



NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HỖN HỢP PHỤ GIA TRO TRẤU-TRO BAY ĐẾN TÍNH CHẤT CƠ LÝ CỦA BÊ TÔNG CHẤT LƯỢNG CAO

Bạch Đình Thiên¹, Văn Viết Thiên Ân², Phan Giang Nam³

Tóm tắt: Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng phối hợp của hỗn hợp phụ gia tro trấu và tro bay đến tính công tác và cường độ nén của bê tông chất lượng cao mác M80. Kết quả nghiên cứu cho thấy tro trấu làm giảm độ sụt trong khi tro bay cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông. Khi kết hợp tro trấu-tro bay với hàm lượng hợp lý thì tro trấu có thể cải thiện tính công tác cho hỗn hợp bê tông có chứa tro bay. Cả tro trấu và tro bay đều có thể cải thiện cường độ nén của bê tông chất lượng cao. Việc sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng tro trấu-tro bay với hàm lượng hợp lý sẽ cho hỗn hợp bê tông có tính công tác tốt đồng thời cường độ nén ở tuổi 28 ngày cao nhất.

Từ khóa: Bê tông chất lượng cao; tro trấu; tro bay.

Summary: The present study investigated the synergic effects of rice husk ash (RHA) and fly ash (FA) on workability and compressive strength of high performance concrete (HPC) with 80MPa-compressive strength at the age of 28 days. The results showed that RHA reduces the slump meanwhile FA improves the workability of HPC. RHA can improve the workability of concrete mixture by using ternary binders containing suitable FA contents. Both RHA and FA have positive effect on compressive strength at the age of 28 days. The optimized ternary binder containing RHA and FA can produce high performance concrete with good workability and a highest 28d compressive strength.

Keywords: High performance concrete; rice husk ash; fly ash.

Nhận ngày 8/5/2015, chỉnh sửa ngày 20/5/2015, chấp nhận đăng 30/6/2015



1. Giới thiệu

Để đáp ứng được yêu cầu phát triển của công nghiệp xây dựng, hiện nay bê tông sử dụng cho nhà cao tầng, siêu cao tầng, hệ thống cầu hầm và cọc móng ứng suất trước thường có cường độ nén đạt trên 60 MPa, thậm chí có thể đạt đến cường độ 80÷100 MPa. Bên cạnh cường độ nén, yêu cầu về chất lượng của bê tông cũng được đặt ra nhằm nâng cao khả năng làm việc của kết cấu. Bê tông chất lượng cao là loại bê tông không những có cường độ cao mà còn được đặc trưng bởi sự vượt trội so với bê tông thông thường về các tính năng khác như độ lưu động cao hơn, mô đun đàn hồi lớn hơn, cường độ chịu uốn cao hơn, độ thấm nước thấp hơn, khả năng chịu mài mòn lớn hơn và độ bền cao hơn [1]. Theo Malier [2], chất lượng của bê tông phụ thuộc vào độ chắc của nó. Bê tông càng đặc chắc thì cường độ và khả năng chống thấm càng cao, nên độ bền càng lớn. Để cải thiện độ đặc chắc của bê tông thì cần giảm lượng dùng nước bằng cách sử dụng phụ gia siêu dẻo, đồng thời sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính cao nhằm giảm lượng dùng xi măng, cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông và tăng độ đặc chắc và độ bền của đá xi măng và bê tông.

Việt Nam sản xuất khoảng 40 triệu tấn lúa/năm [3] và có thể thu được khoảng 1,5 triệu tấn tro trấu. Với chế độ đốt hợp lý, tro trấu có độ hoạt tính pozzolanic rất cao. Tro trấu-nguồn vật liệu silic hoạt tính có thể tái tạo này có thể sử dụng như là phụ gia hoạt tính cao để thay thế hoàn toàn silica fume và một phần xi măng trong sản xuất bê tông chất lượng cao [4-7]. Nó góp phần làm giảm giá thành, tăng độ bền, tăng tính thân thiện với môi trường cho bê tông. Tuy nhiên, với cấu trúc xốp rỗng, tro trấu nghiền mịn có thể hút một lượng nước lớn làm tăng lượng cần nước hoặc phụ gia siêu dẻo cho hỗn hợp vữa và bê tông [4, 6, 8-10].

¹PGS. TSKH, Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng. E-mail: bdthien2003@yahoo.co.uk.

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

³ThS, Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng.

