# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA XỈ ĐỒNG VÀ XỈ HẠT LÒ CAO NGHIỀN MỊN ĐẾN TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG CHỐNG BỨC XẠ

## STUDYING THE EFFECTS OF COPPER SLAG AND GROUND GRANULATED BLAST ON PROPERTIES OF ANTI-RADIATION CONCRETE

**Nguyễn Văn Dũng***

*Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng*[1]

*Tác giả liên hệ: nvdung@dut.udn.vn

(Nhận bài: 20/6/2022; Chấp nhận đăng: 20/9/2022)

**Tóm tắt** - Nghiên cứu này tập trung việc chế tạo bê tông nặng sử dụng chất thải/phụ phẩm công nghiệp là xỉ đồng và xỉ hạt lò cao nghiền mịn. Xỉ đồng thuộc loại chất thải không độc, có trọng lượng riêng lớn (3,82 g/cm$^3$) nên là nguyên liệu phù hợp để sản xuất bê tông nặng có khả năng chống bức xạ tia X và tia γ tốt. Xỉ hạt lò cao nghiền mịn dùng để thay thế một phần xi măng trong cấp phối bê tông, góp phần bảo vệ môi trường và tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên. Nghiên cứu khảo sát nhiều loại cấp phối của bê tông, ảnh hưởng của xỉ đồng (copper slag-CS) và xỉ hạt lò cao nghiền mịn (ground granulated blast furnace slag-GGBFS) đến cường độ, tính chất kỹ thuật và khả năng che chắn bức xạ của bê tông. Cấp phối tối ưu có khả năng sử dụng để chế tạo bê tông che chắn bức xạ có hệ số suy giảm tuyến tính 0,1910 cm$^{-1}$, cường độ 33,67 MPa, đáp ứng mác thiết kế 30 MPa.

**Từ khóa** - Bê tông; xỉ đồng; xỉ hạt lò cao nghiền mịn; tia X; tia γ.

**Abstract** - This study focused on manufacturing heavy concrete using industrial waste/byproduct such as copper slag and ground granulated blast furnace slag. Copper slag is a non-toxic waste with a high specific gravity (3.82 g/cm$^3$), so it is a suitable raw material for the production of heavy concrete which has a good shielding ability to X-ray and γ-ray radiation. Ground granulated blast furnace slag is used to partially replace cement in concrete mixtures, this contributes to environmental protection and saving natural resources. The study investigated different proportions of concrete mixture, the influence of copper slag (CS) and ground granulated blast furnace slag (GGBFS) on strength, technical properties and radiation shielding ability of concrete. The optimal mixture proportion that can be used for anti-radiation concrete has a linear attenuation coefficient of 0.1910 cm$^{-1}$, a compressive strength of 33.67 MPa and meets the design grade of 30 MPa.

**Key words** - Concrete; copper slag; ground granulated blasted furnace slag; X-ray; γ-ray.

### 1. Giới thiệu chung

Ngày nay, các thiết bị có phát bức xạ được sử dụng rất nhiều trong y tế, nghiên cứu và đời sống như máy chụp X quang tại các bệnh viện, máy XRD, XRF tại các trung tâm nghiên cứu, máy quét an ninh tại các sân bay… Các bức xạ trên rất nguy hiểm đối với tế bào cơ thể, vì vậy con người chung quanh cần phải được bảo vệ càng nhiều càng tốt. Bê tông là loại vật liệu có khả năng che chắn bức xạ khá tốt. Nâng cao thêm nữa khả năng che chắn bức xạ của bê tông rất cần thiết để giảm thiểu tác hại của bức xạ [1], giúp không cần phải xây tường thật dày tốn không gian và làm nặng nề cấu trúc xây dựng [2], hơn nữa còn làm giảm sự xuống cấp của cấu trúc trong quá trình sử dụng dưới tác dụng của bức xạ [3].

Xỉ đồng sinh ra trong quá trình nấu chảy quặng để luyện đồng, tồn tại ở dạng hạt mịn. Hiện nay xỉ đồng thường được dùng làm bột mài, còn lại bị chôn lấp [4]. Xỉ đồng có trọng lượng riêng lớn 3,9 g/cm$^3$ [5], được phân loại theo nguy cơ đối với sức khoẻ cộng đồng và môi trường là không độc, không nguy hiểm [6], tồn tại dưới dạng hạt nên có thể sử dụng như cốt liệu mịn cho bê tông [4]. Do có trọng lượng riêng lớn nên xỉ đồng sẽ làm tăng trọng lượng riêng của bê tông, cải thiện khả năng che chắn bức xạ tia X và tia γ, có thể làm tăng hệ số suy giảm tuyến tính của bê tông lên 31% [7]. Sharma và Khan [8] và Vijayaraghavan [9] thấy, có thể thay thế cốt liệu cát thiên nhiên bằng xỉ đồng với lượng 40-60% trong bê tông tự đầm và nó làm tăng cường độ bê tông. Gupta và Siddique [10] cũng kết luận rằng có thể dùng xỉ đồng với lượng từ 20-60% trọng lượng cát và nó làm tăng cường độ nén của bê tông đến 8%. Một số nghiên cứu lại cho kết luận ngược lại, chẳng hạn Ambily [11] cho rằng, xỉ đồng làm giảm cường độ nén khi thay cho 100% cát; Dos Anjos và cộng sự [6] cho rằng, xỉ đồng làm giảm cường độ nén của bê tông đến 15%.

