

NGHIÊN CỨU THÀNH PHẦN CẤP PHỐI BÊ TÔNG CỐT LIỆU MỊN VÀ THÂN THIỆN VỚI MÔI TRƯỜNG ỨNG DỤNG TRONG CHẾ TẠO BÊ TÔNG TRUYỀN SÁNG

STUDY ON THE ECO-FRIENDLY CONCRETE COMPOSITION WITH FINE AGGREGATE FOR MANUFACTURING THE LIGHT-TRANSMITTING CONCRETE

Nguyễn Đức Tuấn¹, Huỳnh Phương Nam^{2*}, Nguyễn Văn Hương¹, Nguyễn Minh Hải¹

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

²Đại học Đà Nẵng

*Tác giả liên hệ: hpnam@dut.udn.vn

(Nhận bài: 23/5/2022; Chấp nhận đăng: 29/6/2022)

Tóm tắt - Bê tông truyền sáng được phát triển bằng cách bố trí các sợi quang có khả năng truyền ánh sáng vào bên trong bê tông. Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng, cường độ bê tông truyền sáng bị suy giảm đáng kể khi tăng hàm lượng sợi quang do xuất hiện các lỗ rỗng xung quanh sợi quang. Đây là trở ngại lớn cho việc phát triển bê tông truyền sáng dạng tấm mỏng trong tương lai. Nghiên cứu này thực hiện nhằm tối ưu hóa thành phần cấp phối của hỗn hợp bê tông với cấu trúc đặc chắc và đảm bảo độ bền thích hợp nhằm hạn chế lỗ rỗng xuất hiện xung quanh sợi quang. Để đáp ứng mục tiêu, nghiên cứu đã sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính tro bay (FA) và xỉ lò cao nghiên mịn (GGBS). Bằng việc xác định được tỉ lệ tối ưu của FA/CKD và GGBS/CKD, nghiên cứu đã đưa ra được cấp phối bê tông đáp ứng được các yêu cầu cần thiết để có thể chế tạo được bê tông truyền sáng cường độ cao trong tương lai.

Từ khóa - Bê tông truyền sáng; phụ gia khoáng hoạt tính; tro bay; xỉ lò cao; thiết kế cấp phối.

1. Đặt vấn đề

Quá trình đô thị hóa nhanh chóng đang làm tăng nhu cầu chiếu sáng nhân tạo bên trong các công trình xây dựng, điều này ảnh hưởng đáng kể đến quá trình nóng lên của trái đất [1]. Để giảm năng lượng tiêu thụ do chiếu sáng nhân tạo, các giải pháp kiến trúc và giải pháp kỹ thuật giúp lấy ánh sáng tự nhiên vào bên trong công trình được xem là giải pháp thân thiện với môi trường và hiệu quả trong ngành xây dựng nói riêng và khoa học kỹ thuật nói chung. Phương pháp truyền ánh sáng tự nhiên bằng kính cường lực hoặc các vật liệu như gạch kính, tấm nhựa trong suốt,... được sử dụng như một giải pháp phổ biến cho các công trình xây dựng hiện nay [2]. Tuy nhiên, các đặc điểm về khả năng cách nhiệt, khả năng điều tiết giảm lượng ánh sáng mặt trời chiếu trực tiếp, cường độ cơ học đối với các tải trọng va đập, gió bão có thể coi là nhược điểm của loại vật liệu này [3].

Trong bối cảnh trên, việc nghiên cứu và phát triển vật liệu mới, vừa có khả năng truyền dẫn ánh sáng vừa có các đặc điểm cơ lý tốt là hướng nghiên cứu đang được quan tâm. Một trong số các vật liệu mới đó là bê tông truyền sáng, được phát minh bằng cách sắp xếp các sợi quang bên trong bê tông nhằm truyền dẫn ánh sáng xuyên qua tấm bê tông. Do đó, hiệu suất truyền sáng của bê tông phụ thuộc vào hàm lượng sợi quang được bố trí. Tuy nhiên, một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng cường độ bê tông truyền sáng bị

Abstract - Light-transmitting concrete (LTC) is developed by arranging optical fibers inside the concrete. Several studies showed that the concrete strength is significantly reduced with increasing fiber content due to the voids around the optical fiber. This is a major issue for producing the thin LTC panels in the future. This study aims to optimize the composition of the concrete mixture with a solid structure and to limit the appearance of voids around the optical fiber. Therefore, the study used the mixture composition of the reactive powder concrete (RPC) with active mineral additives fly ash (FA) and finely ground blast furnace slag (GGBS). By determining the optimal ratio of FA/CKD and GGBS/CKD, a mix composition that meets the requirements for the high strength LTC is provided.

Key words - Light transmitting concrete; Reactive powder concrete; Fly ash; Slag; Composition design.

suy giảm đáng kể khi tăng hàm lượng sợi quang [4]. Thiago dos S. Henriques và các cộng sự đã thực hiện quan sát SEM đối với bê tông truyền sáng với mật thiết kê 50 MPa, và chỉ ra rằng việc suy giảm cường độ khi tăng mật độ sợi quang là do các khe hở xuất hiện tại vùng tiếp giáp giữa sợi quang và bê tông [5].

