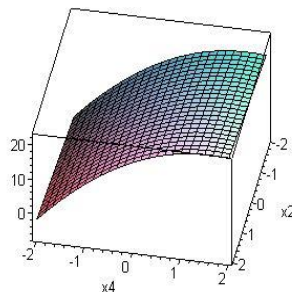
Ảnh hưởng của xi lò cao và siêu dẻo tới độ sụt khi cố định N/CKD và tro trấu:



Hình 6a. Ảnh hưởng của xi lò cao và siêu dẻo tới độ sụt của hỗn hợp bê tông khi $x_1 = x_3 = 0$ (N/CKD = 0,31; Tro trấu = 20 %).



Hình 6b. Ảnh hưởng của xi lò cao và siêu dẻo tới độ sụt của hỗn hợp bê tông khi $x_1 = x_3 = -1$ (N/CKD = 0,28; Tro trấu = 15 %).



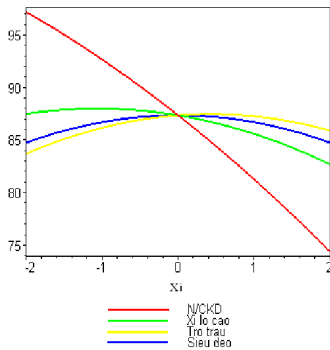
Hình 6c. Ảnh hưởng của xi lò cao và siêu dẻo tới độ sụt của hỗn hợp bê tông khi $x_1 = x_3 = +1$ (N/CKD = 0,34; Tro trấu = 25 %).

Phân tích Hình 6(a,b,c): Tăng hàm lượng phụ gia siêu dẻo và xi lò cao thì độ sụt của hỗn hợp bê tông tăng mạnh. Tuy nhiên khi tăng hàm lượng phụ gia siêu dẻo gần đến giá trị lớn nhất trong khoảng khảo sát (tức là $x_4 = 1$ đến 2, tương đương giá trị thực là 1 đến 1,2 %CKD) thì độ sụt không tăng nữa. Điều này phù hợp với kết

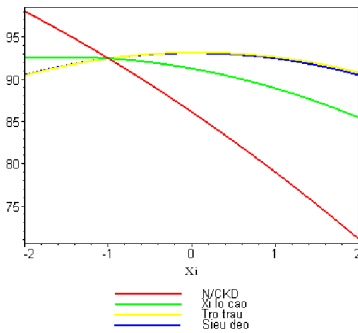
quả phân tích ảnh hưởng của phụ gia siêu dẻo đến độ sụt khi cố định các nhân tố khác ở Hình 4. Như vậy, mặc dù hiệu quả giảm nước tăng độ sụt của phụ gia siêu dẻo là rất lớn song khi tăng hàm lượng siêu dẻo đến một giới hạn nhất định thì hiệu quả này là rất thấp hoặc không còn nữa lúc này muốn tăng tính công tác ta có thể

dùng biện pháp tăng lượng dùng xi lò cao trong phạm vi cho phép, điều này là một trong những điểm khác biệt mà hỗn hợp xi lò cao và tro trấu đem lại so với chỉ dùng nguyên tro trấu.

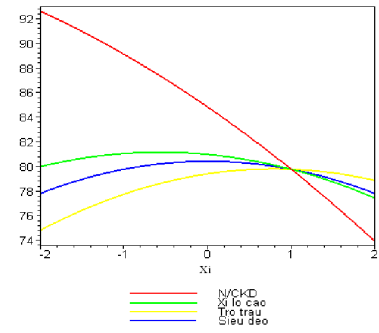
- **Ảnh hưởng của từng nhân tố riêng lẻ đến cường độ bê tông khi cố định các nhân tố còn lại**



Hình 7a. Ảnh hưởng của từng nhân tố riêng lẻ tới cường độ bê tông khi cố định các nhân tố khác tại tâm kế hoạch ($x_1 = 0$).



Hình 7b. Ảnh hưởng của từng nhân tố riêng lẻ tới cường độ bê tông khi cố định các nhân tố khác tại mức dưới kế hoạch ($x_1 = -1$).