Ngoài xỉ đồng, nghiên cứu cũng quan tâm đến việc sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn trong cấp phối để tận dụng phụ phẩm trong quá trình sản xuất gang lò cao [5], góp phần bảo vệ môi trường. Xỉ lò cao là một loại phụ gia khoáng hoạt tính rất tốt cho xi măng, bê tông và được sử dụng từ khá lâu trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Nó có thể được dùng trong cấp phối bê tông với hàm lượng 30-50%, làm tăng cường độ bê tông, làm cho bê tông đặc chắc hơn [12]. Việc sử dụng kết hợp xi măng và xỉ lò cao ảnh hưởng tốt đến độ bền cơ học và tính bền vững của bê tông do khả năng vi điền đầy và hiệu ứng puzơlan [13], làm tăng thời gian ninh kết và tăng cường độ của bê tông [14]. Tại Việt Nam, xỉ lò cao cũng là thành phần quan trọng để sản xuất xi măng bền sunfat, bê tông ít tỏa nhiệt dùng cho bê tông khối lớn [15].

Bài báo, nghiên cứu chế tạo bê tông có khả năng che chắn tia X và tia γ cao. Trong cấp phối bê tông có sử dụng xỉ đồng để thay thế một phần hay toàn bộ cát, sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn để thay thế một phần chất kết dính xi măng Portland.

[1] The University of Danang - University of Science and Technology (Nguyen Van Dung)

## 2. Thực nghiệm

### *2.1. Nguyên liệu, hoá chất*

*2.1.1. Xi măng*

Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng xi măng PC50 với clinker của nhà máy xi măng Vạn Ninh (Quảng Bình). Đây là loại xi măng mác cao, sử dụng hàm lượng phụ gia thấp, có cường độ 3 ngày tuổi cao. Xi măng có trọng lượng riêng 3,1 g/cm$^3$, thời gian bắt đầu ninh kết 70 phút, kết thúc ninh kết 385 phút. Thành phần hóa của clinker Vạn Ninh được thể hiện ở Bảng 1, một số tính chất kỹ thuật của xi măng được thể hiện ở Bảng 2.

***Bảng 1.*** *Thành phần hóa clinker Vạn Ninh (% trọng lượng)*

| $SiO_2$ | CaO | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | MgO | $SO_3$ | $K_2O$ | $Na_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22,88 | 64,54 | 5,07 | 3,35 | 2,16 | 1,24 | 0,28 | 0,48 |

***Bảng 2.*** *Tính chất kỹ thuật của xi măng Vạn Ninh*

| Trọng lượng riêng (g/cm$^3$) | Thời gian ninh kết (phút) | | Độ ổn định thể tích (mm) | Lượng nước tiêu chuẩn (%) | Cường độ nén sau 28 ngày (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| | Bắt đầu | Kết thúc | | | |
| 3,1 | 70 | 385 | 0,8 | 32,5 | 54,0 |

*2.1.2. Đá dăm*

Đá Đà Sơn (Đà Nẵng) được sử dụng làm cốt liệu lớn, đá có thành phần kích thước hạt 5-20 mm, được Công ty Cổ phần bê tông Đăng Hải (Đà Nẵng) cung cấp. Kích thước thực tế của đá là 5-17,3 mm, trọng lượng riêng 2,7 g/cm$^3$. Một số tính chất kỹ thuật của đá được trình bày trong Bảng 3.

***Bảng 3.*** *Tính chất kỹ thuật của đá Đà Sơn (Đà Nẵng)*

| Trọng lượng riêng (g/cm$^3$) | Trọng lượng thể tích xốp (g/cm$^3$) | Đường kính lớn nhất $D_{max}$ (mm) | Độ rỗng (%) | Độ ẩm (%) | Độ hấp phụ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,7 | 1,46 | 17,3 | 47,29 | 0,5 | 0,5 |

*2.1.3. Cát tự nhiên*

Cốt liệu nhỏ được sử dụng là cát Đại Lộc (Quảng Nam) được Công ty cổ phần bê tông Đăng Hải Đà Nẵng cung cấp với các tính chất kỹ thuật được nêu trong Bảng 4.

***Bảng 4.*** *Tính chất kỹ thuật cát Đại Lộc (Quảng Nam)*

| Trọng lượng riêng (g/cm$^3$) | Trọng lượng thể tích xốp (g/cm$^3$) | Môđun độ lớn | Kích thước hạt trung bình $d_{50}$ (mm) | Độ ẩm (%) | Độ hấp phụ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,66 | 1,61 | 2,62 | 0,72 | 2 | 1,5 |

Cát có trọng lượng riêng 2,66 g/cm$^3$, môđun độ lớn 2,62; Lượng hạt qua sàng 0,14 mm là 7,82%, kích thước trung bình $d_{50}$ = 0,72 mm. Việc khai thác cát tự nhiên tác động không tốt đến môi trường, ảnh hưởng đến dòng chảy và cấu trúc bờ sông, nên cần phải hạn chế sử dụng và nên dùng các nguyên liệu khác thay thế.