Để phát triển bê tông truyền sáng dạng tấm mỏng trong tương lai, việc đảm bảo cường độ bê tông với sợi quang bố trí với mật độ cao là yêu cầu bắt buộc. Do đó, thành phần cấp phối của hỗn hợp bê tông cần được tối ưu hóa để vừa đảm bảo giảm thiểu xuất hiện khe hở ở mặt tiếp giáp giữa bê tông và sợi quang nhằm vừa đảm bảo độ đặc chắc trong cấu trúc bê tông. Việc này giúp giảm các lỗ rỗng xuất hiện xung quanh sợi quang, qua đó không những giúp tăng cường độ cơ học mà còn giúp cải thiện được tính thẩm và độ bền của tấm bê tông truyền sáng khi sử dụng như một vật liệu bao che. Để chế tạo hỗn hợp bê tông cường độ cao với độ lưu động lớn thì xu hướng hiện nay là sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính (tro bay, muội silic,...) và xỉ lò cao kết hợp với phụ gia siêu dẻo. Tuy nhiên, muội silic có giá thành cao nên việc sử dụng xỉ lò cao thay thế sẽ giúp giảm đáng kể giá thành, đồng thời làm giảm nhiệt thủy hoá, tăng tính công tác, cũng như giảm biến dạng co ngót trong bê tông [6]. Do đó, phối hợp sử dụng tro bay và xỉ lò cao thay thế xỉ măng sử dụng trong bê tông là hướng tiếp cận khả thi hơn

¹ The University of Danang - University of Science and Technology (Nguyen Duc Tuan, Nguyen Van Huong, Nguyen Minh Hai)

² The University of Danang (Huynh Phuong Nam)

cả về kinh tế và kỹ thuật [7, 8, 9]. Các kết quả nghiên cứu trên thế giới cho thấy, xi lò cao có hoạt tính thủy lực thấp tăng lên khi tăng nồng độ OH⁻. Xi lò cao làm tăng sự phân tán giữa các hạt mịn, làm giảm độ nhớt của hồ xi măng qua đó làm tăng độ lưu động cho hỗn hợp hồ xi măng [10, 11]. Nhờ đó có thể giữ được độ lưu động cho hỗn hợp bê tông ở mức cao khi không sử dụng muối silic. Tro bay với tỷ lệ dùng phù hợp sẽ giúp cải thiện cường độ giảm nhiệt thủy hóa, cải thiện được khả năng chống nứt sớm cho bê tông [12, 13]. Hơn nữa, tại các vị trí làm việc với mục đích trang trí và bao che thì thường xuyên tiếp xúc môi trường thay đổi độ ẩm/ nhiệt độ cũng như chịu tác động trực tiếp từ môi trường (mưa, không khí) thì bê tông có nguy cơ giảm độ bền và tính thẩm mỹ của kết cấu do phản ứng kiềm cốt liệu (ASR) hay tấn công sun phát... [14, 15]. Để giảm thiểu thậm chí ngăn chặn sự hình thành phản ứng kiềm cốt liệu và tấn công sun phát đối với bê tông nói chung và bê tông truyền sáng nói riêng thì cần sử dụng các phụ gia khoáng như: Metakaolin, xi lò cao, tro bay, pu-zơ-lan tự nhiên,... cho thành phần của bê tông [16, 17, 18, 19].

Về mặt môi trường, theo Quy hoạch điện VII, đến năm 2030 nhiệt điện than chiếm khoảng 42,6% cơ cấu công suất, mặc dù dự thảo Quy hoạch điện VIII giảm xuống chiếm khoảng 31% năm 2030 trong kịch bản cơ sở và 28% với kịch bản cao thì điện than vẫn đóng tỉ trọng cao trong cơ cấu nguồn điện. Nhưng với tốc độ phát triển nhanh như hiện nay thì nhu cầu điện năng ngày càng tăng cao và các nhà máy nhiệt điện vẫn không ngừng được xây mới đồng nghĩa với lượng phát thải tro xỉ cũng tăng dần theo thời gian. Ngoài ra, số lượng các nhà máy luyện kim cũng đang tăng lên nhanh chóng, trong quá trình vận hành các nhà máy luyện kim này sẽ sản sinh ra khối lượng xi lò cao rất lớn. Đó là vấn đề lớn về môi trường do lượng phế thải phát sinh hàng năm quá lớn không thể xử lý bằng phương pháp chôn lấp truyền thống. Trong bối cảnh đó, việc sử dụng phế thải công nghiệp bao gồm tro bay và xi lò cao nhằm giải quyết một phần bài toán môi trường là xu thế tất yếu để phát triển bền vững.

Từ các phân tích trên, nghiên cứu này đặt mục tiêu phát triển loại bê tông thân thiện với môi trường, đồng thời có cường độ cao 80-100 MPa và độ lưu động cao với độ chảy xòe 700 mm. Các chỉ tiêu thiết kế này được đề ra dựa trên thí nghiệm rót hỗn hợp bê tông vào khuôn ván có mật độ sợi quang cao trong giai đoạn thử nghiệm trước đó. Để đáp ứng các chỉ số mục tiêu trên, nghiên cứu đã sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính tro bay (FA) và xi hạt lò cao nghiên cứu mịn (GGBS). Bằng việc xác định được tỉ lệ tối ưu của FA/CKD và GGBS/CKD dựa trên kết quả thực nghiệm, nghiên cứu đề xuất cấp phối hỗn hợp bê tông đáp ứng được các chỉ tiêu kỹ thuật đặt ra để hướng tới chế tạo được bê tông truyền sáng cường độ cao trong tương lai.