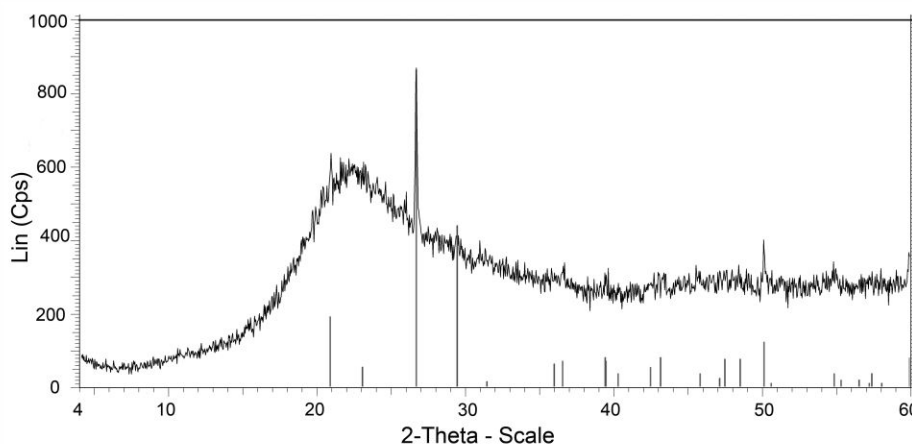
Hiện nay, nguồn tro bay nhiệt điện và xỉ lò cao ở nước ta rất dồi dào do nhiều nhà máy nhiệt điện và luyện gang thép được đầu tư xây dựng. Do nguồn cung cấp dồi dào, giá thành rẻ, có khả năng cải thiện cường độ, độ bền và tính thân thiện với môi trường cho bê tông, việc sử dụng các nguyên liệu thải phẩm công nghiệp này được dự báo sẽ tăng trưởng mạnh [11, 12]. Phụ gia khoáng tro bay, xỉ lò cao thường giảm lượng dùng nước hoặc lượng dùng phụ gia siêu dẻo của hỗn hợp bê tông. Tuy nhiên, tốc độ phát triển cường độ của bê tông sử dụng tro bay hoặc xỉ lò cao sẽ thấp ở các tuổi sớm ngày. Việc sử dụng phối hợp giữa một phụ gia khoáng có độ hoạt tính thấp hơn như tro bay hoặc xỉ lò cao với một phụ gia khoáng có độ hoạt tính cao như tro trấu hay silica fume có thể tạo ra các hiệu ứng hóa lý có lợi cho hỗn hợp bê tông và bê tông đã rắn chắc [13-16].

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của sự kết hợp tro trấu-tro bay đến độ sụt và cường độ nén ở 1 và 28 ngày tuổi của bê tông chất lượng cao có cường độ nén tối thiểu ở tuổi 28 ngày là 80 Mpa.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1 Vật liệu

Xi măng PC40 Nghi Sơn, tro bay Phả Lại, tro trấu là các vật liệu chất kết dính được sử dụng trong nghiên cứu. Cát vàng Sông Lô và đá dăm Hà Nam là cốt liệu. Các đặc tính hóa lý của vật liệu sử dụng được trình bày ở Bảng 1 và Bảng 2. Tro bay sử dụng là loại F theo ASTM C618-12a. Mẫu tro trấu là loại vật liệu cao silic ở dạng vô định hình được xác định thông qua phương pháp phân tích nhiễu xạ tia X (The X-ray diffraction-XRD-Hình 1). Các tính chất khác của vật liệu sử dụng được trình bày chi tiết tại nghiên cứu trước đây [7, 17]. Phụ gia siêu dẻo có gốc polycarboxylate với hàm lượng chất rắn 40% được sử dụng để chế tạo bê tông.



Hình 1. XRD của tro trấu

Bảng 1. Thành phần hóa của vật liệu chất kết dính, [wt.-%]

	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SO ₃	L.O.I
Xi măng	21,5	3,22	6,03	63,9	0,21	0,67	1,22	2,1	1,16
Tro trấu	85,4	0,9	0,5	1,5	0,52	1,85	0,6	0,3	5,8
Tro bay	58,7	7,31	22,89	0,98	0,33	3,6	0,85	0,1	4,41

Chú thích: L.O.I- Mất khi nung

Bảng 2. Tính chất cơ lý cơ bản của vật liệu

	Xi măng	Tro trấu	Tro bay	Cát	Đá dăm
Khối lượng riêng [g/cm ³]	3,16	2,05	2,23	2,66	2,72
Kích thước hạt trung bình [μm]	22,13	15,11	19,42	-	-
Cường độ xi măng [MPa]	3 ngày	30,5	-	28 ngày	49,7

2.2 Cấp phối bê tông

Thiết kế thành phần bê tông được tính toán dựa vào ACI 211.4R-08 [18], biểu đồ Walz [19] và thành phần cấp phối cốt liệu tối ưu. Cấp phối cốt liệu tối ưu là tỷ lệ hỗn hợp cốt liệu có độ rỗng nhỏ nhất được xác định theo phương pháp Kirienko [20]. Cấp phối điển hình sử dụng 100% xi măng và cấp phối sử dụng hỗn

hợp phụ gia khoáng với 15% tro trấu và 20% tro bay thay thế xi măng nhằm đạt được hỗn hợp bê tông có độ sụt trong khoảng 16-22 cm, cường độ nén ở tuổi 28 ngày > 80 MPa được đưa ra ở Bảng 3. Lượng nước trộn thực tế sẽ gồm lượng nước tính toán (Bảng 3) cộng với lượng nước bão hòa khô bề mặt của cốt liệu. Chi tiết xác định cấp phối cốt liệu tối ưu và tính toán cấp bê tông có thể tìm thấy ở nghiên cứu trước đây [17].

