

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG QUẶNG SẮT VÀ BARITE KẾT HỢP VỚI PHỤ GIA KHOÁNG TRONG CHẾ TẠO BÊ TÔNG SIÊU NẶNG CHO CÔNG TRÌNH BỨC XẠ

INVESTIGATION OF THE USE OF IRON AND BARITE ORE COMBINED WITH MINERAL ADDITIVES FOR THE PRODUCTION OF ULTRA-HEAVY CONCRETE FOR RADIATION FACILITIES

TÀNG VĂN LÂM^{a,*}, ĐẶNG VĂN PHI^a

^aTrường Đại học Mở-Địa chất

*Tác giả đại diện: Email: tangvanlam@humg.edu.vn

Ngày nhận 23/5/2024, Ngày sửa 20/11/2024, Chấp nhận 18/6/2025

<https://doi.org/10.59382/j-ibst.2025.vi.vol2-4>

Tóm tắt: Bê tông siêu nặng đóng vai trò thiết yếu trong các kết cấu che chắn bức xạ tại các nhà máy điện hạt nhân và cơ sở y tế có sử dụng các thiết bị phát tia X, máy gia tốc, hoặc nguồn phóng xạ khác, ... Việc chế tạo bê tông siêu nặng đòi hỏi sử dụng cốt liệu có khối lượng riêng lớn kết hợp với giải pháp tăng độ đặc chắc của hỗn hợp bê tông. Nghiên cứu này tập trung đánh giá khả năng sử dụng quặng sắt ilmenite và bột barite kết hợp với xi măng Portland, và phụ gia khoáng hóa hoạt tính nhằm chế tạo bê tông hạt mịn siêu nặng cân xạ. Kết quả thí nghiệm cho thấy hỗn hợp bê tông có tính công tác tốt, khối lượng thể tích đạt trên $3,3 \text{ tấn/m}^3$ và cường độ nén trung bình từ 50 đến 70 MPa sau 28 ngày dưỡng hộ. Những kết quả này cho thấy tiềm năng ứng dụng vật liệu nội địa trong chế tạo bê tông cân xạ có khối lượng thể tích lớn và cường độ cao, phù hợp với yêu cầu kỹ thuật cho các công trình bao che hoặc kết cấu chắn bức xạ tại các cơ sở chiếu xạ và nhà máy điện hạt nhân ở Việt Nam.

Từ khóa: Bê tông siêu nặng, quặng Barite, quặng ilmenite, cường độ nén, độ chảy xoe.

Abstract: Ultra-Heavyweight concrete (UHC) incorporating high-density fine aggregates plays a crucial role in radiation shielding structures at nuclear power plants and medical facilities that utilize X-ray equipment, linear accelerators, or other radioactive sources. The production of UHC requires the use of high-density aggregates in combination with techniques to enhance the compactness of the

concrete matrix. This study investigates the potential application of ilmenite and barite ore powder, combined with Portland cement, and mineral-chemical admixtures, for the production of ultra-heavy fine-grained radiation shielding concrete. Experimental results indicate that the concrete mixtures exhibited good workability, a bulk density greater than 3300 kg/m^3 , and average compressive strengths ranging from 50 to 70 MPa at 28 days. These findings highlight the potential of utilizing locally available materials for producing high-density, high-strength radiation shielding concrete, which meets the technical requirements for radiation-resistant structures in irradiation facilities and nuclear reactors in Vietnam.

Keywords: Ultra-Heavyweight concrete, barite ore, ilmenite ore, compressive strength, flow spread.

1. Đặt vấn đề

Bê tông là một loại vật liệu đá nhân tạo được sử dụng rộng rãi trong các công trình xây dựng. Cùng với sự phát triển nhanh chóng của khoa học và công nghệ các loại bê tông mới có tính năng cao đã được nhiều nhà khoa học trong nước và thế giới quan tâm nghiên cứu, trong đó có chủng loại bê tông siêu nặng cân xạ. Để bảo vệ con người và thiết bị khỏi tác động của bức xạ ion hóa, bê tông siêu nặng hiện được dùng phổ biến trong các cơ sở y tế có sử dụng các thiết bị phát tia X, máy gia tốc hoặc trong các nhà máy điện hạt nhân (Hình 1).



Hình 1. Phối cảnh Nhà máy điện hạt nhân Ninh Thuận [1]

Trong thành phần bê tông, cốt liệu đóng vai trò chủ đạo và chiếm tỷ lệ lớn nhất về khối lượng. Do đó, việc sử dụng cốt liệu có khối lượng riêng lớn trong thiết kế cấp phối là một giải pháp hiệu quả nhằm tăng khối lượng thể tích của bê tông, đặc biệt đối với các loại bê tông yêu cầu mật độ cao như bê tông cancellite (BTCX). Bên cạnh vai trò của cốt liệu, độ đặc chắc của vi cấu trúc trong bê tông cũng ảnh hưởng lớn đến trọng lượng

của sản phẩm sau khi tạo hình. Vì vậy, việc nghiên cứu sử dụng cốt liệu có khối lượng riêng lớn từ hỗn hợp quặng barite và quặng sắt ilmenite trong sản xuất bê tông hạt mịn siêu nặng là cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn cao trong các công trình có yêu cầu về khả năng cancellite [2, 3]. Bảng 1 trình bày phân loại bê tông thông thường theo khối lượng thể tích, dựa trên các tài liệu nghiên cứu [4, 5].