*2.1.4. Phụ gia hoá dẻo và nước*

Phụ gia hoá dẻo để làm giảm lượng nước trộn cho bê tông là Sikament 2000AT của hãng Sika.

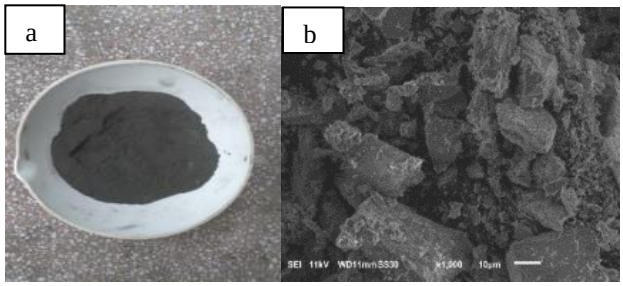
Liều lượng sử dụng theo khuyến cáo của nhà sản xuất: 0,8-1,1 lít/100 kg xi măng.

Phụ gia Sikament 2000AT được sử dụng bằng cách pha trực tiếp với lượng nước đã xác định khi tính toán cấp phối bê tông.

Nước sử dụng là nước máy thành phố Đà Nẵng.

*2.1.5. Xỉ đồng (Copper slag-CS)*

Xỉ đồng được cung cấp bởi Công ty đồng Sinh Quyền, Lào Cai (xem Hình 1a). Tính chất kỹ thuật của xỉ đồng được trình bày trong Bảng 5.



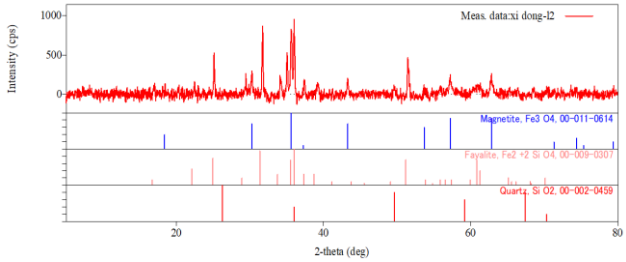

***Hình 1.*** *a) Hình ảnh xỉ đồng Sinh Quyền (Lào Cai)*
*b) Ảnh SEM xỉ đồng Sinh Quyền (Lào Cai)*

***Bảng 5.*** *Tính chất kỹ thuật của xỉ đồng Sinh Quyền (Lào Cai)*

| Trọng lượng riêng (g/cm$^3$) | Trọng lượng thể tích xốp (g/cm$^3$) | Kích thước hạt trung bình $d_{50}$ (mm) | Độ ẩm (%) |
|---|---|---|---|
| 3,82 | 2,02 | 0,091 | 6,74 |

Như vậy, xỉ đồng Sinh Quyền có trọng lượng riêng khá lớn (3,82 g/cm$^3$), trọng lượng thể tích xốp là 2,02 g/cm$^3$, khá tương đồng với xỉ đồng sử dụng trong nghiên cứu khác [5]. Xỉ đồng Sinh Quyền cấu tạo nên từ các hạt màu đen, kích thước hạt trung bình d50 = 0,091 mm, mịn hơn nhiều so với cát Đại Lộc (d50 = 0,72 mm). Hình ảnh SEM (Hình 1b, độ phóng đại 1000x) cho thấy, xỉ tạo nên từ các hạt không tròn, hình dạng không đồng nhất, bề mặt hạt phẳng không xốp.

Phân tích nhiễu xạ tia X (XRD) cho thấy, xỉ đồng có chứa các khoáng magnetite $Fe_3O_4$, fayalite $Fe_2SiO_4$, quartz $SiO_2$ như giản đồ XRD trên Hình 2.




***Hình 2.*** *Giản đồ XRD xỉ đồng Sinh Quyền (Lào Cai)*

*2.1.6. Xỉ hạt lò cao nghiền mịn (Ground granulated blast furnace slag – GGBFS)*

Xỉ hạt lò cao nghiền mịn sử dụng trong nghiên cứu này là phụ phẩm của quá trình sản xuất gang lò cao của Tập đoàn Hòa Phát tại Dung Quất, tỉnh Quảng Ngãi. Tác giả sử dụng xỉ loại S95 (xem Hình 3) với thành phần hóa thể hiện trong Bảng 6, một số chỉ tiêu cơ lý được cho trong Bảng 7.