Bảng 3. Cấp phối điển hình hỗn hợp bê tông chất lượng cao

Hỗn hợp	Xi măng	Tro trấu	Tro bay	Cát	Đá 5-10	Đá 10-20	Nước	Siêu dẻo	N/CKD
	[kg/m ³]								
100:0:0	573,9	0	0	675,0	332,2	743,1	155	3,59	0,27
65:15:20	373,0	86,1	114,8	643,9	316,8	708,9	155	3,59	0,27

2.3 Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu đã sử dụng các phương pháp tiêu chuẩn và phi tiêu chuẩn để xác định các tính chất của nguyên vật liệu sử dụng, hỗn hợp bê tông và bê tông đã rắn chắc. Cường độ nén của bê tông được xác định trên mẫu có kích thước 100x100x100 mm³. Hỗn hợp cốt liệu tối ưu là hỗn hợp cốt liệu có độ rỗng nhỏ nhất, được xác định theo phương pháp Kirienko [20].

Hỗn hợp bê tông là hệ đa cấu tử và thường có nhiều hơn một hàm mục tiêu cần đạt được. Các phương pháp cổ điển dùng để tối ưu hóa thành phần cấp phối của bê tông là “thử và sai” hoặc là thay đổi một cấu tử thành phần để nghiên cứu ảnh hưởng của nó đến các đặc tính của bê tông. Chúng không hiệu quả và tiêu tốn nhiều thí nghiệm. Đồng thời chúng khó có thể đưa ra cấp phối tối ưu về mặt kinh tế. Các phương pháp qui hoạch thực nghiệm theo tối ưu hóa bề mặt tiêu chuẩn thường được sử dụng để tối ưu hóa thành phần cấp phối bê tông bằng cách biến n cấu tử thành phần phụ thuộc thành n-1 biến số độc lập bằng cách chia tỷ lệ của 2 cấu tử thành phần cho nhau. Tuy nhiên, việc thay đổi hàm lượng của 1 cấu tử thành phần của cấp phối ngay lập tức sẽ dẫn đến sự thay đổi hàm lượng của ít nhất 1 cấu tử thành phần khác bởi vì tổng các thành phần cấp phối luôn ở mức 100%. Vì vậy, một phương pháp qui hoạch thực nghiệm mà có thể đánh giá ảnh hưởng của tất cả các biến số phụ thuộc đến các hàm mục tiêu của cấp phối bê tông là rất cần thiết. Mô hình thực nghiệm Thành phần-Tính chất phù hợp để giải quyết vấn đề này [21, 22]. Trong mô hình này, mỗi biến số thành phần cấp phối có thể biến đổi phụ thuộc với các biến số thành phần cấp phối khác. Nhờ đó chúng ta có thể đánh giá được ảnh hưởng của tất cả các cấu tử thành phần đến các đặc tính của bê tông. Vì vậy, mô hình thực nghiệm Thành phần-Tính chất với phần mềm Design-Expert 7 sẽ được ứng dụng để đánh giá ảnh hưởng phối hợp của tro trấu, tro bay thay thế từng phần xi măng đến tính công tác và cường độ ở tuổi 1 và 28 ngày của hỗn hợp bê tông chất lượng cao trong nghiên cứu này. Từ đó có thể đánh giá được ảnh hưởng phối hợp của hỗn hợp phụ gia khoáng tro trấu-tro bay thay thế xi măng đến tính chất của bê tông đồng thời lựa chọn được cấp phối hệ chất kết dính hỗn hợp tối ưu cho bê tông chất lượng cao.



3. Kết quả và thảo luận

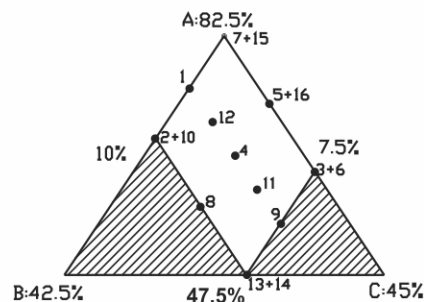
3.1 Thiết kế mô hình thực nghiệm Thành phần-Tính chất

Tổng khối lượng của chất kết dính (xi măng, tro trấu và tro bay) cũng như phương pháp trộn, đúc, điều kiện dưỡng hộ và phương pháp thử được giữ không đổi cho tất cả các hỗn hợp trong nghiên cứu. Các loại phụ gia khoáng (tro trấu và tro bay) đưa vào để thay thế một phần khối lượng của xi măng. Đó là một hỗn hợp chất kết dính được pha trộn của 3 thành phần vật liệu. Các điều kiện ràng buộc cho các thành phần chất kết dính (A, B, C) được lựa chọn dựa trên kết quả của các nghiên cứu trước đây [13-16] và các kết quả khảo sát sơ bộ: $A + B + C = 100\%$; $47,5\% \leq A\text{-Xi măng} \leq 82,5\%$; $7,5\% \leq B\text{-Tro trấu} \leq 22,5\%$ và $10\% \leq C\text{-Tro bay} \leq 30\%$.

Lựa chọn mô hình thiết kế dạng tối ưu D: Thành phần-Tính chất. Ở đây giả thiết rằng, mô hình bậc hai ba biến số được thỏa mãn để có thể đại diện cho ảnh hưởng của các thành phần hỗn hợp chất kết dính đến các đặc trưng của hỗn hợp bê tông và bê tông đã đóng rắn như độ sụt (R_1) và cường độ nén ở tuổi 1 ngày (R_2), cường độ nén ở tuổi 28 ngày (R_3).

$$R=f(A, B, C)=\beta_1A+\beta_2B+\beta_3C+\beta_{12}AB+\beta_{13}AC+\beta_{23}BC \quad (1)$$

trong đó: $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ là các hệ số tuyến tính; $\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$ là sự tương tác của các thành phần hỗn hợp.



Hình 2. 16 điểm cấp phối theo thiết kế tối ưu D với các điểm thí nghiệm lặp

Phương trình bậc hai hoàn chỉnh sẽ có 6 tham số (công thức 1). Kế hoạch thực nghiệm với thiết kế dạng tối ưu D của chương trình Design-Expert 7 yêu cầu 16 cấp phối của các thành phần (A, B, C) bao gồm 11 cấp phối khác nhau, trong đó có 5 cấp phối được làm lặp lại một lần để ước tính độ chính xác của phép lặp (Hình 2 và Bảng 4). Kết quả thí nghiệm độ sụt (R_1), cường độ nén 1 ngày tuổi (R_2) và cường độ nén ở tuổi 28 ngày (R_3) của 16 cấp phối thực nghiệm được đưa ra trong Bảng 4. Các kết quả R_1^* , R_2^* , R_3^* là các kết quả tương ứng được tính toán theo phương trình hồi qui.

Bảng 4. Kết quả thực nghiệm 16 cấp phối theo mô hình thiết kế tối ưu D

STT	Xi măng A [%]	Tro trấu B [%]	Tro bay C [%]	Thực nghiệm			Dự đoán		
				R_1 [cm]	R_2 [kG/cm ²]	R_3 [kG/cm ²]	R_1^* [cm]	R_2^* [kG/cm ²]	R_3^* [kG/cm ²]
1	75,0	15,0	10	21	439,3	901,0	20,8	423,1	891,6
2	67,5	22,5	10	18	356,0	826,3	18,4	378,2	818,5
3	62,5	7,5	30	24	314,0	854,0	23,0	322,5	852,8
4	65,0	15,0	20	22	348,0	1019,7	22,4	350,4	992,0
5	72,5	7,5	20	21	407,3	983,0	22,3	395,3	950,5
6	62,5	7,5	30	23	300,0	828,0	23,0	322,5	852,8
7	82,5	7,5	10	22	477,3	861,0	21,2	468,0	854,8
8	57,5	22,5	20	21,5	306,7	893,5	20,5	305,5	923,6
9	55,0	15,0	30	22,5	286,7	910,5	23,6	277,6	899,0
10	67,5	22,5	10	18	370,0	830,0	18,4	378,2	818,5
11	60,0	15,0	25	24	313,0	960,0	23,1	314,0	969,7
12	70,0	15,0	15	22	400,0	927,0	21,6	386,7	966,0
13	47,5	22,5	30	22,5	232,0	856,5	22,4	232,7	835,3
14	47,5	22,5	30	22	245,0	825,0	22,4	232,7	835,3
15	82,5	7,5	10	21	455,5	833,3	21,2	468,0	854,8
16	72,5	7,5	20	22	400	957,0	22,3	395,3	950,5