Bảng 1. Phân loại bê tông theo giá trị khối lượng thể tích

STT	Loại bê tông	Khối lượng thể tích (kg/m^3)	Khả năng ứng dụng
1	Bê tông đặc biệt nhẹ	Nhỏ hơn 800	Chủ yếu dùng trong kết cấu cách âm, cách nhiệt
2	Bê tông nhẹ	800 ÷ 1800	Dùng trong các kết cấu vừa chịu lực vừa cách nhiệt
3	Bê tông tương đối nặng	1800 ÷ 2200	Dùng chủ yếu cho các kết cấu chịu lực nhỏ, nhà thấp tầng
4	Bê tông nặng	2200 ÷ 2700	Dùng cho các kết cấu chịu lực lớn, nhà cao tầng, siêu cao tầng
5	Bê tông đặc biệt nặng	Trên 2700	Dùng cho những kết cấu đặc biệt, các cơ sở chiếu xạ, nhà máy điện hạt nhân

Như vậy, các loại bê tông có khối lượng thể tích lớn hơn $2,7 \text{ tấn/m}^3$ được xếp vào nhóm bê tông siêu nặng [6, 7]. Tại Việt Nam, đã có một số nghiên cứu liên quan đến bê tông siêu nặng, trong đó đáng chú ý là công trình của nhóm tác giả Vũ Mạnh Hùng [8]. Nhóm nghiên cứu này đã chế tạo thành công vữa bê tông sử dụng cốt liệu barite, đáp ứng các chỉ tiêu cơ lý của vữa xây dựng, đồng thời xác định được giá trị tương đương chì của vật liệu, phục vụ cho mục đích chắn xạ trong các cơ sở y tế có phòng chụp X-quang.

Nghiên cứu của tác giả Trần Ngọc Tính [9] về ảnh hưởng của phụ gia siêu dẻo đến cường độ và cấu trúc của BTCX đã chỉ ra rằng phụ gia siêu dẻo góp phần cải thiện cường độ chịu nén theo tuổi của bê tông. Đồng thời, nghiên cứu cũng làm rõ tác động của các loại cốt liệu như barite Tuyên Quang, barite Nghệ An và quặng sắt đến cấu trúc của BTCX có cường độ khoảng 40 MPa.

Nghiên cứu của tác giả Nguyễn Mạnh Kiểm và cộng sự [10] về tiềm năng sử dụng nguồn nguyên liệu trong nước để chế tạo BTCX phục vụ xây dựng nhà máy điện hạt nhân đã tập trung khảo sát bê tông sử dụng cốt liệu barite. Tuy nhiên, phạm vi nghiên cứu chỉ giới hạn với cốt liệu lớn có kích thước hạt tối đa 20 mm.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu về BTCX và bê tông siêu nặng hiện vẫn chưa xác lập được các chỉ

tiêu kỹ thuật cụ thể liên quan đến khả năng cancellite của vật liệu. Các công bố chủ yếu mới dừng lại ở việc chỉ ra mối quan hệ tỷ lệ thuận giữa khối lượng thể tích và mức độ suy giảm bức xạ. Bên cạnh đó, các phân tích về ưu điểm và hạn chế trong ứng dụng thực tế của những loại vật liệu này trong các công trình cũng chưa được trình bày một cách đầy đủ và hệ thống.

Năm 2021, Dương Ngọc Đức và nhóm nghiên cứu đã thực hiện đề tài: “Nghiên cứu lựa chọn thành phần bê tông cốt liệu barite cancellite cho hạng mục che chắn nguồn Co-60” [11, 12]. Nghiên cứu này nhằm xác định thành phần cấp phối bê tông chuyên dụng có khả năng cancellite hiệu quả hơn so với bê tông thông thường, sử dụng cốt liệu là quặng barite khai thác tại mỏ đá Bắc Giang. Trên cơ sở đó, nhóm tác giả đã thiết kế và chế tạo các mẫu BTCX phục vụ cho hạng mục che chắn nguồn phóng xạ Cobalt-60. So với các nghiên cứu trong và ngoài nước, đề tài đã đưa ra những kết quả có tính ứng dụng thực tiễn cao hơn, khẳng định tiềm năng sử dụng quặng barite địa phương như một loại cốt liệu chính trong sản xuất bê tông cancellite cho các công trình sử dụng nguồn Co-60. Tuy nhiên, nghiên cứu này mới chỉ giới hạn trong phạm vi sử dụng barite làm cốt liệu cho BTCX thông thường với cường độ còn thấp; chưa đánh giá đến khả năng thay thế hoặc kết hợp với quặng sắt để nâng cao khối lượng thể tích và hiệu quả chắn xạ,

cũng như chưa xem xét khả năng tận dụng phế thải công nghiệp (như tro bay, xỉ lò cao,...) để thay thế một phần xi măng trong cấp phối nhằm hướng đến phát triển vật liệu bền vững.

Mặt khác, trong thiên nhiên hầu như không có loại nguyên vật liệu tự nhiên nào có thể đáp ứng đầy đủ các yêu cầu kỹ thuật trong chế tạo các kết cấu bảo vệ an toàn hệ thống sinh vật và con người làm việc trong môi trường bức xạ của nhà máy điện hạt nhân hoặc trong các phòng chiếu xạ của cơ sở y tế. Do đó, vật liệu nhân tạo là hướng nghiên cứu cần thiết để tạo ra các giải pháp kết cấu tối ưu về khả năng che chắn bức xạ hạt nhân, đồng thời đảm bảo các yêu cầu về cơ học, độ bền lâu và đặc điểm công nghệ trong thi công. Đặc biệt, việc phát triển bê tông hạt mịn siêu nặng sử dụng các phụ gia khoáng hóa và nguồn vật liệu trong nước không chỉ giúp nâng cao hiệu quả che chắn bức xạ mà còn góp phần chủ động về nguồn cung, giảm chi phí và thúc đẩy nội địa hóa công nghệ trong lĩnh vực xây dựng hạt nhân tại Việt Nam trong tương lai.