***Bảng 6.*** *Thành phần hóa học của xỉ hạt lò cao nghiền mịn Hòa Phát, Dung Quất (% trọng lượng) [16]*

| $SiO_2$ | CaO | $Al_2O_3$ | MgO | $SO_3$ | $Cl^-$ | MKN |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 35,53 | 40,77 | 12,89 | 7,49 | 0,17 | 0,001 | 0,08 |

*MKN: Mất khi nung*

***Hình 3.*** *Hình ảnh xỉ lò cao Hoà Phát (Quảng Ngãi)*

***Bảng 7.*** *Chỉ tiêu cơ lý của xỉ hạt lò cao nghiền mịn Hòa Phát, Dung Quất [16]*

| Trọng lượng riêng ($g/cm^3$) | Bề mặt riêng ($cm^2/g$) | Tỷ lệ độ lưu động (%) | Hoạt tính cường độ 28 ngày (%) | Độ ẩm (%) |
|---|---|---|---|---|
| 2,89 | 5281 | 108,31 | 116,53 | 0,33 |

Như vậy, các chỉ tiêu cơ lý của xỉ S95 đều đạt và vượt yêu cầu kỹ thuật của xỉ hạt lò cao nghiền mịn theo TCVN 11586:2016 [17]. Trong đó, bề mặt riêng không nhỏ hơn 5000 $cm^2/g$, tỉ lệ độ lưu động không nhỏ hơn 90%, chỉ số hoạt tính cường độ 28 ngày không nhỏ hơn 95%.

### *2.2. Qui trình chế tạo và xác định tính chất bê tông*

Cấp phối được tính toán, chế tạo, dưỡng hộ, xác định tính chất kỹ thuật và đặc trưng của bê tông theo qui trình như sau: Đầu tiên, đá 5x20 mm được rải thành một lớp mỏng 10-15 cm. Sau đó, trộn khô cát, xỉ đồng, xỉ lò cao và xi măng cho đến khi đều nhau. Xúc hỗn hợp vừa trộn rải đều lên lớp đá. Trộn đều hỗn hợp và cho nước vào, trộn đều. Thời gian cho một mẻ trộn là 15-20 phút.

Hỗn hợp bê tông sau khi trộn được đổ vào khuôn kích thước 100x100x100 mm. Khuôn chứa mẫu được để ngoài không khí trong 24 giờ (nhiệt độ 28°C, độ ẩm 90%). Sau 24 giờ tháo khuôn và dưỡng hộ trong bể nước ở nhiệt độ môi trường trong thời gian 27 ngày. Mẫu 28 ngày tuổi sau đó được xác định các tính chất kỹ thuật theo TCVN 3118:1993 [18], TCVN 3112:1993 [19], TCVN 3115:1993 [20], TCVN 3113:1993 [21]. Số lượng tổ mẫu là một đối với từng cấp phối, lấy theo TCVN 3105:1993 cho bê tông thương phẩm [22]. Các mẫu bê tông cũng được xác định các đặc trưng như nhiễu xạ tia X, xác định hình thái bề mặt bằng kính hiển vi điện tử quét.

Mức độ che chắn bức xạ của vật liệu được thể hiện qua hệ số suy giảm tuyến tính, nó thể hiện sự suy giảm của chùm bức xạ khi truyền qua mẫu vật liệu có chiều dày x. Thiết bị đo hệ số suy giảm tuyến tính gồm nguồn bức xạ $_{137}Cs$ với năng lượng bức xạ 662 keV, đầu dò, máy đếm được bố trí như Hình 4.

***Hình 4.*** *Sơ đồ thiết bị đo hệ số suy giảm tuyến tính [7]*

Hệ số suy giảm tuyến tính được tính theo công thức:

$$\mu = (1/x)*\ln(N_o/N)$$

Trong đó: $N_o$ là tốc độ đếm của đầu dò ứng với hộp rỗng (số đếm/s); N là tốc độ đếm của đầu dò ứng với hộp chứa mẫu (số đếm/s) [7].

## 3. Kết quả và thảo luận

### *3.1. Cấp phối và tính chất của bê tông sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn*

Đầu tiên, tác giả tính toán cấp phối của bê tông sử dụng xi măng PC50 Vạn Ninh, cát Đại Lộc, đá Đà Sơn, phụ gia Sikament 2000AT. Bê tông được thiết kế mác M300 (30 MPa). Mẫu được ký hiệu là C0.0.

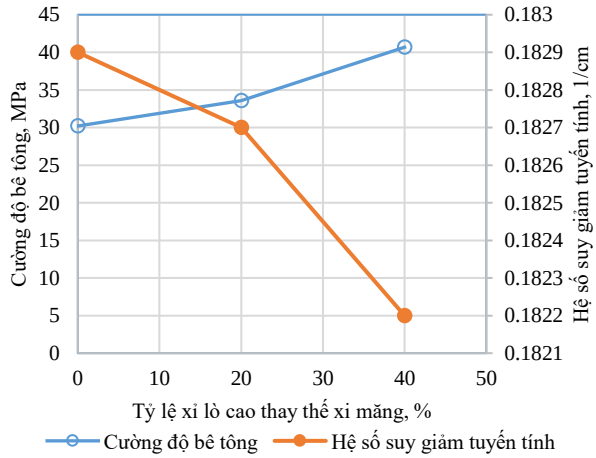
Sau đó, cấp phối được thay đổi bằng cách sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn thay thế cho xi măng với hàm lượng 20% và 40%. Các mẫu được ký hiệu tương ứng là C0.20 và C0.40, cấp phối được trình bày trong Bảng 8. Một số tính chất kỹ thuật và hệ số suy giảm tuyến tính của các mẫu bê tông được thể hiện trong Bảng 9 và Hình 5.