3.2 Ảnh hưởng của thành phần chất kết dính đến tính công tác của hỗn hợp bê tông

a) Đánh giá mô hình

Độ sụt của 16 cấp phối bê tông được xác định như trên Bảng 4. Chương trình Design-Expert 7 được sử dụng để phân tích và đánh giá kết quả thực nghiệm. Bước đầu tiên trong việc phân tích là đánh giá tính phù hợp của mô hình lựa chọn. Cho dù việc lựa chọn mô hình bậc hai ban đầu cho việc thiết kế kế hoạch thực nghiệm, với các kết quả cụ thể quá trình thực nghiệm, chương trình vẫn có thể đề xuất mô hình khác phù hợp hơn với các thông số thực nghiệm đưa vào chương trình. Với các dữ liệu thực nghiệm đầu vào về độ sụt của bê tông, phần mềm vẫn đề xuất nên sử dụng mô hình bậc hai cho quá trình đánh giá. Mô hình hoàn chỉnh như sau:

$$R_1 = 0,18929 \cdot A - 1,29228 \cdot B + 0,1166 \cdot C + 0,017362 \cdot A \cdot B + 1,71745 \cdot 10^{-3} \cdot A \cdot C + 0,026579 \cdot B \cdot C \quad (2)$$

Trước hết, phân tích phương sai (ANOVA) được sử dụng để kiểm tra mức có nghĩa của mô hình và của các hệ số mô hình. Các số liệu phân tích bởi chương trình ở Bảng 5 cho thấy mô hình (công thức 2) đưa ra là có nghĩa. Độ chính xác của mô hình là chấp nhận được.

Bảng 5. Phân tích phương sai (ANOVA) của mô hình đặc trưng cho tính công tác của hỗn hợp bê tông

Nguồn	Tổng các bình phương	Số bậc tự do	Giá trị trung bình của bình phương	Giá trị F	Giá trị p Prob > F	
Mô hình (Model)	35,57	5	7,11	9,77	0,0013	Có ý nghĩa
Hỗn hợp tuyến tính (Linear Mixture)	29,41	2	14,71	20,19	0,0004	
AB	3,08	1	3,08	4,23	0,0669	
AC	0,089	1	0,089	0,12	0,7343	
BC	5,62	1	5,62	7,71	0,0196	
Số dư (Residual)	7,28	10	0,73			
Sự không phù hợp (Lack of Fit)	5,66	5	1,13	3,48	0,0985	Không có ý nghĩa
Sai số thuần (Pure Error)	1,63	5	0,33			
Hệ số R^2 (R-Squared)	0,8300					
Hệ số R^2 điều chỉnh (Adj R-Squared)	0,7450					
Hệ số R^2 dự đoán (Pred R-Squared)	0,5722					

Hệ số AC của mô hình hoàn chỉnh (công thức 1) là hệ số không ảnh hưởng đến giá trị của hàm mục tiêu và có thể loại bỏ (giá trị Prob>F lớn hơn 0,1- Bảng 5). Trong trường hợp này, việc loại bỏ hệ số này sẽ không ảnh hưởng lớn đến mô hình rút gọn bởi vì giá trị “Adj R-squared” chỉ thay đổi không đáng kể. Hơn nữa việc loại bỏ các hệ số thể hiện sự tương tác giữa các biến số là không nên đối với mô hình thiết kế dạng tối ưu D bậc hai: thành phần-tính chất. Hai hệ số “Adj R-squared” và “Pred R-squared” có giá trị tương ứng là 0,7450 và 0,5722 (Bảng 5). Độ chênh lệch của 2 hệ số này không quá 0,2 vì vậy mô hình này là phù hợp. Kết hợp với các công cụ đánh giá của chương trình Design-Expert 7 cho thấy mô hình hoàn chỉnh ở công thức 2 có thể sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của các biến số phụ thuộc (xi măng, tro trấu, tro bay) đến độ sụt của hỗn hợp bê tông chất lượng cao.

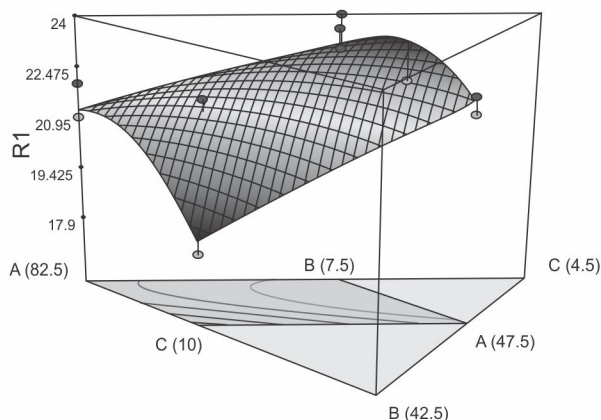
b) Đánh giá ảnh hưởng của thành phần chất kết dính đến độ sụt của hỗn hợp bê tông

Để đánh giá ảnh hưởng của thành phần chất kết dính đến độ sụt của hỗn hợp bê tông, bề mặt biểu hiện và đường đồng mức của hàm mục tiêu là tính công tác đối với hàm lượng tro trấu và tro bay trong cấp phối chế tạo được đưa ra ở Hình 3.

Kết quả trên Hình 3 cho thấy ứng với mỗi hàm lượng tro trấu thay thế thì khi tăng hàm lượng tro bay sẽ cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông. Đối với các hỗn hợp bê tông có hàm lượng tro bay thấp thì khi tăng hàm lượng tro trấu sẽ làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông. Tuy nhiên, khi hàm lượng tro bay tăng thì sẽ có một lượng tro trấu tối ưu để cho hỗn hợp bê tông có tính công tác tốt nhất. Như vậy, nếu hỗn hợp bê tông không sử dụng tro bay hoặc sử dụng tro bay với hàm lượng thấp thì tro trấu sẽ ảnh hưởng không có lợi đến độ sụt của hỗn hợp bê tông trong khi tro bay rõ ràng đã cải thiện tính công tác của hỗn hợp. Việc phối hợp phụ gia khoáng tro trấu-tro bay đã giảm thiểu ảnh hưởng không có lợi của tro trấu đến độ sụt của hỗn hợp bê tông. Kết quả này cũng phù hợp với kết quả nghiên cứu trước đây của Chindaprasirt và cộng sự [14].

3.3 Ảnh hưởng của thành phần chất kết dính đến cường độ nén ở tuổi 1 và 28 ngày của bê tông

Tương tự như đánh giá ảnh hưởng của thành phần chất kết dính đến tính công tác, cường độ nén ở tuổi 1 ngày và 28 ngày của 16 cấp phối bê tông được xác định như trên Bảng 4. Dựa vào kết quả thực



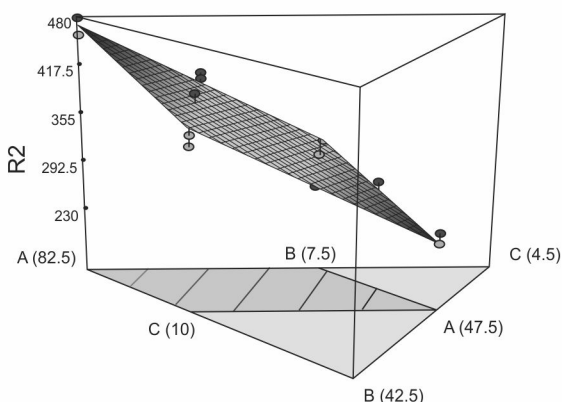
Hình 3. Bề mặt biểu hiện và các đường đồng mức thể hiện tính công tác của hỗn hợp bê tông

nghiệm của cường độ nén tuổi 1 ngày, chương trình Design-Expert 7 đề xuất sử dụng mô hình tuyến tính chứ không phải mô hình bậc hai như đã được lựa chọn để thiết kế mô hình thực nghiệm ban đầu. Còn đối với kết quả cường độ nén ở tuổi 28 ngày, chương trình vẫn đề xuất nên sử dụng mô hình bậc hai cho quá trình đánh giá. Mô hình hoàn chỉnh đối với hàm mục tiêu cường độ nén ở tuổi 1 ngày (R_2) như trên công thức 3 và đối với hàm mục tiêu là cường độ nén ở tuổi 28 ngày (R_3) như trên công thức 4.

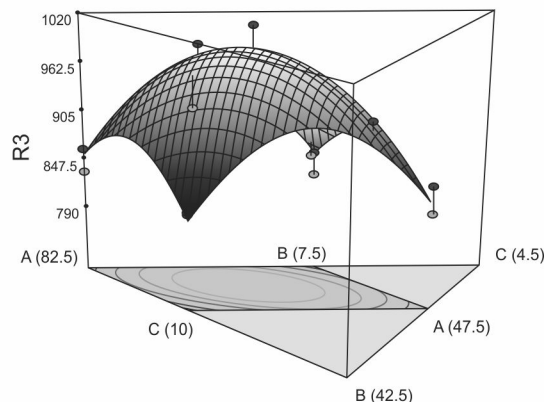
$$R_2 = 5,85697 \cdot A - 0,1313 \cdot B - 1,41827 \cdot C \quad (3)$$

$$R_3 = 4,23665 \cdot A - 67,14505 \cdot B - 54,36716 \cdot C + 0,97627 \cdot A \cdot B + 0,96728 \cdot A \cdot C + 2,00605 \cdot B \cdot C \quad (4)$$

Các bước phân tích phương sai (ANOVA) cũng được sử dụng để kiểm tra mức có nghĩa của mô hình và của các hệ số mô hình. Các công cụ của phần mềm đã được sử dụng để đánh giá các mô hình. Các bước đánh giá cho thấy các mô hình hoàn chỉnh ở công thức 3 và 4 có thể sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của các biến số phụ thuộc (xi măng, tro trấu, tro bay) đến cường độ ở tuổi 1 và 28 ngày của bê tông chất lượng cao. Ảnh hưởng của thành phần chất kết dính đến cường độ ở tuổi 1 ngày và 28 ngày được thể hiện thông qua bề mặt biểu hiện và đường đồng mức được thể hiện trên Hình 4 và Hình 5.



Hình 4. Bề mặt biểu hiện và các đường đồng mức thể hiện cường độ nén 1 ngày tuổi của bê tông



Hình 5. Bề mặt biểu hiện và các đường đồng mức thể hiện cường độ nén 28 ngày tuổi của bê tông

Kết quả trên Hình 4 cho thấy khi càng tăng hàm lượng tro trấu và tro bay thì cường độ 1 ngày tuổi của bê tông càng giảm. Tuy nhiên, ảnh hưởng của tro bay đến sự giảm cường độ ở tuổi sớm mạnh hơn so với tro trấu. Điều này cho thấy ảnh hưởng không có lợi đến cường độ ở tuổi sớm cho bê tông có sử dụng phụ gia khoáng tro bay và tro trấu.

Bề mặt biểu hiện và đường đồng mức thể hiện cường độ ở tuổi 28 ngày (Hình 5) cho thấy ở mọi tỷ lệ thay thế của tro bay khi tăng dần hàm lượng tro trấu thì cường độ nén của bê tông lúc đầu tăng lên sau đó giảm xuống. Tương tự như vậy đối với tro bay, khi tăng hàm lượng tro bay thì cường độ bê tông lúc đầu tăng lên sau đó giảm xuống đối với tất cả các hỗn hợp có chứa tro trấu. Kết quả trên Hình 5 cho thấy có một tỷ lệ cấp phối chất kết dính (xi măng-tro trấu-tro bay) tối ưu cho phép bê tông đạt cường độ cao nhất. Vì vậy, việc phối hợp sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng tro trấu-tro bay đã cải thiện cường độ nén ở tuổi 28 ngày so với việc sử dụng một loại phụ gia khoáng thay thế xi măng do các hiệu ứng hóa lý phối hợp. Kết quả này phù hợp với kết luận của những nghiên cứu trước đây [13-16].

3.4 Tối ưu hóa thành phần chất kết dính cho bê tông chất lượng cao M80

Các công cụ tối ưu hóa của phần mềm Design-Expert 7 được sử dụng để tìm ra tỷ lệ tối ưu của chất kết dính của bê tông chất lượng cao có chứa tro trấu và tro bay. Các chỉ tiêu đầu vào được thể hiện trong Bảng 6. Chương trình sẽ đưa ra một số giải pháp. Giải pháp tốt nhất là khi lựa chọn cường độ nén ở tuổi 28 ngày cao nhất, hàm lượng xi măng thấp để sản phẩm bê tông chất lượng cao có giá thành rẻ và thân thiện với môi trường hơn. Kết quả độ sụt và cường độ nén của hỗn hợp thử nghiệm có tỷ lệ thay thế xi măng bằng 15% tro trấu và 20% tro bay và hỗn hợp tính toán do phần mềm Design-Expert đề xuất ở Bảng 6 có độ sai khác không lớn lắm. Vì vậy, tỷ lệ hàm lượng chất kết dính gồm 65% xi măng, 15% tro trấu và 20% tro bay được chọn là tỷ lệ tối ưu cho hỗn hợp bê tông chất lượng cao. Cường độ ở tuổi 28 ngày của cấp phối lựa chọn đạt 1019,7 kg/cm² trên mẫu 100x100x10mm³. Theo TCVN 3118:1993 cường độ nén quy đổi sang mẫu tiêu chuẩn là 1019,7x0,91 = 928 kg/cm², đạt mức thiết kế yêu cầu M80 của bê tông chất lượng cao. Khối lượng vật liệu cho 1m³ bê tông chất lượng cao có cấp phối tối ưu được đưa ra trong Bảng 3 (cấp phối 65:15:20).

Bảng 6. Cấp phối tối ưu theo phần mềm và cấp phối lựa chọn

Vật liệu	Biến	Mục tiêu	Giới hạn	Đơn vị	Tỷ lệ chất kết dính cho cường độ nén 28 ngày cao nhất	
					Theo Design-Expert	Chọn
Xi măng	A	Trong khoảng	47,5÷82,5	[%]	65,8	65
Tro trấu	B		7,5÷22,5		14,1	15
Tro bay	C		10÷30		20,2	20
Độ sụt			18÷24	[cm]	22,5	22
Cường độ (R_s)		Lớn nhất	825÷1019,7	[kG/cm ²]	992,8	1019,7



4. Kết luận

Các kết luận có thể được rút ra từ các kết quả nghiên cứu như sau:

- Mô hình qui hoạch thực nghiệm thiết kế dạng tối ưu D: Thành phần-Tính chất cho các hàm mục tiêu của độ sụt hỗn hợp bê tông và cường độ nén của bê tông với 3 biến số là thành phần của chất kết dính có chứa tro trấu và tro bay tương hợp tốt với các giá trị thực nghiệm. Ảnh hưởng của các thành phần chất kết dính đến tính công tác và cường độ nén của bê tông có thể nhận thấy rõ thông qua bề mặt biểu hiện và đường đồng mức của hàm mục tiêu nhờ phần mềm Design-Expert 7.

- Khi thay thế một phần xi măng bằng tro trấu sẽ làm giảm độ sụt của hỗn hợp bê tông chất lượng cao trong khi tro bay có khả năng cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông. Việc phối hợp phụ gia khoáng tro trấu-tro bay với tỷ lệ phù hợp đã giảm thiểu ảnh hưởng không có lợi của tro trấu đến tính công tác của bê tông.

- Mức độ giảm cường độ bê tông ở tuổi 1 ngày của tro trấu thấp hơn so với tro bay. Việc sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng tro trấu-tro bay với hàm lượng hợp lý sẽ nâng cao cường độ nén ở tuổi 28 ngày cho bê tông. Tỷ lệ chất kết dính tối ưu gồm 65% xi măng, 15% tro trấu và 20% tro bay sẽ cho cường độ nén ở tuổi 28 ngày cao nhất.

Tài liệu tham khảo

1. Neville, A.M. (2002), *Properties of concrete*, Fourth and Final Edition ed, Pearson Education Limited.
2. Malier, Y. (1992), *High Performance Concrete: From Material to Structure*, E&FN Spon, London.
3. FAOSTAT. Rice production. Available from: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>.
4. Sugita, S., M. Shoya, and H. Tokuda (1992), "Evaluation of Pozzolanic Activity of Rice Husk Ash", *Proceedings of the 4th CANMET/ACI International Conference on Fly ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, Istanbul, Turkey, p. 495-512.
5. Chandrasekhar, S. and etc (2003), "Review Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk—an overview", *Journal of Materials Science*, 38(15): p. 3159-3168.
6. Van, V.-T.-A. and etc (2013), "Mesoporous structure and pozzolanic reactivity of rice husk ash in cementitious system", *Construction and Building Materials*, 43(0): p. 208-216.
7. Bạch Đình Thiên và cộng sự (2013), *Nghiên cứu sản xuất vật liệu phụ gia trong chế tạo bê tông chất lượng cao từ tro trấu*, Báo cáo đề tài NCKH Bộ GD và đào tạo, Mã số: B 2010-03-87 TĐ.
8. Salas, A. and etc (2009), "Comparison of two processes for treating rice husk ash for use in high performance concrete", *Cement and Concrete Research*, 39(9): p. 773-778.
9. Nehdi, M., J. Duquette, and A. El Damatty (2003), "Performance of rice husk ash produced using a new technology as a mineral admixture in concrete", *Cement and Concrete Research*, 33(8): p. 1203-1210.
10. Bui, D.D. (2001), *Rice Husk Ash as a mineral admixture for high performance concrete*, Delft University, The Netherlands.

11. Oner, A. and S. Akyuz (2007), "An experimental study on optimum usage of GGBS for the compressive strength of concrete", *Cement and Concrete Composites*, 29(6): p. 505-514.
12. Makrides-Saravanos, E. (1996), *Engineering properties of high performance concrete containing large volume of class C fly ash*, University of Saskatchewan, Canada.
13. Chindapasirt, P. and etc (2007), "Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash", *Construction and Building Materials*, 21(6): p. 1356-1361.
14. Chindapasirt, P. and S. Rukzon (2008), "Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar", *Construction and Building Materials*, 22(8): p. 1601-1606.
15. Chindapasirt, P., S. Rukzon, and V. Sirivivatnanon (2008), "Effect of carbon dioxide on chloride penetration and chloride ion diffusion coefficient of blended Portland cement mortar", *Construction and Building Materials*, 22(8): p. 1701-1707.
16. Chindapasirt, P., S. Rukzon, and V. Sirivivatnanon (2008), "Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash", *Construction and Building Materials*, 22(5): p. 932-938.
17. Phan, G.N. (2014), *Nghiên cứu chế tạo bê tông chất lượng cao M70-90 sử dụng phụ gia hỗn hợp từ tro trấu và tro tuyển nhà máy nhiệt điện*, Trường Đại học Xây dựng.
18. ACI 211.4R-08: *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials*, ACI Committee 211.
19. Walz, K. (1958), "Anleitung für die Zusammensetzung und Herstellung von Beton mit bestimmten Eigenschaften", *Beton- und Stahlbetonbau*, Sonderdruck, Jhg.
20. Кириенко, И.А. (1967), *Высокопрочный бетон*, Киев, Будывельник.
21. Myers, R.H., D.C. Montgomery, and C.M. Anderson-Cook (2009), *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*, Vol. Third Edition, Wiley.
22. Anderson-Cook, C.M. (2004), "Mixture and mixture-process variable experiments for pharmaceutical applications", *Pharmaceutical Statistics*, 3(4): p. 247-260.