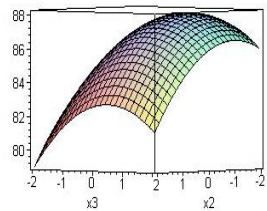


Hình 7c. Ảnh hưởng của từng nhân tố riêng lẻ tới cường độ bê tông khi cố định các nhân tố khác tại mức trên kế hoạch ($x_1 = +1$).

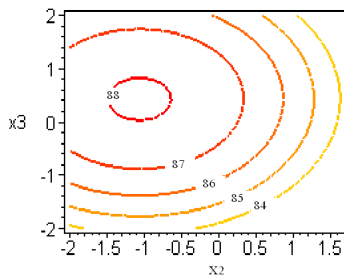
Phân tích Hình 7 (a,b,c) : Tăng tỷ lệ N/CKD trong khoảng khảo sát, cường độ bê tông giảm rất mạnh, đặc biệt khi cố định các nhân tố khác ở mức thấp. Hàm lượng xi tăng từ 5 lên 25 % (x_2 tăng từ -2 lên 0) cường độ bê tông có xu hướng tăng nhưng không nhiều và với hàm lượng xi lớn hơn cường độ bê tông bắt đầu giảm theo sự tăng hàm lượng xi. Hàm lượng phụ gia siêu dẻo trong phạm vi khảo sát

ảnh hưởng không đáng kể đến cường độ bê tông. Tăng hàm lượng tro trấu cường độ bê tông tăng tỷ lệ thuận với hàm lượng tro trấu. Tuy nhiên, khi hàm lượng tro trấu đạt 25 % trở lên cường độ bê tông tăng không đáng kể.

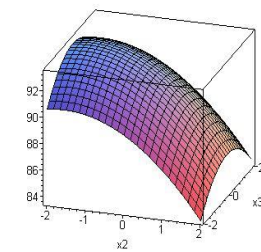
- **Ảnh hưởng của đồng thời xi lò cao và tro trấu đến cường độ chịu nén của bê tông khi cố định các nhân tố còn lại**



Hình 8a. Ảnh hưởng của đồng thời xi lò cao và tro trấu đến cường độ bê tông khi cố định N/CKD và Siêu dẻo tại tâm kế hoạch (N/CKD = 0,31; SD = 0,8 %).



Hình 8b. Ảnh hưởng của đồng thời xi lò cao và tro trấu đến cường độ bê tông khi cố định N/CKD và phụ gia siêu dẻo tại mức thấp (N/CKD = 0,28; SD = 0,6 %).



Hình 8c. Ảnh hưởng của đồng thời xi lò cao và tro trấu đến cường độ bê tông khi cố định N/CKD và phụ gia siêu dẻo tại mức cao (N/CKD = 0,34; SD = 1 %).

Phân tích Hình 8(a,b,c): Tăng hàm lượng tro trấu từ 0 đến khoảng 25 % thì cường độ của bê tông tăng và sau đó cường độ

không tăng nhiều, đặc biệt với bê tông có tỷ lệ N/CKD ở mức thấp cường độ có xu hướng giảm nhẹ khi hàm lượng tro trấu tăng lên quá

25 %. Ngoài ra khi hàm lượng xi lò cao được cố định ở mức thấp thì sự gia tăng cường độ càng cao. Có thể đạt được một giá trị cường độ đã cho bằng cách sử dụng tro trấu và xi lò cao ở hàm lượng tương đối thấp, hoặc bằng cách tăng hàm lượng tro trấu khi xi lò cao được sử dụng ở mức cao. Để đạt cùng một mức cường độ với một hàm lượng tro trấu nhất định có tới hai giá trị hàm lượng xi lò cao một thấp, một cao điều này cho phép chế tạo được bê tông cát mịn đảm bảo được giá trị cường độ tiết kiệm được xi măng và có lợi cho tính công tác của hỗn hợp bê tông.