***Bảng 8.*** *Cấp phối bê tông và bê tông sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn (dùng cho $1m^3$ bê tông)*

| Cấp phối | Tỉ lệ xỉ lò cao (%) | Xi măng (kg) | Xỉ lò cao (kg) | Cát (kg) | Đá (kg) | Nước (lít) | Phụ gia (lít) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C0.0 | 0 | 357,71 | 0 | 674,76 | 1211,90 | 243,76 | 3,58 |
| C0.20 | 20 | 286,16 | 71,54 | 674,76 | 1211,90 | 207,76 | 3,58 |
| C0.40 | 40 | 214,62 | 143,08 | 674,76 | 1211,90 | 206,63 | 3,58 |

***Bảng 9.*** *Tính chất kỹ thuật của bê tông và bê tông sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn*

| Tính chất / Cấp phối | Trọng lượng riêng ($g/cm^3$) | Trọng lượng thể tích ($g/cm^3$) | Độ hút nước (%) | Cường độ nén 28 ngày $R_{28}$ (MPa) | Hệ số suy giảm tuyến tính ($cm^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| C0.0 | 2,30 | 2,28 | 4,22 | 30,21 | 0,1829 |
| C0.20 | 2,28 | 2,25 | 5,04 | 33,58 | 0,1827 |
| C0.40 | 2,26 | 2,25 | 4,16 | 40,68 | 0,1822 |




***Hình 5.*** *Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng của tỷ lệ xỉ lò cao lên cường độ và hệ số suy giảm tuyến tính của bê tông*

Như vậy, khi sử dụng 20% và 40% xỉ lò cao thì cường độ bê tông tăng từ 30,21 MPa lên 33,58 MPa và 40,68 MPa (tương ứng với mức độ tăng là 11,2% và 34,7%), cho thấy cường độ của bê tông tăng lên theo hàm lượng xỉ lò cao thay thế xi măng. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu khác, Vijayaraghavan [9] cho rằng có thể thay thế xỉ lò cao

cho 30, 40, 50% xi măng, trong đó cường độ bê tông cao nhất khi thay thế 40%. Oner [3] lại cho rằng cường độ bê tông cao nhất khi thay thế đến 55%. Guneyisi [12] cho rằng cường độ bê tông tăng lên khi thay thế 50-60% xi măng.

Như vậy, cường độ bê tông tăng lên khi thay thế 40%, hay có thể đến 50-60% xỉ lò cao. Tuy nhiên, tác giả lựa chọn tỷ lệ xỉ lò cao thay thế cho xi măng là 20% để phù hợp với mục tiêu chế tạo bê tông có trọng lượng riêng lớn nhằm che chắn bức xạ. Nếu thay thế với tỷ lệ cao sẽ làm trọng lượng riêng bê tông giảm đi nhiều (do trọng lượng riêng của xỉ lò cao là 2,89 g/cm$^3$, nhỏ hơn trọng lượng riêng của xi măng là 3,1 g/cm$^3$).

Khi sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn S95 thay thế cho xi măng thì lượng nước trộn giảm, độ linh động tăng, trọng lượng thể tích của bê tông giảm.

### *3.2. Cấp phối và tính chất của bê tông sử dụng xỉ đồng và xỉ hạt lò cao nghiền mịn*

Đối với cấp phối có xỉ đồng với mục đích thay thế cát với các tỷ lệ lần lượt là 40%, 60%, 80% và 100% vào cấp phối C0.20 (có sử dụng 20% xỉ lò cao). Ký hiệu các mẫu lần lượt là C40.20, C60.20, C80.20 và C100.20. Cấp phối các loại bê tông này được trình bày trong Bảng 10. Một số tính chất kỹ thuật và hệ số suy giảm tuyến tính của các mẫu bê tông được thể hiện qua Bảng 11 và Hình 6.

***Bảng 10.*** *Cấp phối bê tông sử dụng xỉ đồng và xỉ hạt lò cao nghiền mịn (tính cho 1m$^3$ bê tông)*

| Cấp phối | Tỉ lệ xỉ lò cao (%) | Tỉ lệ xỉ đồng (%) | Xi măng (kg) | Xỉ lò cao (kg) | Cát (kg) | Xỉ đồng (kg) | Đá (kg) | Nước (lít) | Phụ gia (lít) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C40.20 | 20 | 40 | 286,16 | 71,54 | 404,86 | 269,90 | 1211,90 | 225,76 | 3,58 |
| C60.20 | 20 | 60 | 286,16 | 71,54 | 269,90 | 404,86 | 1211,90 | 221,47 | 3,58 |
| C80.20 | 20 | 80 | 286,16 | 71,54 | 134,95 | 539,81 | 1211,90 | 220,80 | 3,58 |
| C100.20 | 20 | 100 | 286,16 | 71,54 | 0 | 674,76 | 1211,90 | 211,13 | 3,58 |