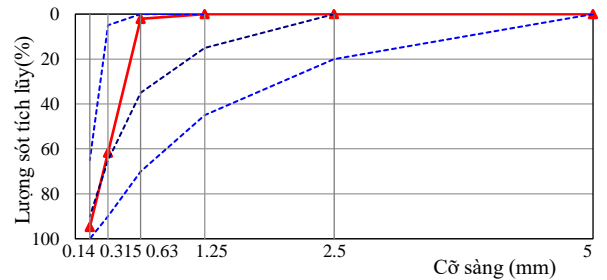
2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1. Vật liệu thí nghiệm

Xi măng (XM) được sử dụng để thí nghiệm là xi măng Pooclăng Sông Gianh PC40 có khối lượng riêng 3,14 g/cm³ và cường độ bền nén 28 ngày là 48,04 N/mm². Loại xi măng dùng trong nghiên cứu phù hợp với yêu cầu kỹ thuật TCVN 2682:2009.

Cát được sử dụng là cát có nguồn gốc từ huyện Phong

Điền, tỉnh Thừa Thiên Huế, Việt Nam. Cát có khối lượng riêng 2,74 g/cm³, bùn bụi sét 3,5%, có thành phần khoáng chất chủ yếu là thạch anh trên 98%. Với mô đun độ lớn 1,58, đường phân bố các hạt thể hiện như ở Hình 1.



Hình 1. Biểu đồ thành phần hạt của cát



Hình 2. Xi lò cao và tro bay

Xi lò cao (GGBS) S95 được sử dụng có nguồn gốc từ nhà máy Thép Hòa Phát Dung Quất có khối lượng riêng 2,89 g/cm³, chỉ số hoạt tính cường độ 101%. Thành phần hóa học của S95 như ở Bảng 1, phù hợp với TCVN 11586:2016.

Bảng 1. Thành phần hóa học của Xi (% khối lượng)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	MKN
35,77	13,02	40,24	7,74	0,18	0,11

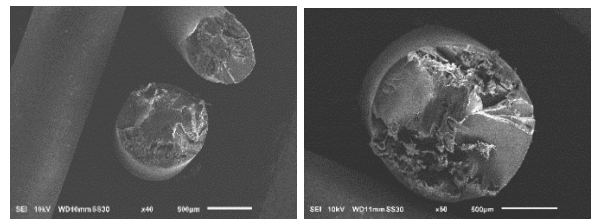
Tro bay được sử dụng có nguồn gốc từ nhà máy Nhiệt điện Vĩnh Tân 2 (Ninh Thuận), có khối lượng riêng 2,59 g/cm³, chỉ số hoạt tính cường độ 81,95%. Thành phần hóa học như ở Bảng 2, tro bay nghiên cứu thuộc tro bay loại F dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng theo TCVN 10302:2014.

Bảng 2. Thành phần hóa học của tro bay (% khối lượng)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MKN
71,10	11,90	1,16	10,30	0,51	0,31	0,14	3,12	3,12

Phụ gia hóa học được sử dụng là Lotus-301M, Lotus-301M là phụ gia siêu dẻo hiệu suất cao gốc polymer thế hệ thứ 3 với khả năng giảm nước cao cấp, kéo dài thời gian ninh kết, tăng tính linh động của bê tông. Lotus-301M thuộc loại G phù hợp với ASTM C 494.

Nước dùng để trộn và bảo dưỡng bê tông thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo Tiêu chuẩn TCVN 4506:2012.



Hình 3. Sợi quang 0,75; 1 và 1,5 mm chụp bằng SEM

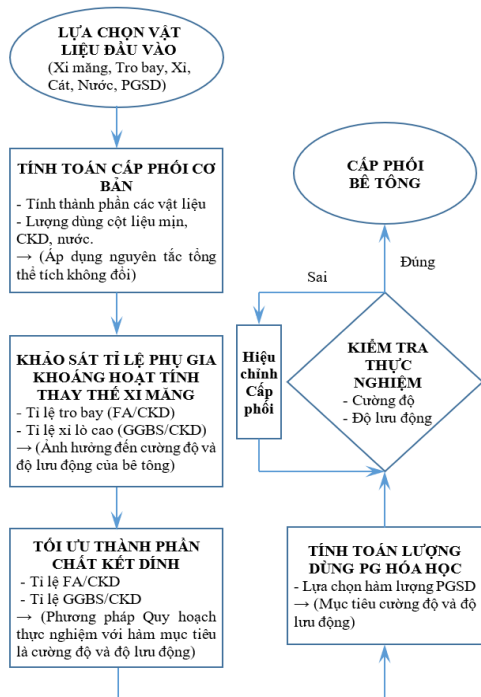
Sợi quang sử dụng trong chế tạo bê tông truyền sáng là sợi quang nhựa (polymer optical fiber), có xuất xứ từ Trung Quốc với độ bền kéo trung bình của sợi quang polyme là 90 N/mm².

2.2. Phương pháp thí nghiệm

Do thành phần cấp phối của bê tông truyền sáng được sử dụng trong nghiên cứu này sử dụng chủ yếu là cốt liệu mịn và không có cốt liệu lớn (reactive powder concretes: RPC), các thí nghiệm cường độ, độ lưu động được thực hiện theo TCVN 3121:2003. Khảo sát cấu trúc vi mô của bê tông truyền sáng, đặc biệt là vùng liên kết giữa sợi quang và bê tông xung quanh được thí nghiệm bằng kính hiển vi điện tử quét JEOL JSM-6010 PLUS tại phòng thí nghiệm Khoa Hóa - Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng (Hình 4).