Trước thực trạng đó, việc nghiên cứu khả năng sử dụng quặng sắt và bột quặng barite kết hợp với phụ gia khoáng hóa để chế tạo bê tông hạt mịn siêu

nặng, có khả năng che chắn hiệu quả bức xạ nguy hiểm đối với sức khỏe con người làm việc trong các cơ sở chiếu xạ và nhà máy điện hạt nhân tại Việt Nam, là một hướng đi cần thiết trong thời gian tới. Đồng thời, phát triển loại bê tông này từ các nguồn vật liệu sẵn có trong nước không chỉ góp phần nâng cao hiệu quả bảo vệ bức xạ, mà còn giúp chủ động nguồn cung, giảm chi phí, và thúc đẩy quá trình nội địa hóa công nghệ chế tạo vật liệu phục vụ xây dựng cơ sở hạ tầng trong lĩnh vực hạt nhân và phóng xạ.

2. Vật liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1 Vật liệu sử dụng

a) Cốt liệu nặng

Cốt liệu nặng bao gồm quặng sắt Ilmenite (FeTiO_3) xã Phước Dinh - huyện Thuận Nam – tỉnh Ninh Thuận và bột quặng Barite (BaSiO_4) tại xã Bãi Trành - huyện Như Xuân - tỉnh Thanh Hóa. Trong đó:

- Quặng sắt sử dụng trong nghiên cứu này là Ilmenite Ninh Thuận (QS), có từ tính và khối lượng riêng đạt khoảng $4,92 \text{ g/cm}^3$. Kích thước hạt của quặng Ilmenite dao động trong khoảng từ 0,14 mm đến 5,0 mm (Hình 2).



Hình 2. Quặng sắt Ilmenite Ninh Thuận

- Quặng barite Thanh Hóa (QB) sau khi khai thác được đập nhỏ và sàng phân loại thành các cỡ hạt trong khoảng từ 0,14 mm đến 20 mm. Các cỡ hạt từ 0,14 - 5,0 mm được phân loại và phối hợp với nhau theo một tỷ lệ thích hợp dùng để thay thế hoàn

toàn cát trong chế tạo bê tông và vữa trát (Hình 3a). Đặc biệt, cỡ hạt quặng barite dưới 0,14 mm sau khi nghiền nhỏ được dùng làm phụ gia điền đầy trong thành phần của bê tông. Khối lượng riêng của bột quặng barite là $4,50 \text{ g/cm}^3$ (Hình 3b).



a) Quặng sắt Ilmenite kích thước hạt 0,14÷5,0 mm

b) Bột quặng Barite

Hình 3. Thành phần cốt liệu nặng sử dụng trong nghiên cứu

Trong khuôn khổ của nghiên cứu này, hỗn hợp cốt liệu nặng (CLN) được phối trộn từ 70% quặng sắt ilmenite và 30% bột quặng barite theo khối lượng. Như vậy, CLN sử dụng trong nghiên cứu này được xác định theo công thức sau:

$$CLN = QB + QS \quad (1)$$

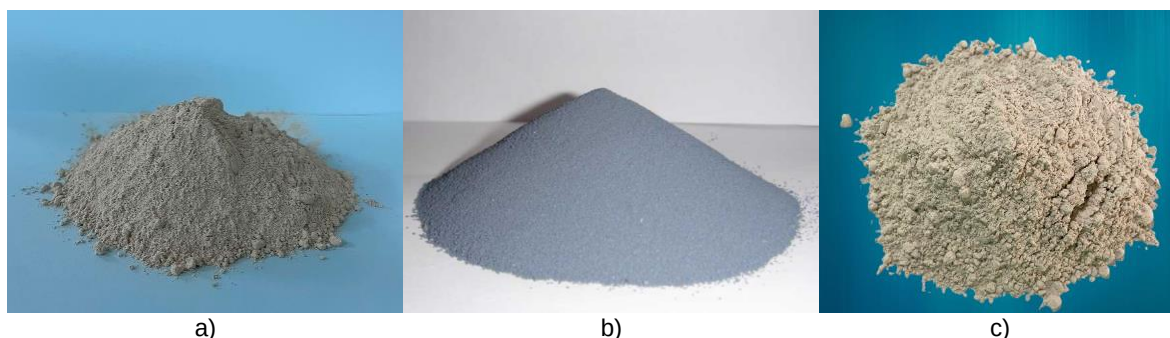
b) Hỗn hợp chất kết dính

Xi măng (XM) được sử dụng trong nghiên cứu là Vicem Bút Sơn PCB40 thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của tiêu chuẩn TCVN 6260:2009. Xi măng Portland hỗn hợp Bút Sơn có khối lượng riêng 3,15 g/cm³, độ dẻo tiêu chuẩn 29,6%, độ ổn định thể tích 0,6%, thời gian bắt đầu và kết thúc đông kết lần lượt

là 110 phút và 200 phút. Cường độ chịu nén các tuổi 3 ngày và 28 ngày lần lượt là 21,1 MPa và 41,0 MPa.

Hỗn hợp phụ gia biến tính gồm có tro bay nhiệt điện, silica fume và xỉ luyện kim Hòa Phát (Hình 4) đã được sử dụng để thay đổi tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông siêu nặng có khả năng cản phóng xạ, cụ thể như sau:

- Tro bay loại F của nhà máy nhiệt điện Vĩnh Tân (FA) thỏa mãn yêu cầu của TCVN 10302:2014.
- Silicafume SF-90 của Công ty Vina Pacific (SF90) thỏa mãn yêu cầu theo TCVN 8827:2012.
- Xi nghiền mịn S95 của nhà máy luyện kim Hòa Phát (Xi) thỏa mãn yêu cầu theo TCVN 11586:2016.



a)

b)

c)

Hình 4. Một số phụ gia biến tính sử dụng trong nghiên cứu

a) Tro bay nhiệt điện Phả Lại, b) Silica fume SF90, và c) xỉ luyện kim Hòa Phát

Các tính chất vật lý cơ bản của xi măng, tro bay nhiệt điện Phả Lại, xỉ luyện kim Hòa Phát và silica fume được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Tính chất vật lý của tro bay Vĩnh Tân, xỉ luyện kim Hòa Phát, silica fume SF-90 và xi măng Portland hỗn hợp PCB 40 Bút Sơn

Loại vật liệu	Tro bay nhiệt điện	Xi luyện kim	Silica Fume SF-90	Xi măng Portland hỗn hợp PCB 40 Bút Sơn
Tỷ diện bề mặt riêng (m ² /g)	0,82	0,35	12,15	0,368
Khối lượng riêng (g/cm ³)	2,35	2,92	2,15	3,15
Khối lượng thể tích khô (kg/m ³)	1350	1450	760	1560
Đường kính trung bình (μm)	20,47	12,55	2,45	21,11

Theo đó, chất kết dính (CKD) trong nghiên cứu này được xác định theo công thức (2):

$$CKD = XM + FA + SF90 + Xi \quad (2)$$

c) Phụ gia

Phụ gia siêu dẻo Sika ViscoCrete 3000 “Sika” (PGSD) đã được sử dụng để cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông có mật độ 1,15 g/cm³ ở nhiệt độ 25 ± 5 °C. Lượng phụ gia siêu dẻo Sika ViscoCrete

3000 là 1,0% khối lượng của chất kết dính và lượng nước của hỗn hợp bê tông giảm khoảng 30%.

d) Nước

Nước sạch (N) được sử dụng để làm nước trộn hỗn hợp bê tông và bảo dưỡng mẫu thí nghiệm, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 4506:2024.

2.2 Phương pháp nghiên cứu

- Tính toán thành phần của hỗn hợp bê tông siêu nặng hạt mịn được thực hiện theo phương pháp thể tích tuyệt đối kết hợp với điều chỉnh bằng thực nghiệm theo tính chất của vật liệu sử dụng;

- Khả năng thi công của hỗn hợp bê tông hạt mịn được xác định bởi độ xòe của nhót kết Suttard theo TCVN 9204 2012;

- Do trong thành phần của hỗn hợp bê tông siêu nặng không có cốt liệu lớn. Vì vậy khối lượng thể tích trung bình của bê tông ở tuổi 28 ngày được xác định trên các mẫu hình lập phương có kích thước 50x50x50 mm theo yêu cầu TCVN 3115:2022;

- Cường độ nén của mẫu bê tông siêu nặng cần xạ được tiến hành thử nghiệm ở các tuổi 3 ngày, 7 ngày, 14 ngày và 28 ngày. Thí nghiệm này được thực hiện trên các mẫu bê tông hình lập phương với kích thước 50x50x50 mm trên hệ thống máy nén thủy lực tự động "Controls Advantest 9" với tốc độ tải không đổi là 1000 N/s. Thí nghiệm cường độ nén trong nghiên cứu này được thực hiện theo tiêu chuẩn TCVN 3118:2022. Mẫu bê tông siêu nặng kích thước 50x50x50 mm sau khi chế tạo được trình bày trên Hình 5.



Hình 5. Mẫu bê tông hạt mịn siêu nặng cần xạ

- Mức độ che chắn bức xạ hạt nhân của sản phẩm bê tông hạt mịn siêu nặng được đánh giá qua hệ số suy giảm tuyến tính của vật liệu. Hệ số này đặc trưng cho sự suy giảm của chùm tia bức xạ hạt nhân khi truyền qua mẫu vật liệu có chiều dày x cm. Thiết bị đo hệ số suy giảm tuyến tính gồm nguồn phát tia bức xạ gamma là ^{137}Cs với năng lượng 662 keV và nguồn ^{60}Co với năng lượng 1173 keV và 1332 keV. Thí nghiệm được thực hiện tại phòng an toàn bức xạ Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân.

2.3 Xác định cấp phối của hỗn hợp bê tông siêu nặng cần xạ theo phương pháp thể tích tuyệt đối

a) Các yêu cầu đối với hỗn hợp bê tông siêu nặng cần xạ

- Theo tiêu chuẩn TCVN 10306:2014, bê tông cường độ cao là bê tông có cường độ chịu nén đặc trưng 55 MPa hoặc lớn hơn ở tuổi 28 ngày. Từ cơ sở đó, trong nghiên cứu này đã tính toán thiết kế thành phần cấp phối của bê tông siêu nặng cần xạ với đặc trưng như sau:

+ Có tính công tác tốt với độ xòe 20 ÷ 25 cm trong côn vữa, được sử dụng làm hỗn hợp bê tông bơm

trong xây dựng các công trình chịu tác động của các tia bức xạ;

+ Có khối lượng thể tích trung bình khoảng trên 3000 kg/m³;

+ Có cường độ nén yêu cầu ở tuổi 28 ngày từ 60 đến 70 MPa.

- Silica fume SF-90 với kích thước hạt mịn cỡ nano và chứa đến trên 90% SiO₂ hoạt tính đã được sử dụng với mục đích giảm lượng Ca(OH)₂ tự do trong bê tông và tăng độ đặc của vi cấu trúc. Hàm lượng silica fume đã được sử dụng là 10% lượng dùng xi măng [6, 7].

- Tro bay nhiệt điện "Phả Lại" và xỉ thép nghiền mịn S95 "Hòa Phát" được sử dụng với hai mục đích chính:

+ Phụ gia khoáng mịn, bổ sung thành phần hạt trơ với kích thước nhỏ hơn 0,14 mm, như một phần cốt liệu mịn để tăng bộ khung xương chịu lực và giảm co ngót của hỗn hợp bê tông khi rắn chắc;

+ Thay thế một phần xi măng Portland để giảm lượng nhiệt thủy hóa, giảm sự hình thành vết nứt trên

kết cấu và giảm giá thành sản phẩm. Theo tiêu chuẩn ACI 211.4R-08 hàm lượng tro bay được lựa chọn bằng 20%, trong khi đó hàm lượng xỉ luyện kim được sử dụng là 20% lượng dùng xi măng.

- Lượng phụ gia siêu dẻo lấy bằng 1,0% khối lượng chất kết dính;

$$\text{- Tỷ lệ } \frac{CKD}{CLN} = 0,4; 0,6; 0,8 \text{ và } 1,0;$$

$$\text{- Tỷ lệ } \frac{N}{CKD} = 0,20.$$

Do đó:

$$\frac{XM}{\gamma_{XM}} + \frac{FA}{\gamma_{FA}} + \frac{Xi}{\gamma_{Xi}} + \frac{SF90}{\gamma_{SF90}} + \frac{QS}{\gamma_{QS}} + \frac{QB}{\gamma_{QB}} + \frac{PGSD}{\gamma_{PGSD}} + \frac{N}{\gamma_N} + A = 1000 \quad (3)$$

trong đó: XM, FA, Xi, SF90, QS, QB, PGSD, N: lần lượt là khối lượng của xi măng, tro bay nhiệt điện Phả Lại, xỉ luyện kim S95 Hòa Phát, silicafume, quặng sắt, quặng *barite*, phụ gia siêu dẻo và nước nhào trộn trong hỗn hợp bê tông siêu nặng cần xạ, (kg).

γ_{XM} , γ_{FA} , γ_{Xi} , γ_{SF90} , γ_{QS} , γ_{QB} , γ_{PGSD} , γ_N : lần lượt là khối lượng riêng của xi măng, tro bay nhiệt điện Phả Lại, xỉ luyện kim S95 Hòa Phát, silicafume, quặng sắt, quặng

b) Tính toán cấp phối của bê tông siêu nặng cần xạ theo phương pháp thể tích tuyệt đối

Thiết kế cấp phối bê tông theo phương pháp thể tích tuyệt đối đã được áp dụng trong nhiều nghiên cứu về bê tông chất lượng cao, bê tông siêu nặng cần xạ ở Việt Nam cũng như trên thế giới. Theo phương pháp thể tích tuyệt đối, thể tích $1m^3$ bê tông đã lên chặt coi như là tổng thể tích của nước, cốt liệu, xi măng, phụ gia khoáng, phụ gia siêu dẻo và thể tích không khí cuốn vào trong quá trình nhào trộn.

barite, phụ gia siêu dẻo và nước nhào trộn trong hỗn hợp bê tông siêu nặng cần xạ, (kg/lít).

A: là thể tích rỗng do không khí cuốn vào trong hỗn hợp bê tông, theo tài liệu [4, 5] thể tích không khí cuốn vào là $A = 1,0\%$.

Tính toán theo phương pháp thể tích tuyệt đối dựa trên các giá trị tỷ lệ nguyên vật liệu đã chọn, thu được cấp phối của hỗn hợp bê tông siêu nặng hạt mịn siêu nặng cần xạ có thành phần như trong Bảng 3.

Bảng 3. Cấp phối của hỗn hợp bê tông hạt mịn siêu nặng cần xạ

STT	Ký hiệu	Cấp phối bê tông siêu nặng cần xạ (kg/m ³)								
		CKD	XM	FA	SF90	Xi	QS	QB	PGSD	N
1	BTCX-01	919	613	123	61	123	1608	689	9,2	184
2	BTCX-02	1097	731	146	73	146	1279	548	11,0	219
3	BTCX-03	1214	809	162	81	162	1062	455	12,1	243
4	BTCX-04	1297	865	173	86	173	908	389	13,0	259

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1 Tính chất của hỗn hợp bê tông hạt mịn siêu nặng cần xạ

Dựa vào các kết quả thực nghiệm trong điều kiện phòng thí nghiệm cho thấy hỗn hợp bê tông siêu

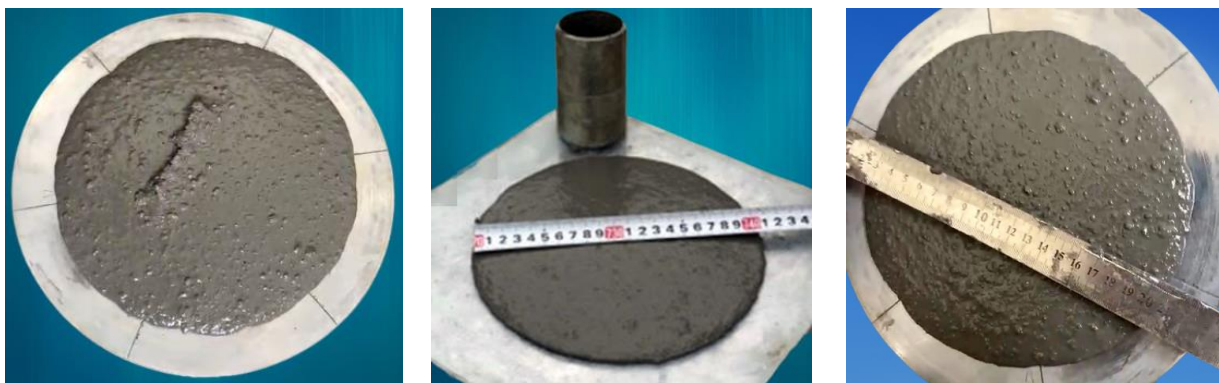
nặng sau khi tạo hình có độ dẻo cao, tính công tác tốt và tổn thất độ sụt sau 30 phút nhào trộn là không đáng kể. Kết quả thí nghiệm các tính chất cơ bản của hỗn hợp bê tông siêu nặng được trình bày chi tiết trong Bảng 4.

Bảng 4. Tính chất của hỗn hợp bê tông hạt mịn siêu nặng cần xạ

STT	Ký hiệu	Độ xòe của hỗn hợp bê tông (mm)		Khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông (kg/m ³)
		Ngay sau khi nhào trộn	Sau 30 phút khi nhào trộn	
1	BTCX-01	185	180	3410
2	BTCX-02	190	182	3155
3	BTCX-03	200	185	2986
4	BTCX-04	210	185	2867

Khi thay đổi tỷ lệ CKD/CLN từ 0,4 đến 1,0 hàm lượng chất kết dính trong các mẫu thí nghiệm có xu hướng tăng, đồng thời hàm lượng cốt liệu nặng giảm dần. Kết quả là khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông ngay sau khi nhào trộn đã giảm từ 3410 kg/m^3 xuống chỉ còn 2867 kg/m^3 . Với việc hàm lượng chất kết dính tăng, đồng thời tỷ lệ N/CKD được giữ cố định bằng 0,20 nên các mẫu

BTCX trong trường hợp này có tính công tác tăng dần. Độ xòe của hỗn hợp bê tông tăng từ 185 mm lên đến 210 mm. Mặt khác, khi kết hợp đồng thời tro bay nhiệt điện, xỉ lò cao, silicafume và phụ gia siêu dẻo giảm nước trong thành phần cấp phối của bê tông hạt mịn siêu nặng cần xả nên sau 30 phút sau khi nhào trộn độ xòe của hỗn hợp bê tông suy giảm không đáng kể.



Hình 6. Đo độ chảy xòe của hỗn hợp bê tông hạt mịn

3.2 Tính chất bê tông hạt mịn siêu nặng cần xả ở trạng thái cứng rắn

Thí nghiệm cường độ nén của mẫu bê tông hạt mịn được thực hiện trên mẫu hình lập phương kích thước $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}$. Hỗn hợp nguyên vật liệu sau khi nhào trộn được đổ vào khuôn và bảo dưỡng mẫu theo quy định.

Cường độ chịu nén của mẫu bê tông được xác định ở các mức tuổi 3 ngày, 7 ngày, 14 ngày và 28 ngày trên thiết bị máy nén 3000 KN phù hợp với yêu cầu kỹ thuật của TCVN 3118:2022. Mỗi tổ mẫu thí nghiệm gồm 06 viên mẫu thí nghiệm. Các kết quả nghiên cứu về cường độ nén và khối lượng thể tích của bê tông đã được trình bày trong Bảng 5.

Bảng 5. Giá trị cường độ nén và khối lượng thể tích của bê tông hạt mịn siêu nặng cần xả

STT	Ký hiệu	Giá trị cường độ nén của bê tông hạt mịn siêu nặng cần xả ở các tuổi ngày bảo dưỡng khác nhau (MPa)				Khối lượng thể tích của bê tông ở tuổi 28 ngày (kg/m^3)
		3 ngày	7 ngày	14 ngày	28 ngày	
1	BTCX-01	22,4	36,8	50,0	54,5	3350
2	BTCX-02	26,0	40,4	55,2	60,5	3133
3	BTCX-03	30,5	46,1	61,9	67,8	2949
4	BTCX-04	31,8	47,0	63,0	69,2	2850

Từ các giá trị cường độ nén trung bình của 06 mẫu bê tông thí nghiệm cho thấy, cường độ nén ở tuổi 28 ngày dao động từ 54,5 MPa đến 69,2 MPa. Các cấp phối tỷ lệ CKD/CLN nhỏ đã thu được cường độ thấp hơn. Kết quả này có thể được giải thích là do hàm lượng chất kết dính trong các cấp phối BTCX-01 và BTCX-02 nhỏ hơn đáng kể so với cấp phối BTCX-03 và BTCX-04. Lượng chất kết dính nhỏ, giảm độ xòe và tác động tiêu cực đến giá trị cường độ nén của mẫu ở các tuổi khác nhau.

Giá trị khối lượng thể tích của các mẫu bê tông thí nghiệm xác định ở tuổi 28 ngày đều lớn hơn 2700 kg/m^3 đạt yêu cầu của bê tông siêu nặng. Tuy nhiên, tùy thuộc vào hàm lượng cốt liệu nặng mà giá trị khối lượng thể tích của sản phẩm bê tông thay đổi tương ứng. Bên cạnh đó, từ kết quả thực nghiệm này cũng thấy rằng, khi sử dụng hàm lượng cốt liệu nặng lớn, thì giá trị khối lượng thể tích của sản phẩm tăng nhưng cường độ nén trong trường hợp này có xu hướng giảm xuống. Do đó, tùy vào yêu cầu chịu lực

và mục đích sử dụng của kết cấu để có thể điều chỉnh, lựa chọn tỷ lệ thành phần cấp phối cho hợp lý.

Mặt khác, về tốc độ phát triển cường độ của sản phẩm bê tông siêu nặng hạt mịn cần xạ trong nghiên cứu này cho thấy, cường độ ở các tuổi sớm ngày đều phát triển nhanh, đặc biệt ở tuổi 14 ngày sản phẩm bê tông đã đạt trên 91% so với cường độ ở tuổi 28 ngày. Kết quả này có thể được giải thích do trong giới hạn nghiên cứu này tỷ lệ N/CKD=0,20 rất nhỏ, thành phần cấp phối của bê tông không có chứa cốt liệu thô. Do đó, sau khi tạo hình hỗn hợp bê tông đông kết và rắn chắc nhanh hơn các sản phẩm bê tông xi măng truyền thống [12, 13].

3.3 Xác định hệ số suy giảm tuyến tính của sản phẩm bê tông hạt mịn siêu nặng cần xạ

Theo các nghiên cứu [13, 14, 15], hệ số suy giảm tuyến tính (μ , cm^{-1}) là đại lượng biểu thị mức độ suy giảm cường độ phóng xạ khi tia xuyên qua vật liệu. Hệ số μ được mô tả theo định luật Beer–Lambert theo công thức (4):

$$I_x = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (4)$$

trong đó:

- I_0 : cường độ tia bức xạ ban đầu;
- I_x : cường độ tia bức xạ sau khi xuyên qua vật liệu có bề dày x ;
- μ : hệ số suy giảm tuyến tính (cm^{-1});
- x : chiều dày lớp vật liệu che chắn (cm).

Trong giới hạn của nghiên cứu này, hệ số suy giảm tuyến tính của sản phẩm bê tông hạt mịn siêu nặng cần xạ được xác định từ kết quả trung bình của 05 lần đo và được trình bày trong Bảng 6.

Bảng 6. Hệ số suy giảm tuyến tính của sản phẩm bê tông hạt mịn siêu nặng cần xạ

STT	Nguồn bức xạ	Năng lượng (keV)	Hệ số suy giảm tuyến tính μ (cm^{-1})			
			BTCX-01	BTCX-03	BTCX-03	BTCX-04
1	^{137}Cs	662	0,161	0,155	0,145	0,137
2	^{60}Co	1173	0,147	0,140	0,131	0,121
3	^{60}Co	1332	0,138	0,132	0,128	0,120

Kết quả thực nghiệm cho thấy, đối với nguồn ^{137}Cs năng lượng 662 keV, hệ số suy giảm tuyến tính của các mẫu bê tông hạt mịn siêu nặng cần xạ giảm dần từ 0,161 cm^{-1} đến 0,137 cm^{-1} . Đồng thời, đối với nguồn ^{60}Co với năng lượng 1173 keV thì hệ số suy giảm tuyến tính giảm dần từ 0,147 cm^{-1} đến 0,121 cm^{-1} , nguồn ^{60}Co với năng lượng 1332 keV giảm dần từ 0,138 cm^{-1} đến 0,120 cm^{-1} . Theo các nghiên cứu [14, 15, 16], giá trị hệ số suy giảm tuyến tính (μ) của bê tông xi măng truyền thống đối với nguồn ^{137}Cs năng lượng 662 keV dao động trong khoảng 0,08 đến 0,12 cm^{-1} , còn đối với nguồn ^{60}Co với năng lượng 1173 keV và 1332 keV thì dao động trong khoảng 0,06 đến 0,09 cm^{-1} . Như vậy, khả năng che chắn tia phóng xạ của bê tông hạt mịn siêu nặng cần xạ đã cao hơn đáng kể so với vật liệu bê tông xi măng truyền thống. Điều này có thể giải thích là do mật độ của sản phẩm bê tông có giá trị lớn, có khối lượng thể tích rất cao (từ 2,85 tấn/ m^3 đến 3,35 tấn/ m^3) nên bê tông hạt mịn siêu nặng cần xạ có hệ số suy giảm tuyến tính cao hơn với các loại bê tông xi măng thông thường.

4. Kết luận và kiến nghị

Thực nghiệm khảo sát sơ bộ trong phòng thí nghiệm về khả năng sử dụng quặng sắt và bột quặng barite kết hợp với phụ gia khoáng hóa hoạt tính đã

thu được các tính chất cơ học của bê tông siêu nặng và cần phóng xạ như sau:

Bằng cách sử dụng xi măng Vicem Bút Sơn PCB40 và cốt liệu siêu nặng có nguồn gốc từ quặng sắt Ninh Thuận và bột quặng barite Thanh Hóa, có thể sản xuất bê tông hạt mịn siêu nặng với khối lượng thể tích 2,85 tấn/ m^3 đến 3,35 tấn/ m^3 ở tuổi 28 ngày. Giá trị thu được cho thấy bê tông siêu nặng đặc hơn và nặng hơn khoảng 1,4 đến 1,5 lần so với bê tông xi măng thông thường, phù hợp sản phẩm bê tông này cho các công trình chuyên dụng đòi hỏi mật độ bê tông cao.

Mặc dù hỗn hợp bê tông có tỷ lệ nước trên xi măng rất thấp nhưng khả năng thi công rất tốt và không bị phân tầng, tách lớp. Độ xòe ngay sau khi nhào trộn của hỗn hợp bê tông dao động từ 185 mm đến 210 mm với tỷ lệ nước trên chất kết dính không đổi và bằng N/CKD = 0,20. Điều này được giải thích một phần bởi tác dụng của chất siêu dẻo được sử dụng, giúp cải thiện đáng kể khả năng làm việc của hỗn hợp bê tông. Lượng chất siêu dẻo Sika ViscoCrete 3000 “Sika” là 1,0% theo khối lượng của chất kết dính sử dụng. Sau 30 phút trộn, độ sụt của hỗn hợp bê tông thay đổi không đáng kể, đạt khoảng 180 mm. Điều này cho thấy sự suy giảm tính công

tác của hỗn hợp bê tông sau 30 phút trộn là không đáng kể.

Cường độ nén trung bình của bê tông hạt mịn siêu nặng ở tuổi 28 ngày sử dụng tro bay Phả Lại, xỉ lò cao Hòa Phát S95 và silica fume SF90 đạt khoảng 54,5-69,2 MPa, trong khi đó, khối lượng thể tích của mẫu bê tông thí nghiệm dao động từ 2,85 tấn/m³ đến 3,35 tấn/m³ đạt yêu cầu về sản phẩm bê tông siêu nặng.