***Bảng 11.*** *Tính chất kỹ thuật của bê tông sử dụng xỉ đồng và xỉ hạt lò cao nghiền mịn*

| Tính chất / Cấp phối | Trọng lượng riêng (g/cm$^3$) | Trọng lượng thể tích (g/cm$^3$) | Độ hút nước (%) | Cường độ nén sau 28 ngày $R_{28}$ (MPa) | Hệ số suy giảm tuyến tính (cm$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|
| C0.20 | 2,43 | 2,25 | 5,04 | 33,58 | 0,1827 |
| C40.20 | 2,40 | 2,37 | 3,60 | 39,90 | 0,1897 |
| C60.20 | 2,51 | 2,37 | 4,88 | 34,90 | 0,1902 |
| C80.20 | 2,56 | 2,38 | 5,49 | 33,67 | 0,1910 |
| C100.20 | 2,56 | 2,40 | 6,12 | 30,53 | 0,1894 |

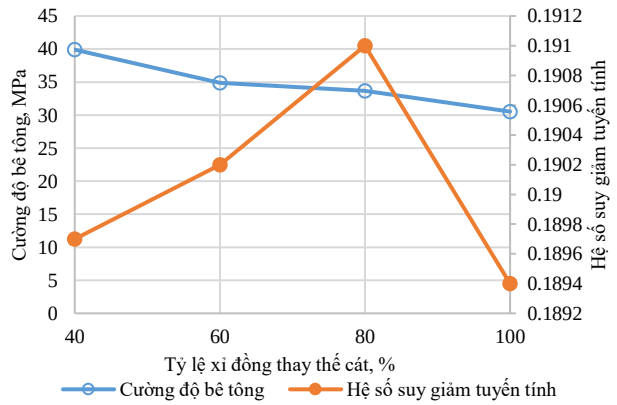
Từ kết quả, thấy rằng, sử dụng xỉ đồng thay thế cát với hàm lượng nhỏ hơn 40% góp phần tăng cường độ của bê tông, điều này chứng tỏ xỉ đồng có khả năng có hoạt tính. Cấp phối C40.20 sử dụng 40% xỉ đồng thì mẫu đạt cường độ 39,90 MPa, cao hơn so với cấp phối C0.20 (đạt 33,58 MPa). Tuy nhiên, nếu tiếp tục tăng hàm lượng xỉ đồng lên 60%, 80% và 100% lượng cát (cấp phối C60.20, C80.20 và C100.20) thì cường độ bê tông lại giảm đi (tương ứng là 34,90 MPa; 33,67 MPa và 30,53 MPa), nguyên nhân do xỉ đồng có trọng lượng riêng lớn (3,82 g/cm$^3$) nên rất dễ gây phân lớp trong quá trình chế tạo [10].

Nhận xét chung, tuy có sự biến thiên về cường độ nhưng tất cả các cấp phối nghiên cứu đều đạt mác thiết kế 30 MPa.

Về trọng lượng riêng, khi thay thế xỉ đồng cho cát với tỷ lệ tăng dần từ 40% đến 100% thì trọng lượng riêng của bê tông cũng tăng dần từ 2,40 g/cm$^3$ đến 2,56 g/cm$^3$.

Hệ số suy giảm tuyến tính của các mẫu tăng dần theo hàm lượng xỉ đồng, và đạt cực đại khi lượng xỉ đồng là 80% (đạt 0,1910 cm$^{-1}$). Khi lượng xỉ đồng tăng lên 100%, hệ số suy giảm tuyến tính lại giảm xuống (cấp phối C100.20, đạt 0,1894 cm$^{-1}$).

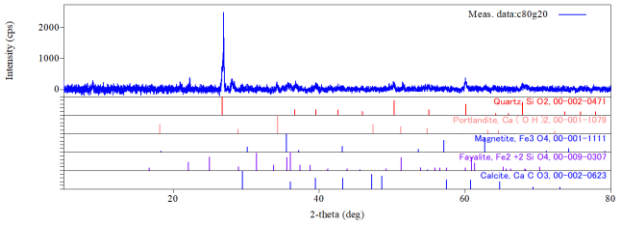
Trong quá trình chế tạo, tác giả nhận thấy xỉ đồng còn làm giảm lượng nước sử dụng trong bê tông và làm tăng độ lưu động, nguyên nhân do xỉ đồng có dạng hạt bị thuỷ tinh hoá, bề mặt bóng [6].