• Lựa chọn tỷ lệ hợp lý tro trấu và xi lò cao trong bê tông cát mịn trên cơ sở phân tích mô hình hồi quy thực nghiệm

Đã chọn độ sụt của hỗn hợp bê tông là 18cm, hàm lượng phụ gia siêu dẻo sử dụng là 0,6 % ; 0,8 % ; 1 % (ứng với $x_4 = -1; 0,1$), các tỷ lệ N/CKD lấy bằng 0,25; 0,28 ; 0,31 ; 0,34; 0,37 (tương ứng $x_1 = -2; -1; 0; 1; 2$). Các cặp (x_1, x_4) này cùng giá trị độ sụt lựa chọn trên sẽ được sử dụng như các nghiệm để đưa vào hàm hồi quy thực nghiệm về độ sụt [13] từ đó xác định được khoảng biến thiên hàm lượng tro trấu (x_3) cùng quan hệ $x_2 = f(x_3)$ để hỗn hợp bê tông đạt được độ sụt đã chọn trên. Tiếp tục sử dụng các cặp (x_1, x_4) cùng quan hệ $x_2 = f(x_4)$ vừa tìm được đưa vào hàm hồi quy thực nghiệm về cường độ [13] xác lập được quan hệ $R_{28} = f(x_3)$. Sử dụng phần mềm Maple xử lý quan hệ $R_{28} = f(x_3)$ với x_3 nằm trong khoảng biến thiên trên, để dàng tính được các hàm lượng tro trấu (x_3), hàm lượng xi lò cao (x_2) để R_{28} đạt giá trị lớn nhất mà hỗn hợp bê tông tương ứng vẫn đạt được độ sụt đã chọn trước (18 cm). Kết quả nghiên cứu cho thấy hàm lượng hợp lý của các thành phần được thể hiện cụ thể trong Bảng 6.

Tính toán thành phần bê tông theo hàm lượng vật liệu thành phần trong Bảng 6, tiến hành thí nghiệm tính công tác của hỗn hợp bê tông và cường độ chịu nén của bê tông thu được kết quả nghiên cứu được trình bày trong Bảng 7.

Bảng 6. Kết quả hàm lượng xi và tro trấu hợp lý.

TT	KH	ĐS (cm)	Biến mã				Biến thực				R_{nmax} N/mm ²
			x_1	x_2	x_3	x_4	N/CKD	XLC%	TT%	SD%	
1	CP1	18	-2	1,002	-0,665	1	0,25	35,02	16,68	1,0	93,60
2	CP2	18	-1	0,171	-0,991	0	0,28	23,29	15,05	0,8	92,17
3	CP3	18	0	0,628	-1,443	-1	0,31	31,28	12,79	0,6	83,59
4	CP4	18	1	0,044	-0,748	-1	0,34	25,44	16,26	0,6	79,46
5	CP5	18	2	0,072	-0,385	-1	0,37	25,72	18,08	0,6	73,59

Bảng 7. Kết quả nghiên cứu.

TT	KH	Lượng dùng vật liệu, kg/m ³							Kết quả TN		
		XM	XLC	TT	N	SD	Cát	Đ		ĐS, cm	R_{n28} , N/mm ²
								10-20	5-10		
1	CP1	266	193	91,7	138	5,5	488	853	401	18,0	92,0
2	CP2	339	128	82,9	154	4,4	478	836	393	18,5	91,3
3	CP3	308	172	70,3	170	3,3	467	817	384	18,0	82,5
4	CP4	321	140	89,4	187	3,3	453	792	373	18,5	79,2
5	CP5	309	141	99,4	203	3,3	440	769	362	17,5	73,4

Kết quả nghiên cứu Bảng 7 cho thấy tính công tác của hỗn hợp bê tông và cường độ chịu nén của bê tông thực tế chênh lệch không đáng kể so với kết quả tính toán theo lý thuyết. Do đó, việc áp dụng mô hình thực nghiệm để tính toán là đáng tin cậy.

Sau khi xác định được tỷ lệ hợp lý giữa xi lò cao và tro trấu trong một số thành phần bê tông, đã tiến hành sử dụng các cấp phối này để nghiên cứu một số tính chất của bê tông cát mịn cường độ cao như tính công tác, sự suy giảm độ sụt theo thời gian, sự phát triển cường độ, khả năng chống thấm ion clo và mô đun đàn hồi, được trình bày cụ thể:

- **Tính công tác của hỗn hợp bê tông:** Kết quả nghiên cứu Bảng 8 cho thấy hỗn hợp bê tông suy giảm độ sụt không nhiều theo thời gian. Sau 60 phút độ sụt hỗn hợp bê tông vẫn còn đạt khoảng 14,5 cm. Với tính công tác này, hỗn hợp bê tông vẫn có thể thi công được. Nếu muốn duy trì độ sụt của hỗn hợp bê tông sau 60 phút đạt khoảng 16cm thì phải tăng độ sụt ban đầu của hỗn hợp bê tông.

- **Sự phát triển cường độ của bê tông:** Kết quả nghiên cứu thấy bê tông có sự phát triển cường độ khá nhanh. Việc sử dụng kết hợp xi lò cao với tro trấu không làm giảm nhiều tốc độ phát triển cường độ của bê tông ở tuổi sớm. Cường độ nén của bê tông với tỷ lệ N/CKD = 0,25 ở 1,3 và 7 ngày tuổi đạt tương ứng khoảng 45%, 74 % và 85% cường độ nén ở 28 ngày tuổi. Bê tông với tỷ lệ N/CKD khác cũng có tốc độ phát triển cường độ tương tự. Sau 28 ngày cường độ của bê tông vẫn có xu hướng tăng, tuy nhiên với tốc độ chậm hơn. Cường độ nén của bê tông giảm khi tăng tỷ lệ N/CKD. Dựa trên đồ thị Hình 10, khi thiết kế thành phần bê tông có thể lựa chọn tỷ lệ N/CKD để bê tông đạt được cường độ yêu cầu.

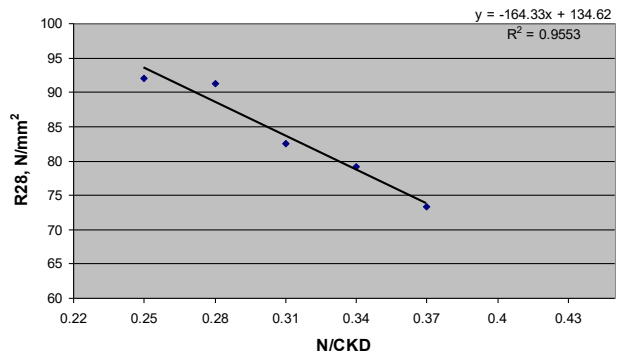
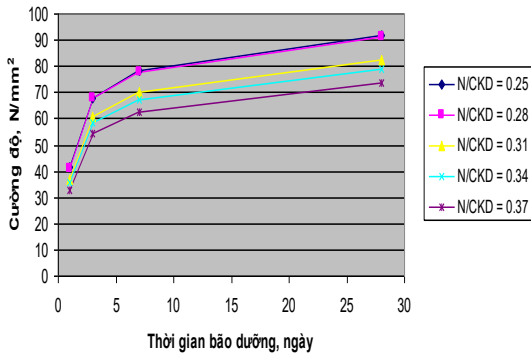
- **So sánh bê tông cát mịn với bê tông cát thô:** Để so sánh bê tông cát mịn và bê tông cát thô, bước đầu nghiên cứu đã sử dụng hai thành phần bê tông có cùng tỷ lệ N/CKD, lượng dùng nước và phụ gia siêu dẻo. Thành phần và kết quả nghiên cứu được trình bày trong Bảng 10 và 11.

Bảng 8. Sự suy giảm độ sụt của các hỗn hợp bê tông theo thời gian.

TT	KH	$\frac{N}{CKD}$	ĐS, cm, tại các thời điểm			
			Tính toán	Thực tế		
			0 phút	0 phút	30 phút	60 phút
1	CP1	0,25	18	18,0	16,5	14,5
2	CP2	0,28	18	18,5	17,5	16,0
3	CP3	0,31	18	18,0	17,0	15,5
4	CP4	0,34	18	18,5	17,5	15,0
5	CP5	0,37	18	17,5	16,5	14,5

Bảng 9. Kết quả nghiên cứu.

TT	KH	$\frac{N}{CKD}$	Cường độ chịu nén, N/mm ²			
			1 ngày	3 ngày	7 ngày	28 ngày
1	CP1	0,25	41,4	68,1	78,3	92,0
2	CP2	0,28	41,2	67,6	77,6	91,3
3	CP3	0,31	37,1	61,0	70,1	82,5
4	CP4	0,34	35,6	58,6	67,3	79,2
5	CP5	0,37	33,0	54,3	62,4	73,4



Hình 9. Sự phát triển cường độ của bê tông.

Hình 10. Ảnh hưởng của tỷ lệ N/CKD tới cường độ nén của bê tông.

Bảng 10. Thành phần bê tông nghiên cứu.

TT	KH	Lượng dùng vật liệu, kg/m ³							
		XM	XLC	TT	SD	N	C	Đ	
								5-10	10-20
1	CP2	339	128	83	4,4	154	478	393	836
2	CPCV	550	0	0	4,4	154	724	333	708

Bảng 11. So sánh tính chất của bê tông cát mịn và bê tông cát vàng.

TT	KH	ĐS, cm	Cường độ ở tuổi 28 ngày, N/mm ²		Mô đun đàn hồi, GPa	Điện lượng truyền qua mẫu, Cu lông	Mức độ thấm ion clo (TCXDVN 360:2005)
			R _{ku28}	R _{n28}			
1	CP2	18,5	18,9	82,5	66,9	179	Rất thấp
2	CPCV	20,0	16,5	76,0	63,5	1238	Thấp

Dựa vào kết quả thử nghiệm cho thấy sử dụng phối hợp xi lò cao và tro trấu có thể nâng cao được chất lượng của bê tông cát mịn

cụ thể làm tăng khả năng chịu uốn, chịu nén, mô đun đàn hồi và khả năng chống thấm ion clo của bê tông. Ngoài ra, bê tông cát mịn sử

dụng hỗn hợp phụ gia khoáng (tro trấu + xi lò cao) có khả năng chống thấm ion clo cao hơn bê tông cát thô, mặc dù có lượng dùng xi măng chỉ bằng 62 % so với bê tông cát thô.

3. Kết luận và kiến nghị

- Sự suy giảm độ sụt của hỗn hợp bê tông cát mịn theo thời gian không đáng kể. Nếu độ sụt hỗn hợp bê tông ban đầu 18 cm thì sau 60 phút độ sụt còn 14,5 cm, điều này có được không chỉ do tác dụng của loại phụ gia siêu dẻo mà còn do việc đưa xi lò cao và tro trấu vào thành phần bê tông làm giảm đáng kể lượng dùng xi măng nên tồn thất độ sụt diễn ra chậm.

- Sử dụng xi lò cao hạt hóa phối hợp với tro trấu không làm giảm nhiều tốc độ phát triển cường độ của bê tông cát mịn cường độ cao (cường độ chịu nén ở 1,3,7 ngày tuổi đạt khoảng 45 %, 74 %, 85 % cường độ nén ở 28 ngày tuổi). Hoàn toàn có thể chế tạo bê tông cát mịn có cường độ chịu nén trên 60 N/mm², độ sụt = 18 cm với lượng dùng xi măng nhỏ hơn 350 kg/m³.

- Sử dụng xi lò cao hạt hóa phối hợp với tro trấu làm phụ gia khoáng có thể thay thế lượng dùng silica fume nhập ngoại, giảm lượng dùng phụ gia siêu dẻo và giảm đáng kể lượng xi măng mà vẫn đảm bảo chất lượng bê tông cát mịn (tính công tác, cường độ, sự duy trì độ sụt, khả năng chống thấm ion clo và mô đun đàn hồi). Từ đó tận dụng được lượng lớn xi lò cao và tro trấu là nguyên vật liệu sẵn có, rẻ tiền trong nước để chế tạo bê tông cường độ cao có giá thành thấp góp phần nâng cao khả năng ứng dụng của loại bê tông này vào thực tiễn xây dựng ở nước ta.

Dựa trên kết quả nghiên cứu thực nghiệm có thể kiến nghị một số nội dung cụ thể sau:

- Tiếp tục nghiên cứu ảnh hưởng của hỗn hợp xi lò cao và tro trấu tới một số tính chất khác của bê tông cát mịn cường độ cao (độ co ngót, sự toả nhiệt, độ bền chống xâm thực...), và nghiên cứu khả năng ứng dụng của hỗn hợp các phụ gia khoáng này trong các loại bê tông đặc biệt như bê tông tự lèn, bê tông chống ăn mòn trong môi trường biển.

- Xi lò cao và tro trấu là sản phẩm phế thải có sản lượng lớn ở Việt Nam. Sau khi được xử lý và nghiền mịn tới độ mịn hợp lý, nó có triển vọng ứng dụng đáng kể trong xây dựng ở nước ta. Việc sử dụng xi lò cao và tro trấu là một giải pháp xử lý phế thải có hiệu quả kinh tế cao, tốt cho môi trường. Tuy nhiên để có thể biến tiềm năng này của xi lò cao và tro trấu thành hiện thực đòi hỏi phải có đầu tư công nghệ đốt và nghiền hiện đại mục tiêu đảm bảo chất lượng cũng như độ ổn định của sản phẩm.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Al-Khalaf, M.N. and Yousif, H.A., "Use of rice husk ash in concrete", J. Cement Composite and Lightweight Concrete, Vol. 6, N° 4, November 1984, pp. 241-248.
- [2]. Houston, D. F., "Rice Hulls", Rice Chemistry and Technology, (Ed. Houston, D. F.) American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, 1972, pp. 301-352.
- [3]. James, J. and Rao, M. S., "Characterization of silica in rice husk ash", The American Ceramic Society Bulletin, Vol. 65, N° 8, 1986, 1177-1180.
- [4]. Sugita, S., Shoya, M., and Tokuda, H., "Evaluation of pozzolanic activity of rice husk ash", in: Fly Ash, Slag and Silica Fume in Concrete, Proc. 4th Int. Conf., Istanbul, Turkey, May 1992, (Ed. V.M. Malhotra), ACI, Detroit, 1993, pp. 495-505.
- [5]. Final Report of RILEM TC 73-SBC, "Siliceous by-products for use in concrete", J. Materials and Structures, Vol. 21, N°121, 1988, pp. 69-80.
- [6]. Chatveera, B. and Nimityongsyul, P., "High performance concrete containing modified rice husk ash", in: Appropriate Concrete Technology, (Eds. R.K. Dhir and M.J. McCarthy), E & FN Spon, London, 1996, pp. 299-308.
- [7]. Zhang, M.H. and Malhotra, V.M., "High performance concrete incorporating rice husk ash as a supplementary cementing material", ACI Materials Journal, Vol. 93, N° 6, 1996, pp. 629-636.
- [8]. Zhang, M.H., Lastra, R., and Malhotra, V.M., "Rice husk ash paste and concrete: some aspects of hydration and the microstructure of the interfacial zone between the aggregate and paste", Cement and Concrete Research, 1996, Vol. 26, N°6, pp. 963-977.
- [9]. Trieu Luu Long Vu, Nguyen Tien Khoa, Nguyen Tien Binh and Tran Ba Viet, "Utilization of Rice Husk Ash in Lieu of Silica Fume for production of High Performance Concrete and Mortar", in: Proc. ICCMC/ISBT 2001 Int. Conf. on the Advanced Technology in Design, Construction and Maintenance of Concrete Structures, March 2001, Hanoi, Vietnam, Construction Publishing House, March 2001, pp. 654-660.
- [10]. Bùi Danh Đại, "Nghiên cứu chế tạo microsilica từ tro trấu thay thế muội silic trong bê tông chất lượng cao", Báo cáo đề tài cấp Bộ, B2004-34-54, Bộ Giáo dục và Đào tạo, 2005.
- [11]. Nguyen Van Chanh, Phan Xuan Hoang and Phung Van Lu, "Hybrid Coconut-Glass-Fiber Reinforced High-Flowable Cementitious Composites", in: Proc. ICCMC/ISBT 2001 Int. Conf. on the Advanced Technology in Design, Construction and Maintenance of Concrete Structures, March 2001, Hanoi, Vietnam, Construction Publishing House, March 2001, pp. 540-545.
- [12]. Viện Vật liệu Xây Dựng (Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu sử dụng xi hạt lò cao Nippon Nhật bản làm phụ gia khoáng cho sản xuất xi măng tại công ty xi măng Holcim Việt Nam).
- [13]. Ngô Văn Toàn, "Nghiên cứu sử dụng cát mịn và hỗn hợp phụ gia khoáng tro trấu - xi lò cao để chế tạo bê tông cường độ cao", Luận văn thạc sỹ kỹ thuật - Đại học Xây dựng, 2010.