Kết quả nghiên cứu đã cho thấy sử dụng quặng sắt và bột quặng barite kết hợp với phụ gia khoáng hóa hoạt tính trong thành phần cấp phối của bê tông siêu nặng làm tăng khả năng cản xạ của bê tông trên nguyên tắc tăng khối lượng thể tích bê tông và độ đặc chắc của cấu trúc. Trong giới hạn của nghiên cứu này, các giá trị cản xạ của bê tông siêu nặng đã tăng khoảng 1,5-2,5 lần so với bê tông xi măng thông thường. Điều này được giải thích dựa vào bản chất của khả năng cản phóng xạ là làm tăng mật độ bê tông để nâng cao khả năng che chắn và cản xạ của vật liệu.

Đối với nguồn ¹³⁷Cs năng lượng 662 keV, hệ số suy giảm tuyến tính của các mẫu bê tông siêu nặng hạt mịn cản xạ giảm dần từ 0,161 cm⁻¹ đến 0,137 cm⁻¹. Đồng thời, đối với nguồn ⁶⁰Co với năng lượng 1173 keV thì hệ số suy giảm tuyến tính giảm dần từ 0,147 cm⁻¹ đến 0,121 cm⁻¹, nguồn ⁶⁰Co với năng lượng 1332 keV giảm dần từ 0,138 cm⁻¹ đến 0,120 cm⁻¹.

Kết quả nghiên cứu này kỳ vọng sẽ đóng góp quan trọng vào quá trình phát triển các sản phẩm bê tông hạt mịn siêu nặng cản xạ dự kiến sẽ phục vụ xây dựng các công trình có liên quan đến bức xạ hạt nhân một cách an toàn, chủ động và hiệu quả hơn. Đồng thời, phát triển loại bê tông này từ các nguồn vật liệu khoáng sẵn có trong nước không chỉ góp phần nâng cao hiệu quả bảo vệ bức xạ, mà còn giúp chủ động nguồn cung, giảm chi phí, và thúc đẩy quá trình nội địa hóa công nghệ chế tạo vật liệu phục vụ xây dựng cơ sở hạ tầng trong lĩnh vực hạt nhân và phóng xạ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Lập Ban Chỉ đạo xây dựng Nhà máy điện hạt nhân Ninh Thuận. <https://thanhnien.vn/lap-ban-chi-dao-xay-dung-nha-may-dien-hat-nhan-ninh-thuan-185250111162826777.htm>

[2] Nguyễn Mạnh Kiểm (2014), Bê tông cản xạ trên cơ sở vật liệu trong nước, Thông tin Vật liệu Xây dựng. <https://vatliu xaydung.org.vn/vlxd-ket-cau/be-tong/be-tong-can-xa-tren-co-so-vat-lieu-trong-nuoc-4308.htm>.

[3] Lê Phương Ly, Lê Thuận An (2022). *Nghiên cứu chế tạo xi măng có khối lượng riêng lớn*. Hội nghị Khoa học Cán bộ trẻ lần thứ XVI. Viện Khoa học công nghệ xây dựng. Trang 50-55.

[4] Баженов Ю.М. (2001), Фаликман В.Р. *Новый век: новые эффективные бетоны и технологии//Материалы Всероссийской конференции*. М. С.91-101.

[5] Рыбьев И.А (2012). *Строительное материаловедение*. М.: Юрайт. 2012, 701 с.

[6] Tăng Văn Lâm và cộng sự (2024). *Khảo sát khả năng chế tạo bê tông siêu nặng, cường độ cao và cản phóng xạ từ các nguồn vật liệu sẵn có tại Việt Nam*. Hội thảo khoa học tại Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân, tháng 10.

[7] Tăng Văn Lâm, Nguyễn Trọng Dũng, Bulgakov B.I., Aleksandrova O.V., (2025). *Research on the possibility of manufacturing high-strength ultra heavy-weight concrete from available material sources in Vietnam*. Proceedings of the 2nd Conference on Advances in Civil Engineering (ICACE 2024).

[8] Vũ Mạnh Hùng, Phạm Quang Điện, Lê Quang Hiệp, Hà Sơn, Trần Ngọc Toàn, Lưu Văn Chức (1995). *Nghiên cứu chế tạo vật liệu cản xạ chống tia X*, Hà Nội.

[9] Trần Ngọc Tính (2006). *Nghiên cứu thiết kế cấp phối bê tông rất nặng sử dụng cốt liệu quặng barit Tuyên Quang, xi măng Bút Sơn PC40 dùng trong công trình cản xạ ở Việt Nam*. Đề tài cấp Bộ Xây dựng.

[10] Nguyễn Mạnh Kiểm (2000). *Bê tông cản xạ trên cơ sở vật liệu trong nước*, Hà Nội.

[11] Dương Ngọc Đức, Vũ Hải Quang (2021). *Tính toán lựa chọn thành phần cấp phối bê tông cản xạ cốt liệu barit cho hạng mục che chắn nguồn Cobalt 60*. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng-Bộ Xây dựng 11.6: 60-Trang.

[12] Dương Ngọc Đức (2020). *Nghiên cứu lựa chọn thành phần bê tông cản xạ cốt liệu barit cho hạng mục che chắn nguồn Cobalt 60*. Đề tài khoa học công nghệ cấp cơ sở năm. 60 trang.

[13] Nguyễn Văn Dũng (2022). *Nghiên cứu ảnh hưởng của xỉ đồng và xỉ hạt lò cao nghiền mịn đến tính chất của bê tông chống bức xạ*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ-Đại học Đà Nẵng, Trang 24-28.

[14] S. Al-Hamarneh et al. (2018), "Gamma-ray shielding properties of concrete," *Annals of Nuclear Energy*, Vol. 120, pp. 179–185.

[15] IAEA Safety Report Series No. 33: Radiation Protection Infrastructure, International Atomic Energy Agency, 2004.

[16] J. Singh, P. Kumar (2014), "Radiation shielding properties of concrete with different aggregates," *Radiation Physics and Chemistry*, Vol. 104, pp. 167–173.