***Hình 6.*** *Đồ thị biểu diễn ảnh hưởng của tỷ lệ xỉ đồng lên cường độ và hệ số suy giảm tuyến tính của bê tông*

### *3.3. Phân tích nhiễu xạ tia X*

Kết quả phân tích nhiễu xạ tia X (XRD–X-ray Diffraction) trên thiết bị SmartLab X-Ray Diffractometer (Rikagu-Nhật) với bức xạ Cu-Kα, góc quét 2θ = 5$^o$÷80$^o$ (xem giản đồ Hình 7) cho thấy, mẫu bê tông C80.20 có thành phần khoáng magnetite, fayalite, quartz có nguồn gốc từ nguyên liệu xỉ đồng, ngoài ra còn có các khoáng porlandite, calcite là kết quả của quá trình thuỷ hoá và ninh kết bê tông.



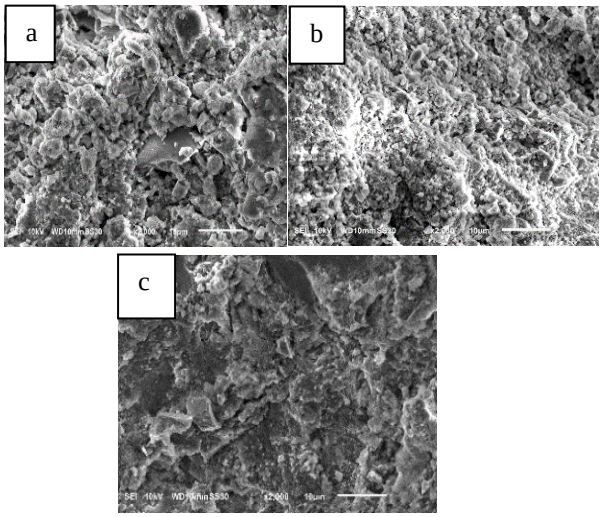

***Hình 7.*** *Giản đồ XRD của mẫu bê tông C80.20*

### *3.4. Khảo sát hình thái bề mặt bê tông*

Đặc trưng hình thái bề mặt của bê tông được khảo sát bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM–Scanning Electron Microscope) Jeol JSM-6010 Plus/LV.

Hình 8 thể hiện hình ảnh của bề mặt các mẫu bê tông: C0.0 (Hình 8a), mẫu C80.20 (Hình 8b) và mẫu C100.20 (Hình 8c) với độ phóng đại 2000 lần. Ảnh SEM của mẫu C0.0 trên Hình 8a cho thấy rõ các gel C-S-H hình thành trên bề mặt với kích thước trung bình khoảng 5-6 μm. Khi thêm xỉ đồng vào cấp phối, các gel C-S-H hình thành có kích thước nhỏ mịn hơn, trung bình 2-3 μm (Hình 8b, mẫu có 80% xỉ đồng thay cho cát). Ảnh SEM của mẫu cấp phối

C100.20 trên Hình 8c lại cho thấy, các gel C-S-H hình thành không phủ đều lên cốt liệu thô (đá dăm) làm cho cấu trúc của bê tông không đồng nhất.




***Hình 8.*** *Ảnh SEM của các mẫu bê tông*
*a) C0.0 b) C80.20 c) C100.20*

Như vậy, kết quả xác định hệ số suy giảm tuyến tính và phân tích đặc trưng bề mặt bê tông bằng ảnh SEM hoàn toàn phù hợp nhau. Mẫu C80.20 có hệ số suy giảm tuyến tính cao nhất (0,1910 $cm^{-1}$), nguyên nhân có thể do khi thay thế 80% xỉ đồng thì đạt được sự kết hợp tốt nhất của hai loại cốt liệu xỉ đồng và cát để có được độ sít chặt cao nhất [6]. Đối với mẫu C100.20, do xỉ đồng có hàm lượng quá cao (thay thế 100% cát), lại có hạt nhỏ, trọng lượng riêng lớn, nên sẽ làm trầm trọng thêm hiện tượng phân lớp, làm giảm sự đồng nhất trong cấu trúc của bê tông [10] và từ đó làm giảm hệ số suy giảm tuyến tính.

## 4. Kết luận

Nghiên cứu này khảo sát việc sử dụng xỉ đồng và xỉ hạt lò cao nghiền mịn thay thế một phần hay toàn bộ cát tự nhiên và xi măng. Tác giả đã nghiên cứu các cấp phối và khảo sát ảnh hưởng của xỉ đồng, xỉ lò cao đến cường độ nén, các tính chất kỹ thuật và khả năng che chắn bức xạ của bê tông. Từ các kết quả thực nghiệm, rút ra được các kết luận sau:

- Việc sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn thay thế xi măng với hàm lượng nhỏ hơn hoặc bằng 40% có thể làm tăng cường độ của bê tông, ngoài ra còn làm giảm lượng nước nhào trộn, giảm trọng lượng riêng và trọng lượng thể tích của bê tông. Lượng xỉ lò cao dùng thay thế xi măng được lựa chọn là 20%.

- Việc sử dụng xỉ đồng sẽ làm tăng cường độ bê tông với lượng thay thế nhỏ hơn hoặc bằng 40% lượng cát. Nếu tăng hàm lượng xỉ đồng lên nữa, cường độ bê tông sẽ giảm đi. Cấp phối tối ưu có khả năng sử dụng để chế tạo bê tông che chắn bức xạ là C80.20 vì có trọng lượng riêng khá lớn (2,56 g/$cm^3$), hệ số suy giảm tuyến tính cao nhất (0,1910 $cm^{-1}$) và có cường độ 33,67 MPa, đáp ứng mác thiết kế 30 MPa.