Hình 4. Kính hiển vi điện tử quét JEOL JSM-6010PLUS



Hình 5. Các bước tiến hành thiết kế cấp phối bê tông sử dụng để chế tạo bê tông truyền sáng

Phương pháp nghiên cứu dựa trên cơ sở lý thuyết kết hợp với thực nghiệm, sau đó dùng phương pháp quy hoạch thực nghiệm để đưa ra tỉ lệ sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính tối ưu về mặt cường độ và độ lưu động. Cuối cùng hiệu chỉnh lượng phụ gia siêu dẻo để đưa ra cấp phối bê tông hợp lý. Các bước tiến hành thiết kế cấp phối bê tông sử dụng để chế tạo bê tông truyền sáng được trình bày như ở Hình 5.

3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

3.1. Các bước thiết kế thành phần bê tông

3.1.1. Tính toán thành phần cấp phối bê tông sơ bộ

Tính toán thành phần bê tông tuân thủ theo nguyên tắc

thể tích tuyệt đối với tổng thể tích của 1 m³ bê tông đã lên chặt là tổng thể tích của nước, xi măng, xi, tro bay, cát, phụ gia siêu dẻo và thể tích không khí cuốn vào hỗn hợp bê tông [20]. Với cấp phối sơ bộ bê tông sử dụng cát, xi măng, nước, cường độ mong muốn đạt 50-70 MPa và độ lưu động trên bàn dần trong khoảng 145-195 mm. Qua các tính toán và thực nghiệm đã đưa ra cấp phối sơ bộ như trong Bảng 3.

Bảng 3. Cấp phối bê tông sơ bộ cho 1m³ bê tông RPC

Cát (kg)	Xi măng (kg)	Xi lò cao (kg)	Tro bay (kg)	Nước (lít)
994,8	900	0	0	330,3

3.1.2. Khảo sát tỉ lệ phụ gia khoáng hoạt tính

Để chế tạo chất kết dính từ xi măng poocăng và các phụ gia khoáng, tiến hành các thử nghiệm ảnh hưởng của tro bay (FA) và xi lò cao (GGBS) và hỗn hợp phụ gia kép FA-GGBS đến một số tính chất của chất kết dính (như thời bắt đầu và kết thúc đông kết, lượng nước tiêu chuẩn). Hàm lượng FA, GGBS được thay thế trong xi măng là 20% và 40% (theo khối lượng), hàm lượng phụ gia kép trong thử nghiệm là 10%FA+10%GGBS và 30%FA+ 30%GGBS. Các thử nghiệm này nhằm đánh giá tính khả thi của việc thay thế xi măng bằng tro bay và xi lò cao. Kết quả thử nghiệm thể hiện ở Bảng 4.

Bảng 4. Nước tiêu chuẩn và thời gian đông kết của CKD sử dụng phụ gia kép FA-GGBS

Tỉ lệ phụ gia khoáng hoạt tính trong CKD	Nước tiêu chuẩn (%)	Thời gian đông kết (ph)	
		Bắt đầu	Kết thúc
0%	30,8	145	220
20%FA	28,9	175	260
40%FA	27,9	190	295
20%GGBS	32,4	150	235
40%GGBS	33,8	170	260
10%FA+10%GG	30,6	135	220
30%FA+30%GG	33,9	185	270

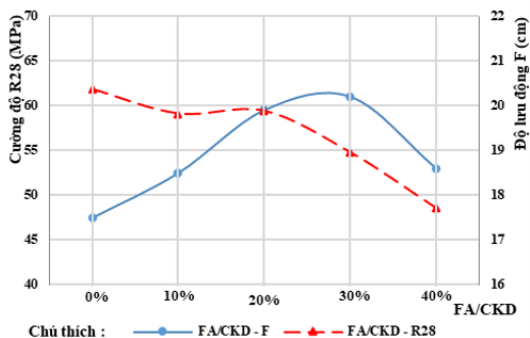
Khi tăng hàm lượng tro bay thì lượng nước tiêu chuẩn của chất kết dính lại giảm nhưng khi tăng hàm lượng GGBS thì lượng nước tiêu chuẩn lại tăng. GGBS ở dạng bột siêu mịn phân bố đều trong hỗn hợp CKD, tỷ lệ diện tích tăng nên cần lượng nước lớn hơn. GGBS với khả năng hút nước nhiều hơn tro bay nên khi sử dụng lượng lớn làm nước tiêu chuẩn của CKD tăng lên. Sử dụng lượng lớn các phụ gia khoáng với tỷ diện tích lớn, hút nước và giữ nước làm kéo dài thời gian đông kết của CKD. Tuy nhiên, tất cả tỉ lệ khảo sát đều thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật TCVN 6260:2009.

3.2. Nghiên cứu sự ảnh hưởng của tỉ lệ FA/CKD đến tính chất của bê tông

Nghiên cứu ảnh hưởng của FA đến tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông được thực hiện trên các cấp phối có tổng lượng dùng chất kết dính không đổi. Thay đổi tỷ lệ FA trong chất kết dính với các tỉ lệ: 0%, 10%, 20%, 30% và 40% theo khối lượng. Hỗn hợp bê tông được kiểm tra độ lưu động bằng phương pháp bàn dần TCVN 3121-3:2003, cường độ bê tông được thử nghiệm trên mẫu 4x4x16 TCVN 3121-11:2003. Các cấp phối thực tế được trình bày trong Bảng 5. Kết quả thể hiện sự ảnh hưởng của tỉ lệ FA/CKD đến cường độ và độ lưu động thể hiện ở Hình 5.

Bảng 5. Thành phần cấp phối sử dụng

FA/CKD	Cát (kg)	X (kg)	GGBS (kg)	FA (kg)	Nước (lít)	PG (lít)
0	994,8	900	0	0	330,3	0,0
10%	978,2	810	0	90	330,3	0,0
20%	961,5	720	0	180	330,3	0,0
30%	944,8	630	0	270	330,3	0,0
40%	928,1	540	0	360	330,3	0,0



Hình 5. Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của tỉ lệ FA/CKD đến cường độ bê tông và độ lưu động của hỗn hợp bê tông

Kết quả nghiên cứu cho thấy, ở tuổi đến 28 ngày, thay thế một phần xi măng bằng FA làm suy giảm cường độ bê tông cốt liệu mịn. Với tỉ lệ FA dưới 20% thì mức giảm cường độ tương đối thấp và tăng nhanh với tỉ lệ trên 30%. FA với thành phần có hoạt tính thấp nên khi thay thế xi măng với tỷ lệ cao trong khi vẫn giữ nguyên tỉ lệ nước trên chất kết dính. Khi tăng FA đồng nghĩa giảm các sản phẩm thủy hóa khiến cường độ suy giảm.

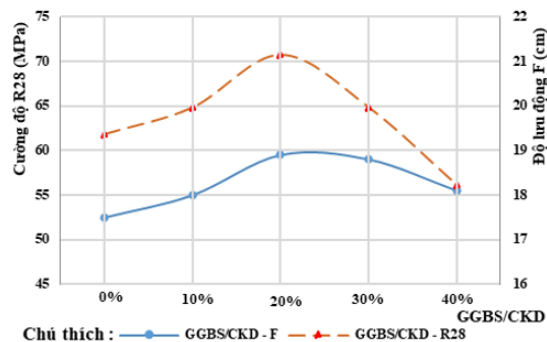
Tuy nhiên, độ lưu động của hỗn hợp bê tông lại tăng khi tăng lượng dùng FA trong CKD, mức cực đại trong khoảng 20 đến 30% lượng dùng FA sau đó thì suy giảm kèm hiện tượng tách nước. Với các FA có hình dạng là hình cầu và thường có độ mịn thấp hơn xi măng, FA phân tán trong hỗn hợp hồ xi măng giúp xi măng dễ thủy hóa hơn nên khi tăng lượng dùng FA thì độ lưu động cũng tăng lên. Nhưng khi lượng FA tăng lên quá cao thì lại xảy ra hiện tượng tách nước làm giảm độ lưu động của hỗn hợp [21].

3.3. Nghiên cứu sự ảnh hưởng của tỉ lệ GGBS/CKD đến tính chất của bê tông

Các bước thực hiện tương tự với GGBS đến tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông được thực hiện trên các cấp phối có tổng lượng dùng chất kết dính không đổi. Thay đổi tỷ lệ GGBS trong chất kết dính với các tỉ lệ: 0%, 10%, 20%, 30% và 40% theo khối lượng. Hỗn hợp bê tông được kiểm tra độ lưu động, bê tông được kiểm tra cường độ. Các cấp phối thực tế được trình bày trong Bảng 6. Kết quả thể hiện sự ảnh hưởng của tỉ lệ GGBS /CKD đến cường độ và độ lưu động thể hiện ở Hình 6.

Bảng 6. Thành phần cấp phối sử dụng

GGBS/CKD	Cát (kg)	X (kg)	GGBS (kg)	FA (kg)	Nước (lít)	PG (lít)
0	994,8	900	0	0	330,3	0,0
10%	988,0	810	90	0	330,3	0,0
20%	981,2	720	180	0	330,3	0,0
30%	974,4	630	270	0	330,3	0,0
40%	967,7	540	360	0	330,3	0,0



Hình 6. Biểu đồ thể hiện sự ảnh hưởng của tỉ lệ GGBS/CKD đến cường độ bê tông và độ lưu động của hỗn hợp bê tông

Theo biểu đồ trên có thể thấy, với độ hoạt tính của GGBS cao nên với tỉ lệ dưới 20% CKD thì cường độ bê tông tăng lên đáng kể. Nhưng khi lượng dùng quá 20% thì bắt đầu có hiện tượng suy giảm tương đối. Với độ mịn cao và thành phần chủ yếu là pha thủy tinh độ hoạt tính tăng lên trong môi trường OH⁻ nên với lượng nhỏ GGBS thì các hạt phân tán tạo nên cấp phối hạt liên tục kèm hiệu ứng hoạt tính cao trong môi trường OH⁻ lớn. Hiệu ứng này suy giảm rõ rệt khi tỉ lệ xi măng trong CKD giảm [22].

Độ lưu động của hỗn hợp bê tông cũng tăng khi hàm lượng GGBS tăng lên. Tuy nhiên, khi hàm lượng GGBS tăng quá 20% thì độ lưu động lại suy giảm. Điều này có thể hiểu là do GGBS có độ mịn tương đối cao khi kết hợp với xi măng tạo nên cấp phối hạt liên tục, phân tán trong hồ xi măng giúp các hạt xi măng dễ dàng thủy hóa hơn. Khi tỉ lệ dùng quá lớn dẫn tới hàm lượng mịn tăng lên (tỉ diện tăng) hơn nữa thành phần hạt không còn liên tục dẫn tới sự suy giảm về độ lưu động của hỗn hợp bê tông [22].

3.4. Nghiên cứu nghiên cứu sự ảnh hưởng của phụ gia kép FA và GGBS đến tính chất của bê tông

Qua các kết quả về ảnh hưởng của tỉ lệ FA/CKD và GGBS/CKD đến các tính chất của bê tông ở trên. Nhận thấy, với khoảng tỉ lệ FA/CKD từ 20-30% hỗn hợp bê tông có độ lưu động và cường độ tốt. Tương tự với tỉ lệ GGBS/CKD từ 20-30% thì cường độ và độ lưu động đạt mức cao nhất. Trên cơ sở đó, tiến hành xây dựng mô hình quy hoạch thực nghiệm để tìm tỉ lệ phụ gia khoáng hoạt tính tối ưu cho cấp phối bê tông, với hai nhân tố ảnh hưởng chính đến cường độ của bê tông và độ lưu động hỗn hợp bê tông là FA/CKD và GGBS/CKD.

3.4.1. Quy hoạch thực nghiệm xác định cấp phối tối ưu

Khi sử dụng kết hợp phụ khoáng hoạt tính FA và GGBS nhận thấy cường độ và độ lưu động được cải thiện. Kết quả tính toán trên phần mềm Excel và Matlab được thể hiện ở Bảng 7, 8 và Hình 7, 8, 9, 10.

Bảng 7. Bảng ma trận quy hoạch về cường độ

STT	Biến thực		Biến mã		R ²⁸ _{btb}
	FA/CKD (Z ₁)	GGBS/CKD (Z ₂)	X ₁	X ₂	
1	0,200	0,200	-1	-1	71,11
2	0,300	0,200	1	-1	63,46
3	0,300	0,300	-1	1	54,69
4	0,200	0,300	1	1	55,09
5	0,179	0,250	-1,414	0	69,68
6	0,321	0,250	1,414	0	63,83
7	0,250	0,179	0	-1,414	70,81

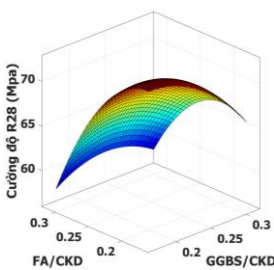
8	0,250	0,321	0	1,414	54,83
9	0,250	0,250	0	0	68,14
10	0,250	0,250	0	0	68,50
11	0,250	0,250	0	0	68,24
12	0,250	0,250	0	0	69,82
13	0,250	0,250	0	0	69,86

Bảng 8. Bảng ma trận quy hoạch về lưu động trên bàn dần

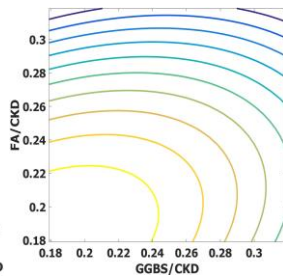
STT	Biến thực		Biến mã		F (cm)
	FA/CKD (Z ₁)	GGBS/CKD (Z ₂)	X ₁	X ₂	
1	0,200	0,200	-1	-1	19,1
2	0,300	0,200	1	-1	18,9
3	0,300	0,300	-1	1	18,8
4	0,200	0,300	1	1	18,8
5	0,179	0,250	-1,414	0	17,1
6	0,321	0,250	1,414	0	18,8
7	0,250	0,179	0	-1,414	17,7
8	0,250	0,321	0	1,414	20,7
9	0,250	0,250	0	0	20,9
10	0,250	0,250	0	0	20,3
11	0,250	0,250	0	0	20,9
12	0,250	0,250	0	0	21,0
13	0,250	0,250	0	0	20,5

Hàm hồi quy cường độ như sau:

$$Y = 47,178 + 72,312Z_1 + 212,785Z_2 + 402,622Z_1Z_2 - 400,821Z_1^2 - 794,440Z_2^2$$



Hình 7. Bề mặt ảnh hưởng của FA/CKD và GGBS/CKD đến cường độ của bê tông

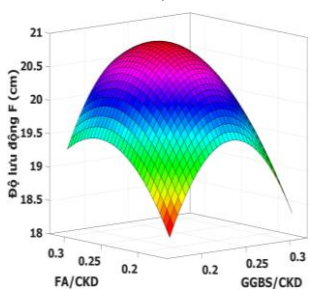


Hình 8. Đường đồng mức của FA/CKD và GGBS/CKD đến cường độ của bê tông

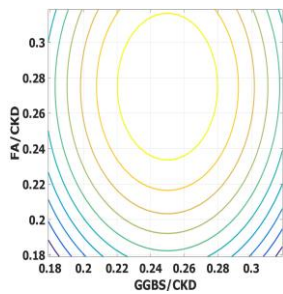
Theo kết quả của quy hoạch thực nghiệm cường độ bê tông đạt cực đại là 72,814 MPa, tương ứng với tỉ lệ FA/CKD = 0,179 và GGBS/CKD = 0,180

Hàm hồi quy độ lưu động trên bàn dần như sau:

$$Y = -5,767 + 130,414Z_1 + 74,688Z_2 - 260,829Z_1^2 - 135,791Z_2^2$$



Hình 9. Bề mặt ảnh hưởng của FA/CKD và GGBS/CKD đến độ lưu động của hỗn hợp bê tông



Hình 10. Đường đồng mức của FA/CKD và GGBS/CKD đến độ lưu động của hỗn hợp bê tông

Theo kết quả của quy hoạch thực nghiệm độ lưu động của hỗn hợp bê tông đạt cực đại là 20,80 (cm), tương ứng

với tỉ lệ FA/CKD = 0,275 và GGBS/CKD = 0,25.

3.4.2. Kết quả

Cấp phối bê tông tối ưu về cường độ:

Bảng 8. Cấp phối bê tông tối ưu về cường độ

Cát (kg)	X (kg)	GGBS (kg)	FA(kg)	Nước (l)	PG (l)
952,6	576	162	162	330,3	0,0

Cấp phối bê tông tối ưu về độ lưu động:

Bảng 9. Cấp phối bê tông tối ưu về độ lưu động

Cát (kg)	X (kg)	GGBS (kg)	FA(kg)	Nước (l)	PG (l)
932,0	428	225	248	330,3	0,0

Qua các kết quả quy hoạch thực nghiệm khi đạt cực đại về cường độ FA/CKD = 0,179 và GGBS/CKD = 0,18 thì độ lưu động chỉ đạt 18,3 cm còn khi đạt cực đại về độ lưu động FA/CKD = 0,25 và GGBS/CKD = 0,275 thì cường độ là 66,321 MPa. Cần có một tỉ lệ có thể cân bằng hợp lý các yếu tố trên. Khi thay thế tỉ lệ FA/CKD = 0,25 và GGBS/CKD = 0,25 và 2 phương trình quy hoạch thực nghiệm về cường độ và độ lưu động trên thì cho ra kết quả cường độ bê tông đạt 68,912 MPa và độ lưu động đạt 20,72 (cm).

Cấp phối bê tông hợp lý về cường độ và độ lưu động:

Bảng 10. Cấp phối bê tông tối ưu về cường độ và độ lưu động

Cát (kg)	X (kg)	GGBS (kg)	FA (kg)	Nước (l)	PG (l)
936,2	450	225	225	330,3	0,0

Các thí nghiệm kiểm tra cho thấy, độ lưu động của hỗn hợp bê tông là 20,8 cm và cường độ chịu nén của bê tông là 69,61 MPa, rất gần với kết quả qui hoạch trong Bảng 10.

3.5. Hiệu chỉnh lượng phụ gia

Khi sử dụng phụ gia Lotus-301M trên cấp phối 25% tro bay và 25% xỉ lò cao với liều dùng là 0,7% với độ chảy xòe là 72 cm. Các thử nghiệm trên khác khuôn mẫu khác nhau với phân bố sợi với khoảng cách các sợi chỉ 5mm với đường kính sợi 0,75mm, 1mm, 1,5mm đều đạt yêu cầu về độ lưu động của hỗn hợp bê tông và cường độ của bê tông. Kết quả cường độ chịu kéo uốn và chịu nén của các mẫu được thể hiện ở Bảng 11.

Bảng 11. Cường độ nén, uốn của bê tông và bê tông truyền sáng (Mpa)

Khoảng cách giữa các sợi	0,75 mm	1 mm	1,5 mm	Không chứa sợi
Cường độ nén R _n 28	103,70	90,59	88,61	108,64
Cường độ uốn R _u 28	11,76	12,36	12,79	11,73

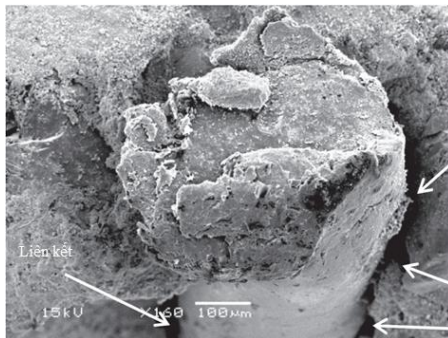


Hình 11. Độ lưu động của bê tông đáp ứng yêu cầu

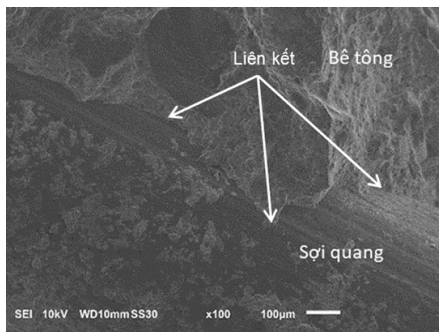


Hình 12. Các loại khuôn sử dụng trong nghiên cứu bê tông truyền sáng (khuôn mẫu đo cường độ uốn nén theo phương song song và vuông góc với sợi quang, khuôn mẫu đo truyền sáng, khuôn mẫu đo chống thấm)

Hình 13 và Hình 14 thể hiện sự khác nhau trong cấu trúc của vùng bê tông xung quanh sợi quang của mẫu bê tông trong nghiên cứu của Thiago và các cộng sự, và trong nghiên cứu này. Hình 14 cho thấy liên kết giữa sợi quang và bê tông trong nghiên cứu này là chặt chẽ, và không có những lỗ rỗng xuất hiện xung quanh sợi quang như mẫu bê tông trong nghiên cứu của Thiago và các cộng sự [5].



Hình 13. Quan sát SEM trên mẫu của Thiago dos S, Henriques và các cộng sự [5]



Hình 14. Quan sát SEM trên mẫu cấp phối của bê tông nghiên cứu

4. Kết luận

Nhóm tác giả đã nghiên cứu thành công thành phần cấp phối của hỗn hợp bê tông cốt liệu mịn và thân thiện với môi trường ứng dụng trong chế tạo bê tông truyền sáng khi sợi quang được bố trí với mật độ cao. Điều này là do cấp phối của hỗn hợp bê tông được chế tạo đã được tối ưu về cả về mật cường độ và tính lưu động giúp hạn chế các lỗ rỗng xuất hiện xung quanh sợi quang.

Cấp phối bê tông với tỉ lệ FA/CKD = 0,25 và tỉ lệ GGBS/CKD = 0,25 đạt yêu cầu với cường độ đạt 108 MPa, độ chảy xè là 72cm và đã khắc phục được các nhược điểm của các đề tài trước đó.

Cấp phối bê tông có tỉ lệ FA/CKD = 0,179 và tỉ lệ GGBS/CKD = 0,18 đạt tối ưu về mật cường độ.

Cấp phối bê tông có tỉ lệ tỉ lệ FA/CKD = 0,275 và tỉ lệ GGBS/CKD = 0,25 đạt tối ưu về mật độ lưu động.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng trong đề tài có mã số B2020-DN01-30.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Han, B., Zhang, L., & Ou, J, *Smart and Multifunctional Concrete Toward Sustainable Infrastructures*, Springer, 2017.

- [2] Ahmed, Mohamed Ahmed Alaa El Din, and Mohamed Anwar Fikry. "Impact of glass facades on internal environment of buildings in hot arid zone", *Alexandria Engineering Journal*, 58(3), 2019, 1063-1075.
- [3] Mohammadreza Eslami, Khalid M. Mosalam, Shalva Marjanishvili, Brian Katz, Weichiang Pang, Venkatesh Kodur, "Prediction of blast pressure-duration capacity of monolithic Thermally Tempered Glass panes", *International Journal of Impact Engineering*, Volume 136, 2020, 2-25.
- [4] A. Altomate, F. Alatshan, M. Jadan, F. Mashiri, "Experiment study of light transmitting concrete", *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 7(3-4), 2016, 133-139.
- [5] Thiago dos S. Henriques, Denise C. Dal Molin, Ângela B. Masuero, "Study of the influence of sorted polymeric optical fibers (POFs) in samples of a light-transmitting cement-based material (LTCM)", *Construction and Building Materials*, 161, 2018, 305-315.
- [6] ACI Committee 233, *Slag Cement in Concrete and Mortar*, American Concrete Institute, 2011.
- [7] Hoàng Minh Đức, Trần Quốc Toán, Lee Sang Hyun, Do Kwang Soo, "Nghiên cứu ảnh hưởng của xi hạt lò cao nghiền mịn và tro bay đến tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông", *Tạp chí KHCN Xây dựng*, 03, 2020, 33-40.
- [8] H. S. Chore, M. P. Joshi, "Strength evaluation of concrete with fly ash and GGBFS as cement replacing materials", *Advances in concrete construction*, 3(3), 2015, 223-236.
- [9] Jin, Y. E., and Nur Yazdani, "Substitution of Fly Ash, Slag, and Chemical Admixtures in Concrete Mix Designs", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 15(6), 2003, 602-608.
- [10] Mohd Shariq, Jagdish Prasad, Amjad Masood, "Effect of GGBFS on time dependent compressive strength of concrete", *Construction and Building Materials*, 24(8), 2010, 1469-1478.
- [11] V. G. Papadakis, S. Tsimas, "Supplementary cementing materials in concrete: Part I: efficiency and design", *Cement and Concrete Research*, 32(10), 2017, 1525-1532.
- [12] Nguyễn Văn Hương, "Nghiên cứu ảnh hưởng của tro bay đến nhiệt thủy hóa và cường độ nén của vữa", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, 1(98), 2016, 37-40.
- [13] Nguyễn Văn Hương, "Ảnh hưởng của tro bay đến khả năng nứt của bê tông trong điều kiện bị kiềm hãm", *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi môi trường*, 65, 2019, 51-57.
- [14] Fournier, Benoit, and Marc-André Bérubé, "Alkali-aggregate reaction in concrete: a review of basic concepts and engineering implications", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 27(2), 2000, 167-191.
- [15] Nguyễn Văn Hương, "Tổng quan về tấn công sun-phát bên ngoài đối với bê tông", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, 03(88), 2015, 42-45.
- [16] Nguyễn Văn Tươi, Phạm Huy Khang, Nguyễn Văn Hương, "Hiệu quả của pu-zo-lan tự nhiên đối với độ bền của bê tông trong môi trường biển", *Tạp chí Giao thông vận tải*, (1+2), 2016, 77-81.
- [17] Hossain, M. M., Karim, M. R., Elahi, M. M. A., Islam, M. N., & Zain, M. F. M, "Long-term durability properties of alkali-activated binders containing slag, fly ash, palm oil fuel ash and rice husk ash", *Construction and Building Materials*, 251, 2020, 1-8.
- [18] Carles-Gibergues, A., Cyr, M., Moisson, M., Ringot, E., "A simple way to mitigate alkali-silica reaction", *Materials and Structures*, 41(1), 2008, 73-83.
- [19] Leklou, Nordine, Van-Huong Nguyen, and Pierre Mounanga, "The effect of the partial cement substitution with fly ash on Delayed Ettringite Formation in heat-cured mortars", *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 21(4), 2017, 1359-1366.
- [20] Bandukwala, M., & Sonkusare, H. G. (2016), "Study of Reactive Powder Concrete and its Characteristics", *International Journal of Science Technology and Engineering*, 2(07), 2016, 77-79.
- [21] Sumathi, A., Mohan, K. S. R., Shankari, G. S., & Sivasankari, R, "Effect of fly ash on properties of fresh concrete". *Int J Appl Eng Res*, 9(1), 2014, 69-82.
- [22] Al-Bajjat, H., & Sarireh, M, "The use of fine blast furnace slag in improvement of properties of concrete", *Open Journal of Civil Engineering*, 9(2), 2019, 95-105.