

THIẾT KẾ TỐI ƯU THÀNH PHẦN BÊ TÔNG SIÊU ĐÔNG CỨNG NHANH, CHỐNG ĂN MÒN CỐT THÉP BẰNG PHƯƠNG PHÁP QUY HOẠCH THỰC NGHIỆM

Phạm Toàn Đức

Khoa Xây dựng

Email: ducpt@dhhp.edu.vn

Ngày nhận bài: 13/8/2021

Ngày PB đánh giá: 06/9/2021

Ngày duyệt đăng: 09/9/2021

TÓM TẮT: Khi nghiên cứu chế tạo những loại bê tông mới, khi thiết kế thành phần cấp phối bê tông có sử dụng nhiều loại phụ gia, hoặc các loại bê tông đa cốt liệu thì việc thiết kế thành phần bê tông theo cách thông thường gặp rất nhiều khó khăn do các ẩn số đầu vào quá nhiều. Bài báo này đề cập đến việc ứng dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm để thiết kế thành phần bê tông có khả năng siêu đông cứng nhanh và chống ăn mòn cốt thép. Đây là loại bê tông đặc biệt do sử dụng tổ hợp nhiều loại phụ gia khác nhau.

Từ khóa: Quy hoạch thực nghiệm, tổ hợp phụ gia, bê tông siêu đông cứng, chống ăn mòn cốt thép.

OPTIMAL DESIGN OF SUPER-FAST HARDENING CONCRETE COMPONENTS, ANTI-CORROSION REINFORCEMENT BY EXPERIMENTAL PLANNING METHOD

ABSTRACT: When researching and manufacturing new types of concrete, when designing concrete mix compositions that use many types of admixtures, or multi-aggregate concrete types, the design of concrete compositions in the usual way is very common, many difficulties due to too many input unknowns. This paper refers to the application of experimental planning methods to design concrete components capable of super-fast hardening and corrosion resistance of reinforcement. This is a special type of concrete due to the use of a combination of many different admixtures.

Key words: Experimental planning, additive combination, super-hardening concrete, reinforcing corrosion resistance

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xuất phát từ thực trạng hiện nay rất nhiều công trình vùng ven biển bị hư hỏng. Các giải pháp sửa chữa hư hỏng còn nhiều bất cập, chưa triệt để. Phổ biến hiện nay là giải pháp sử dụng vữa hoặc bê tông lấp kín vùng hư hỏng, vữa hoặc bê tông sử dụng có được trộn các loại phụ gia để nâng cao một số tính chất nhất định. Các “tổ hợp phụ gia” thường được sử dụng và dễ áp dụng trong vữa bê tông sửa chữa công trình ven biển gồm có: Tổ hợp siêu dẻo + chống ăn

mòn; tổ hợp siêu dẻo + đông cứng nhanh; tổ hợp siêu dẻo + phụ gia khoáng mịn [3]. Trong khi đó, bê tông dùng sửa chữa những hư hỏng cho công trình vùng ven biển đòi hỏi nâng cao đồng thời nhiều tính chất hơn như: Cần có tính dẻo để dễ nhào trộn, dễ thi công, đồng đều hơn; Cần đông cứng nhanh để đảm bảo sớm chịu được ảnh hưởng của tác động như tải trọng đi lại, mực nước thủy triều, tác động của sóng... trong đó, đặc biệt lưu ý vị trí sửa chữa nằm ở vùng thủy triều lên xuống, sóng đánh dễ làm hư hỏng phần

vữa bê tông mới thi công; Cần có khả năng bảo vệ cốt thép, chống ăn mòn cốt thép cũng như ăn mòn lớp bê tông bảo vệ; Cần có độ đặc chắc cao để tăng khả năng chống thấm, không cho nước biển thấm qua.

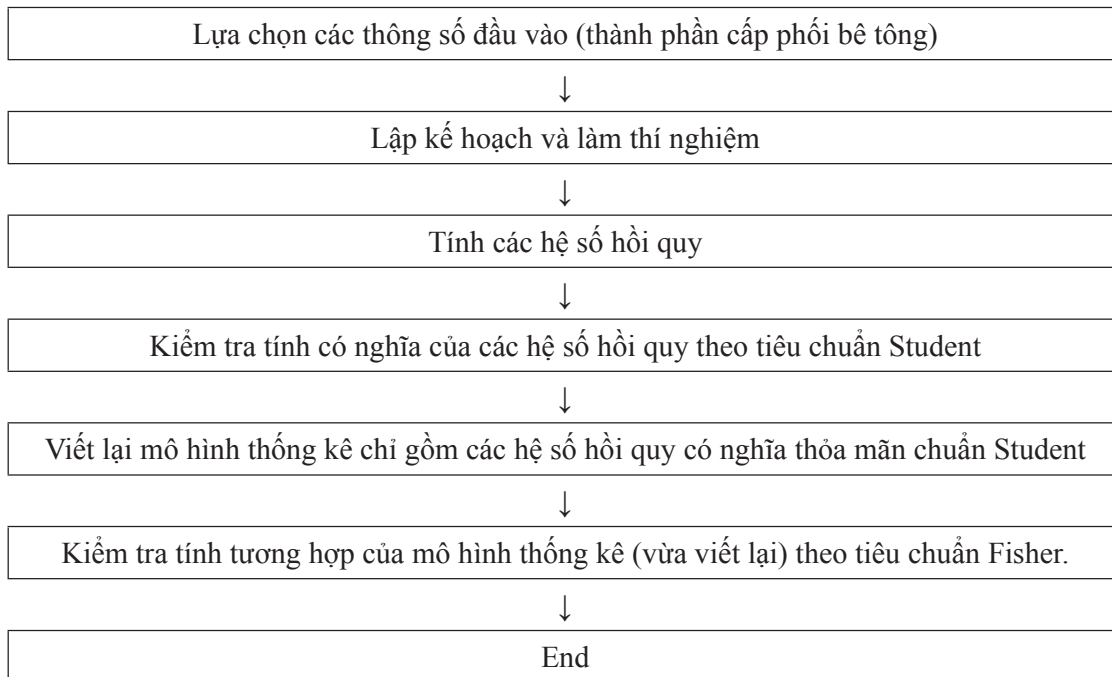
Vì vậy, chìa khóa để chế tạo được loại bê tông đặc biệt, đòi hỏi nhiều phẩm chất như trên là lựa chọn được tổ hợp các loại phụ gia và ứng dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm để thiết kế tối ưu thành phần loại bê tông này. Trong nghiên cứu [1], chúng tôi đã đi theo hướng như vậy và đã đạt được một số kết quả rất khả quan.

2. TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

Việc thiết kế thành phần cấp phối bê tông thông thường giống như việc giải phương trình chứa nhiều ẩn số. Tuy nhiên do các ẩn số đầu vào thường là những cốt liệu đã quen thuộc, đã có nhiều nghiên cứu về ảnh hưởng của các loại cốt liệu sử dụng trong bê tông cũng như là mối liên hệ giữa các cốt liệu với nhau để bê tông đạt được những tính chất tối ưu. Chính vì vậy, việc giải bài toán thiết

kế thành phần bê tông với nhiều ẩn số vẫn thực hiện được cùng với phương pháp thể tích tuyệt đối [4]. Tuy nhiên trong thực tế, khi nghiên cứu chế tạo các loại bê tông mới, những ảnh hưởng của cốt liệu mới đến chất lượng bê tông chưa có những nghiên cứu cụ thể, chưa có những đánh giá mối liên hệ giữa các cốt liệu với nhau. Hoặc khi thiết kế thành phần bê tông sử dụng nhiều loại phụ gia hay bê tông đa cốt liệu, số lượng ẩn số tăng lên nhiều và việc giải bài toán nhiều ẩn chỉ sử dụng phương pháp thông thường gặp rất nhiều khó khăn. Khi đó việc kết hợp giữa phương pháp thực nghiệm và toán học (quy hoạch thực nghiệm) để tìm ra hàm lượng phụ gia tối ưu để cải thiện một số tính chất nào đó của bê tông sẽ là giải pháp khoa học có độ tin cậy cao.

Trong nghiên cứu thiết kế chế tạo bê tông siêu đông cứng nhanh, chống ăn mòn cốt thép chúng tôi sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm bậc 2 tâm xoay. Sơ đồ thuật toán của phương pháp này được thể hiện như sau:



Nếu thỏa mãn thì mô hình thống kê tương hợp số liệu thực nghiệm, khi đó có thể dựa vào mô hình này để đưa ra các kết luận cần thiết. Ngược lại cần phải xem xét cải tiến lại mô hình.

3. THIẾT KẾ TỐI ƯU THÀNH PHẦN BÊ TÔNG SIÊU ĐÔNG CỨNG NHANH, CHỐNG ĂN MÒN CỐT THÉP

3.1. Lựa chọn phụ gia sử dụng cho nghiên cứu

Lựa chọn phụ gia tăng cường nhanh

Do mục đích yêu cầu cần chế tạo loại bê tông có đặc tính đông cứng siêu nhanh để bê tông sớm có khả năng chịu được tác động của sóng, nước biển dâng cũng như tải trọng đi lại trên kết cấu nên trong nghiên cứu, chúng tôi chọn loại phụ gia chuyên biệt tăng cường nhanh là HI.01 của hãng Vmat. Phụ gia HI.01 có dạng bột, màu xám, nguồn gốc canxi fomate có thể giúp bê tông đạt 50% cường độ sau 4-5 giờ thi công, 75% cường độ sau 6-8 giờ.

Cơ chế tăng cường nhanh của bê tông sử dụng phụ gia HI.01 có thể giải thích như sau: thành phần hoá học chính của xi măng poocăng là C_3S , C_2S , C_3A và C_4AF . Các khoáng C_3S , C_2S tạo ra các hydrat canxi silicat C-S-H tạo ra sự đông cứng ban đầu, phát triển cường độ sớm và độ bền giới hạn. C_3A giải phóng một lượng nhiệt lớn trong quá trình thủy hoá sớm, còn C_4AF tạo ra màu xám của bê tông xi măng poocăng. Hợp chất canxi fomate tham gia phản ứng với C_3A để giải phóng nhiệt sớm góp phần như một chất tăng độ rắn chắc - lượng nhiệt làm cho quá trình đông cứng nhanh hơn. Bên cạnh đó sự tỏa nhiệt và mất độ ẩm bê tông trong quá trình đông cứng nhanh làm giảm thể tích của bê tông, đây chính là hiện tượng co ngót bê tông giai đoạn đóng rắn. Khi ứng suất kéo xuất hiện bởi hiện tượng co ngót bê tông lớn hơn cường độ chịu kéo của bê tông tại thời

điểm đó sẽ xuất hiện hiện tượng nứt. Vì vậy, khi sử dụng phụ gia tăng nhanh quá trình thủy hóa xi măng, cần kết hợp với phụ gia hóa học có tính trương nở để bù lại độ co này.

Lựa chọn phụ gia siêu dẻo. Với mục đích sử dụng phụ gia siêu dẻo để giảm lượng dùng nước, tăng độ dẻo của bê tông đồng thời để bê tông có độ trương nở nhẹ để bù lại độ co của vữa bê tông (nguyên nhân gây rạn nứt bê tông mới đổ) khi bị thủy hóa thì phụ gia Vmat SCC là một lựa chọn tốt. Phụ gia Vmat SCC có tính giảm nước cao (đạt từ 30-35%), đây là sản phẩm được tổng hợp từ polymer vô cơ và hữu cơ. Vmat SCC là phụ gia dạng bột, có độ mịn cao (lọt sàng 0,3155 mm là 8%), độ ẩm 0,6%; hàm lượng MgO là 5%; pH = 7.

Lựa chọn phụ gia khoáng hoạt tính.

Phụ gia khoáng hoạt tính được sử dụng trong nghiên cứu là xỉ lò cao nghiền mịn Hòa Phát S95. Bằng cách làm nguội nhanh xỉ lò cao luyện thép sẽ thu được xỉ hoạt hóa. Khi nghiền mịn với tỷ diện 4000-6000g/cm² (mịn hơn xi măng), xỉ lò cao có tính tự kết dính và hút vôi. Đây là sản phẩm phi kim loại, có thành phần tùy theo thành phần của quặng, đá gây chảy và tạp chất trong than cốc được cho vào lò cao. Để có được tính chất thủy hóa tốt thì xỉ lỏng phải được làm nguội nhanh khi lấy ra khỏi lò cao. Nhờ đó sẽ giảm tối thiểu sự kết tinh và chuyển xỉ lỏng thành hạt, bao gồm chủ yếu là các chất không kết tinh như: silicat, aluminat canxi và các chất kiềm khác. Bên cạnh hiệu quả đưa vào trong bê tông giống như các puzolan nói chung thì xỉ lò cao còn thúc đẩy tạo môi trường kiềm bền vững bao quanh cốt thép ngăn ngừa ion Cl⁻ xâm thực ăn mòn cốt thép. Độ mịn của xỉ lò cao cũng giúp nó len lõi lấp đầy cấu trúc bê tông vì vậy tăng độ đặc chắc, cường độ bê tông, khả năng chống thấm.

3.2. Lựa chọn cốt liệu khác

Xi măng: Ở Việt Nam hiện nay có nhiều loại xi măng do nhiều nhà máy trên khắp các tỉnh thành sản xuất. Theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 2682-2009 thì xi măng Poóc lăng (PC) là loại xi măng không được pha phụ gia công nghệ vượt quá 5%, tuy nhiên tại các công trình xây dựng thường có các mỏ puzolan gần đó, do vậy với xi măng PC có thể tiến hành nghiên cứu, đánh giá ảnh hưởng của puzolan được lựa chọn đến tính chất của vữa và của bê tông một cách rõ ràng. Ngoài ra puzolan còn có tác dụng làm giảm nhiệt thủy hóa, bổ sung lượng hạt mịn, tăng tính công tác, tăng độ đặc chắc của bê tông sau khi đóng rắn v.v... Mặt khác, xi măng PCB mỗi nhà máy khác nhau sẽ sử dụng phụ gia khoáng với hàm lượng sử dụng là khác nhau, do vậy khi đánh giá ảnh hưởng của puzolan sẽ khó khăn và phức tạp hơn, còn trong nghiên cứu của đề tài là sử dụng xi lò cao nghiên cứu mịn là phụ gia khoáng nên cần sử dụng xi măng loại PC.

Xi măng được sử dụng trong nghiên cứu là xi măng PC40 Chinfon Hải phòng.

Cát: Được lựa chọn sử dụng tuân theo quy định của tiêu chuẩn TCVN7570:2006 - Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật.

Cát sử dụng trong nghiên cứu là cát sông Lô có mô đun độ lớn là 3,1, khối lượng thể tích 1410 kg/m³, khối lượng thể tích là 2,68 g/cm³.

Đá dăm: Đá sử dụng trong đề tài được khai thác từ Phủ Lý- Hà Nam đã được phân thành 2 cấp hạt 5-10 mm và 10-20 mm. Đá dăm có khối lượng thể tích là 1410 kg/m³, khối lượng riêng là 2,73 g/cm³

3.3. Xây dựng quy hoạch thực nghiệm cho các thành phần cấp phối

Phương pháp chủ đạo sử dụng trong nghiên cứu đề tài là phương pháp quy hoạch thực nghiệm trực giao cấp 2 [2]. Lựa chọn cố định lượng dùng siêu dẻo Vmat SCC =5%*chất kết dính theo kinh nghiệm và khuyến cáo của nhà sản xuất. Ngoài ra, các biến thay đổi và hàm nghiên cứu được lựa chọn như sau:

Biến đầu vào trong nghiên cứu quy hoạch thực nghiệm (biến thực)

- Z_1 : Tổng lượng dùng chất kết dính (xi măng + xỉ lò cao), kg/m³

- Z_2 : Liều lượng xỉ lò cao/(xi măng + xỉ lò cao), %

- Z_3 : Liều lượng phụ gia tăng cứng, % tổng lượng dùng chất kết dính;

Bảng 1. Giá trị mã hoá và giá trị thực của các yếu tố ảnh hưởng

	Biến mã xi, i=1÷3	Biến thực		
		Z_1	Z_2	Z_3
Mức cao	+1	430	25	1
Mức thấp	-1	350	15	0,2
Mức không	0	390	20	0,6
Khoảng biến thiên DZi		40	5	0,4
Mức +a	+1,215	439	26	1,086
Mức -a	-1,215	341	14	0,114

Các hàm mục tiêu nghiên cứu trong thí nghiệm

y_1 : Cường độ bê tông ở tuổi 04 giờ (MPa)

y_2 : Cường độ bê tông ở tuổi 06 giờ (MPa)

y_3 : Cường độ bê tông ở tuổi 28 ngày (MPa)

y_4 : Độ chống thấm nước của bê tông (Kg/cm²)

y_5 : Mức độ thấm ion Cl⁻ (cu lông)

Bảng 2. Ma trận quy hoạch thực nghiệm trực giao cấp 2, ba yếu tố

STT	Biến mã			Biến thực		
	X ₁	X ₂	X ₃	Z ₁	Z ₂	Z ₃
1	1	1	1	430	25	1
2	-1	1	1	350	25	1
3	1	-1	1	430	15	1
4	-1	-1	1	350	15	1
5	1	1	-1	430	25	0,2
6	-1	1	-1	350	25	0,2
7	1	-1	-1	430	15	0,2
8	-1	-1	-1	350	15	0,2
9	1,215	0	0	439	20	0,6
10	-1,215	0	0	341	20	0,6
11	0	1,215	0	390	26	0,6
12	0	-1,215	0	390	14	0,6
13	0	0	1,215	390	20	1,086
14	0	0	-1,215	390	20	0,114
15	0	0	0	390	20	0,6

Bảng 3. Thành phần cấp phối và kết quả thí nghiệm

Cấp phối	Xi măng (kg)	Xi lò cao (kg)	Cát (kg)	Đá 5-10 mm (kg)	Đá 10-20 mm (kg)	Nước (lít)	PG siêu dẻo (kg)	PG tăng cứng (kg)	Cường độ tuổi 4 giờ (MPa)	Cường độ tuổi 6 giờ (MPa)	Cường độ tuổi 28 ngày (MPa)	Độ chống thấm nước (kg/cm ²)	Độ thấm ion Cl ⁻ (Cu lông)
CP1	323	108	744	349	721	150	21.5	4.3	21.0	31.5	42	13	500
CP2	263	88	774	364	751	150	17.5	3.5	15.0	22.5	30	12	550
CP3	366	65	745	350	722	150	21.5	4.3	24.5	34.3	44.5	12	700
CP4	298	53	775	364	751	150	17.5	3.5	17.6	24.6	32	11	750
CP5	323	108	746	350	723	150	21.5	0.9	3.4	7.1	42	13	500
CP6	263	88	775	364	752	150	17.5	0.7	2.4	5.2	30.5	12	550
CP7	366	65	747	351	724	150	21.5	0.9	4.5	9.0	45	12	700
CP8	298	53	776	365	753	150	17.5	0.7	3.3	6.5	32.5	11	750
CP9	351	88	742	348	719	150	21.95	2.6	13.4	17.9	44.8	13	530
CP10	273	68	779	366	755	150	17.05	2.0	8.4	11.2	28	11	620
CP11	289	101	760	357	737	150	19.5	2.3	10.1	13.0	36	12	520
CP12	335	55	761	357	738	150	19.5	2.3	12.3	16.2	38.5	11	730
CP13	312	78	759	357	736	150	19.5	4.2	20.4	28.5	37	12	570
CP14	312	78	761	357	738	150	19.5	0.4	2.2	3.7	37.2	12	570
CP15	312	78	760	357	737	150	19.5	2.3	11.1	14.8	37	12	570

Bảng 4. Ma trận trực giao bậc 2 n=3, n₀=1 và kết quả thí nghiệm

Nh	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ ² - β	x ₂ ² - β	x ₃ ² - β	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅
1	+1	1	1	1	0,27	0,27	0,27	+1	+1	+1	21.0	31.5	42	13	500
2	+1	-1	1	1	0,27	0,27	0,27	-1	-1	+1	15.0	22.5	30	12	550
3	+1	1	-1	1	0,27	0,27	0,27	-1	+1	-1	24.5	34.3	44.5	12	700
4	+1	-1	-1	1	0,27	0,27	0,27	+1	-1	-1	17.6	24.6	32	11	750
5	+1	1	1	-1	0,27	0,27	0,27	+1	-1	-1	3.4	7.1	42	13	500
6	+1	-1	1	-1	0,27	0,27	0,27	-1	+1	-1	2.4	5.2	30.5	12	550
7	+1	1	-1	-1	0,27	0,27	0,27	-1	-1	+1	4.5	9.0	45	12	700
8	+1	-1	-1	-1	0,27	0,27	0,27	+1	+1	+1	3.3	6.5	32.5	11	750
9	+1	1.215	0	0	0,746	-0,73	-0,73	0	0	0	13.4	17.9	44.8	13	530
10	+1	-1.215	0	0	0,746	-0,73	-0,73	0	0	0	8.4	11.2	28	11	620
11	+1	0	1.215	0	-0,73	0,746	-0,73	0	0	0	10.1	13.0	36	12	520
12	+1	0	-1.215	0	-0,73	0,746	-0,73	0	0	0	12.3	16.2	38.5	11	730
13	+1	0	0	1.215	-0,73	-0,73	0,746	0	0	0	20.4	28.5	37	12	570
14	+1	0	0	-1.215	-0,73	-0,73	0,746	0	0	0	2.2	3.7	37.2	12	570
15	+1	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,73	0	0	0	11.1	14.8	37	12	570

Thành phần bê tông sử dụng trong thí nghiệm và kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén (các độ tuổi), khả năng chống thấm nước, độ thấm ion Clo của bê tông được cho trong bảng 3. Ma trận trực giao bậc 2 tâm xoay 3 yếu tố được trình bày tại bảng 4.

3.4. Xây dựng các hàm mục tiêu nghiên cứu

Bằng phương pháp quy hoạch toán học thực nghiệm ta xác định được các hệ số b_m tương ứng với các hàm mục tiêu y và được cho trong bảng 5.

Bảng 5. Hệ số b_m

	Hệ số b _m tương ứng với hàm y				
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
b ₀	11.3	16.4	37.1	11.9	607.3
b ₁	1.93	2.85	6.29	0.59	-28.24
b ₂	-0.98	-1.09	-1.14	0.48	-96.34
b ₃	7.9	10.52	-0.16	0.00	0.00
b ₄	0.02	0.95	-0.15	0.17	10.86
b ₅	0.21	0.95	0.43	-0.16	44.71
b ₆	0.27	2	0.33	0.17	7.47
b ₇	-0.15	-0.15	-0.19	0.00	0.00
b ₈	1.34	1.77	0.06	0.00	0.00
b ₉	-0.52	-0.22	0.06	0.00	0.00

Xây dựng hàm mục tiêu cường độ bê tông tuổi 04 giờ - hàm y₁

phương trình hàm mục tiêu sơ bộ được thiết lập như sau:

Từ giá trị b_m được xác định ở bảng 5,

$$y_1 = 11.3 + 1.93x_1 - 0.98x_2 + 7.9x_3 + 0.02(x_1^2 - 0.73) + 0.21(x_2^2 - 0.73) + 0.27(x_3^2 - 0.73) - 0.15x_1x_2 + 1.34x_1x_3 - 0.52x_2x_3$$

a. Dựa vào chuẩn số Student để loại bỏ các hệ số không có nghĩa

Số thí nghiệm làm thêm ở tâm phương án là 3 ($f_2=3$) nên $t_p(f_2) = t_{0,05}(3) = 3,18$ (tra bảng 2). Các hệ số b_m bị loại bỏ là các hệ số có giá trị t_m tương ứng nhỏ hơn 3,18. Kết quả tính toán cho thấy, giá trị của t_m tương ứng với $b_{(4,5,6,7,9)}$ nhỏ hơn 3,18 nên các giá trị $b_{(4,5,6,7,9)}$ bị loại bỏ. Phương trình hàm mục tiêu y_1 được rút gọn như sau:

$$y_1 = 11.3 + 1.93x_1 - 0.98x_2 + 7.9x_3 + 1.34x_1x_3 \quad (1)$$

b. Kiểm tra tính tương hợp của của phương trình (1) theo chuẩn số Fisher

Bảng 6. Bảng số liệu xác định giá trị S_{du} của cường độ nén bê tông tuổi 04 giờ

	STT	y_{li}	\bar{y}_{li}	$(y_{li} - \bar{y}_{li})^2$
Nhân kế hoạch	1	21.0	21.5	0.244
	2	15.0	15.0	0.002
	3	24.5	23.5	1.037
	4	17.6	16.9	0.470
	5	3.4	3.0	0.119
	6	2.4	1.8	0.377
	7	4.5	5.0	0.228
	8	3.3	3.8	0.290
Điểm sao	9	13.4	13.7	0.045
	10	8.4	9.0	0.308
	11	10.1	10.1	0.001
	12	12.3	12.5	0.031
	13	20.4	20.9	0.306
	14	2.2	1.7	0.280
Tâm kế hoạch	15	11.1	11.3	0.041
Tổng				3.778

Từ kết quả bảng 6. ta có:

Giá trị $S_{du}^2 = 3.778/10 = 0.378$

$F = S_{du}^2 / S^2 = 0.6413$. Theo bảng hệ số Fisher [2], với $f_1 = N - k = 15 - 5 = 10$ và $f_2 = n_0 - 1 = 3$ thì $F_{0,05}(10,3) = 8.72$.

Vì $F < F_{0,05}(10,3)$ nên phương trình (1) tương hợp với số liệu thực nghiệm. Có thể kết luận giá trị cường độ bê tông tuổi 04 giờ được mô phỏng bởi phương trình (1).

Với cách làm tương tự, ta thiết lập được các hàm mục tiêu còn lại. Hàm mục tiêu cường độ bê tông tuổi 06 giờ được biểu diễn bởi phương trình (2).

$$y_2 = 13.55 + 2.85x_1 - 1.09x_2 + 10.52x_3 + 0.95x_1^2 + 0.95x_2^2 + 2x_3^2 + 1.77x_1x_3 \quad (2)$$

Hàm mục tiêu cường độ bê tông tuổi 28 ngày được biểu diễn bởi phương trình (3).

$$y_3 = 36.58 + 6.29 x_1 - 1.14 x_2 + 0.43 x_2^2 + 0.33 x_3^2 \quad (3)$$

Hàm mục tiêu độ chống thấm nước của bê tông được biểu diễn bởi phương trình (4)

$$y_4 = 11.93 + 0.59 x_1 + 0.48 x_2 \quad (4)$$

Hàm mục tiêu độ thấm ion Cl⁻ được biểu diễn bởi phương trình (5)

$$y_5 = 574.7 - 28.24 x_1 - 96.34 x_2 + 44.71 x_2^2 \quad (5)$$

3.5. Thiết kế tối ưu thành phần bê tông

Để thiết kế tối ưu thành phần bê tông ta làm theo trình tự sau:

+ Thay giá trị $y_3 = R_{28}$ tương ứng với mức bê tông ở phương trình (3).

+ Thay giá trị $y_1 = 0.5R_{28}$ ở phương trình (1).

+ Thay giá trị y_2 bằng $0.75R_{28}$ ở phương trình (2).

+ Giải hệ 03 phương trình 03 ẩn số để tìm ra các cặp nghiệm x_1, x_2, x_3 .

+ Thay các cặp giá trị x_1, x_2, x_3 vừa tìm được vào phương trình (4) để xác định giá trị y_4 (độ chống thấm nước) và vào phương trình (5) để xác định y_5 (mức độ thấm ion Cl⁻).

+ Cặp nghiệm nào cho giá trị

$y_4 = 10 \div 12 \text{ kg/cm}^2$ và $y_5 < 1000$ Cu lông sẽ được lựa chọn là cặp nghiệm tối ưu.

+ Chuyển từ biến mã (biến x) sang biến thực (biến Z) để xác định: tổng hàm lượng chất kết dính; tỷ lệ xỉ lò cao/tổng lượng chất kết dính; tỷ lệ phụ gia siêu cứng nhanh.

+ Xác định thành phần cấp phối bê tông.

Thiết kế tối ưu thành phần bê tông siêu đông cứng nhanh, chống ăn mòn cốt thép mức M300

Để thiết kế tối ưu thành phần bê tông mức 300 có cường độ nén đạt $50\%R_{28}$ ở tuổi 04 giờ và $75\%R_{28}$ ở tuổi 06 giờ, ta lần lượt thay giá trị $y_1=15$ vào phương trình (1), $y_2=22.5$ vào phương trình (2) và $y_3=30$ vào phương trình (3). Từ đây ta có hệ 03 phương trình 03 ẩn số sau:

$$\begin{cases} 15 = 11.3 + 1.93 x_1 - 0.98 x_2 + 7.9 x_3 + 1.34 x_1 x_3 \\ 22.5 = 13.55 + 2.85 x_1 - 1.09 x_2 + 10.52 x_3 + 0.95 x_1^2 + 0.95 x_2^2 + 2x_3^2 + 1.77 x_1 x_3 \\ 30 = 36.58 + 6.29 x_1 - 1.14 x_2 + 0.43 x_2^2 + 0.33 x_3^2 \end{cases} \quad (6)$$

Giải hệ phương trình (6) ta được các cặp nghiệm phù hợp sau: $\{x_1 = -0.98, x_2 = 1.07, x_3 = 1.01\}$.

Thay các giá trị x vào (4) ta được độ chống thấm nước $y_4 = 12 \text{ kg/cm}^2$, thay vào (5) ta được độ thấm ion clo $y_5 = 550$ cu lông.

Các giá trị này thỏa mãn yêu cầu đặt ra.

Chuyển từ biến mã về biến thực ta có: với $x_1 = -0.98, x_2 = 1.07, x_3 = 1.01$ thì lần lượt $Z_1 = 351, Z_2 = 25, Z_3 = 1$. Từ đây ta có thành phần cấp phối tối ưu bê tông mức M300 như sau:

Bảng 7. Thành phần cấp phối bê tông mức M300

Xi măng (kg)	Xỉ lò cao (kg)	Cát (kg)	Đá 5-10 mm (kg)	Đá 10-20 mm (kg)	Nước (lít)	PG siêu dẻo (kg)	PG tăng cứng (kg)
262	89	774	363	750	150	17.5	3.5

Với cách làm tương tự, ta thiết kế được thành phần bê tông mác M350 và M400 có khả năng siêu tăng cứng nhanh và chống

ăn mòn cốt thép. Kết quả các thành phần bê tông tối ưu được thể hiện ở bảng 8.

Bảng 8. Thành phần cấp phối tối ưu bê tông

Mác thiết kế	Xi măng (kg)	Xi lò cao (kg)	Cát (kg)	Đá 5-10 mm (kg)	Đá 10-20 mm (kg)	Nước (lít)	PG siêu dẻo (kg)	PG tăng cứng (kg)
M300	262	89	774	363	750	150	17.5	3.5
M350	278	104	762	358	739	150	19.1	3.9
M400	302	113	750	352	727	150	20.7	4.2

3.6. Đánh giá khả năng bảo vệ cốt thép khỏi ăn mòn của bê tông

Ba cấp phối tối ưu được lựa chọn ở trên cũng là các cấp phối có kết quả độ chống thấm nước cao và độ thấm ion clo ở mức thấp (không đáng kể). Chính vì khả năng chống áp lực nước và hạn chế mức độ xâm nhập ion clo trong bê tông sẽ cho hiệu quả giảm khả năng ăn mòn cốt thép và vì vậy mà cốt thép được bảo vệ tốt hơn.

Nghiên cứu xác định độ ăn mòn của cốt thép trong bê tông được tiến hành theo tiêu chuẩn hiện hành [5]. Bê tông đúc mẫu đầm là 03 loại bê tông có cấp phối tối ưu ở trên, đầm bê tông có kích thước 100x100x400 được đặt thanh thép đường kính D22 cách bề mặt lớp bê tông bảo vệ 4 cm. Mẫu được ngâm trong môi trường xâm thực mạnh trong thời gian 06 tháng - hình 1.



Hình 1.a. Đúc mẫu



Hình 1.b. Ngâm mẫu



Hình 1.c. Khoan lớp bê tông bảo vệ tới vị trí cốt thép

Hình 1. Mẫu thí nghiệm đo độ ăn mòn cốt thép

Kết quả thí nghiệm xác định điện thế cốt thép (dùng điện cực đồng - sunfat)

trong các mẫu bê tông với mức tương ứng được thể hiện trong bảng 9.

Bảng 9. Kết quả đo điện thế cốt thép trong bê tông

	Mức 300	Mức 350	Mức 400
Giá trị điện thế (mV)	-100	-60	-40

Kết quả nghiên cứu cho thấy, cốt thép có điện thế nhỏ nhất bằng $-100 \text{ mV} = -0,1 \text{ V}$ (tương ứng đặt trong mẫu bê tông mức 300) vẫn lớn hơn giá trị $-0,2 \text{ V}$ nên cốt thép chưa xuất hiện hiện tượng ăn mòn. Kết quả cũng khẳng định thêm rằng, các cấp phối bê tông ở bảng 8 là các cấp phối tối ưu bê tông siêu đông cứng nhanh chống ăn mòn cốt thép.

4. KẾT LUẬN

Sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm có thể thiết kế được tối ưu thành phần bê tông nhiều phẩm chất với số lượng thí nghiệm là ít nhất. Qua đó xây dựng được hàm mục tiêu nghiên cứu giúp ta có thể thiết kế các mức bê tông khác nhau, ấn định giá trị các phẩm chất khác của bê tông (độ chống thấm nước, thấm ion Cl...) thông qua việc giải phương trình mà không cần phải làm thêm thí nghiệm. Ở góc độ nghiên cứu khác, phương trình hàm mục tiêu thu được từ phương pháp quy hoạch thực nghiệm còn được dùng để biểu diễn sự biến thiên của hàm nghiên cứu theo các biến đầu vào.

Kết quả nghiên cứu cũng khẳng định, khi nghiên cứu chế tạo các loại bê tông mới, những ảnh hưởng của cốt liệu mới đến chất lượng bê tông chưa có những nghiên cứu cụ thể, chưa có những đánh giá mối liên hệ giữa các cốt liệu với nhau. Hoặc khi thiết kế thành phần bê tông sử dụng nhiều loại

phụ gia hay bê tông đa cốt liệu, số lượng ẩn số tăng lên nhiều và việc giải bài toán nhiều ẩn chỉ sử dụng phương pháp thông thường gặp rất nhiều khó khăn. Khi đó việc kết hợp giữa phương pháp thực nghiệm và toán học (quy hoạch thực nghiệm) để tìm ra hàm lượng phụ gia tối ưu để cải thiện một số tính chất của bê tông sẽ là giải pháp khoa học được lựa chọn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Ngô Văn Đạt, Phạm Toàn Đức và các cộng sự (2021), '*Nghiên cứu chế tạo bê tông siêu đông cứng nhanh, chống ăn mòn cốt thép cho các công trình ven biển Hải Phòng*', Đề tài nghiên cứu khoa học cấp thành phố, Hải Phòng.
2. Phạm Toàn Đức, Nguyễn Quang Tuấn (2016), '*Phương pháp quy hoạch thực nghiệm trong thiết kế tối ưu thành phần bê tông*', Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội.
3. Nguyễn Việt Trung, Nguyễn Ngọc Long, Nguyễn Đức Thị Thu Định (2004), '*Phụ gia và hoá chất dùng cho bê tông*', Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội
4. Bạch Đình Thiên, Trần Ngọc Tính (2004), '*Công nghệ bê tông*', Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội
5. Tiêu chuẩn quốc gia (2012), '*Tiêu chuẩn TCVN 9348:2012 Bê tông cốt thép – kiểm tra khả năng cốt thép bị ăn mòn – phương pháp điện thế*', Hà Nội.