- Việc sử dụng kết hợp xỉ đồng và xỉ lò cao thay thế cát tự nhiên và xi măng trong cấp phối bê tông sẽ góp phần cho công tác xử lý chất thải công nghiệp và bảo vệ môi trường.

**Lời cảm ơn:** Tác giả gửi lời cảm ơn đến Nguyễn Tấn Hưng, sinh viên lớp 17H1 Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Demir F., Budak G., Sahin R., Karabulut A., Oltulu M., Un A., ″Determination of radiation attenuation coefficients of heavyweight- and normal-weight concretes containing colemanite and barite for 0.663 MeV γ-rays″, *Ann. Nucl. Energy*, 38, 2011, 1274–1278.

[2] Akkurt I., El-Khayatt A.M., ″The effect of barite proportion on neutron and gamma-rayshielding″, *Ann. Nucl. Energy*, 51, 2013, 5–9.

[3] Oner A., Akyuz S., ″An experimental study on optimum usage of GGBS for the compressive strength of concrete″, *Cem. Concr. Compos.*, 29, 2007, 505–514.

[4] Mithun B. M., Narasimhan M. C., ″Performance of alkali activated slag concrete mixes incorporating copper slag as fine aggregate″, *Journal of Cleaner Production*, Volume 112, Part 1, 2016, 837-844.

[5] Vijayaraghavana J., Belin Judeb A., Thivyac J., ″Effect of copper slag, iron slag and recycled concrete aggregate on the mechanical properties of concrete″, *Resources Policy*, 53, 2017, 219–225.

[6] Dos Anjos M.A.G., Sales A.T.C., Andrade N., ″Blasted copper slag as fine aggregate in Portland cement concrete″, *Journal of Environmental Management*, 196, 2017, 607-613.

[7] Rasoul Abdar Esfahani S. M., Zareei S. A., Madhkhan M., Ameri F., Rashidiani J., Taheri R.A., ″Mechanical and gamma-ray shielding properties and environmental benefits of concrete incorporating GGBFS and copper slag″, *Journal of Building Engineering*, 2020, doi:https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101615.

[8] Sharma R., Khan R.A., ″Sustainable use of copper slag in self compacting concrete containing supplementary cementitious materials″, *J. Clean. Prod.*, 151, 2017, 179–192.

[9] Vijayaraghavan J., Jude A.B., Thivya J., ″Effect of copper slag, iron slag and recycled concrete aggregate on the mechanical properties of concrete″, *Resour. Policy*, 53, 2017, 219–225.

[10] Gupta N., Siddique R., ″Strength and micro-structural properties of self-compacting concrete incorporating copper slag″, *Constr. Build. Mater.*, 224, 2019, 894–908.

[11] Ambily P. S., Umarani C., Ravisankar K., Prem P.R., Bharatkumar B.H., Iyer N.R., ″Studies on ultra high performance concrete incorporating copper slag as fine aggregate″, *Constr. Build. Mater.*, 77, 2015, 233–240.

[12] Guneyisi E., Gesoglu M., ″A study on durability properties of high-performance concretes incorporating high replacement levels of slag″, *Mater. Struct.*, 41, 2008, 479–493.

[13] Vishwakarma V., Ramachandran D., ″Green concrete mix using solid waste and nanoparticles as alternatives–a review″, *Constr. Build. Mater.*, 162, 2018, 96–103.

[14] Özbay E., Erdemir M., Durmuş H.İ., ″Utilization and efficiency of ground granulated blast furnace slag on concrete properties–A review″, *Constr. Build. Mater.*, 105, 2016, 423–434.

[15] Mai Văn Thanh, *Công tác chế biến, tiêu thụ và sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn tại Tập đoàn Hòa Phát*, Tập đoàn Hoà Phát, 2019.

[16] Cty CP Thép Hoà Phát, Dung Quất, Quảng Ngãi, *Phiếu chứng nhận chất lượng xỉ hạt lò cao nghiền mịn*, 12/2021.

[17] Tiêu chuẩn Việt Nam, TCVN 11586:2016 Xỉ hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa.

[18] Tiêu chuẩn Việt Nam, TCVN 3118:1993 Bê tông nặng – Phương pháp xác định cường độ nén.

[19] Tiêu chuẩn Việt Nam, TCVN 3112:1993 Bê tông nặng – Phương pháp thử xác định khối lượng riêng.

[20] Tiêu chuẩn Việt Nam, TCVN 3115:1993 Bê tông nặng – Phương pháp xác định khối lượng thể tích.

[21] Tiêu chuẩn Việt Nam, TCVN 3113:1993 Bê tông nặng – Phương pháp xác định độ hút nước.

[22] Tiêu chuẩn Việt Nam, TCVN 3105:1993 Hỗn hợp bê tông nặng và bê tông nặng – Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử.