

**NGHIÊN CỨU CƯỜNG ĐỘ CHỊU NÉN CỦA BÊ TÔNG
SỬ DỤNG CỐT LIỆU XI THÉP FORMOSA (HÀ TĨNH)
BẰNG PHƯƠNG PHÁP SÚNG BẬT NẤY VÀ NÉN PHÁ HỦY**

**Dương Trung Quốc, Phan Hữu Lịch Duyệt*,
Mai Gia Quốc, Trần Thanh Nhân, Trần Thị Ngọc Quỳnh**

Khoa Địa lý - Địa chất, Trường Đại học Khoa học, Đại Học Huế

*Email: lichduyet772005@gmail.com

Ngày nhận bài: 24/02/2026; ngày hoàn thành phản biện: 6/3/2026; ngày duyệt đăng: 28/3/2026

TÓM TẮT

Nghiên cứu này sử dụng hỗn hợp xi thép Formosa để thay thế cốt liệu lớn trong thiết kế thành phần và chế tạo bê tông đạt mác 400. Kết quả thí nghiệm cho thấy, các mẫu bê tông có cường độ chịu nén lớn hơn cường độ yêu cầu cho bê tông mác 400 từ 116% đến 129% và tiếp tục tăng đến 143% khi 84 ngày tuổi. Bên cạnh đó, tỷ trọng của xi thép lớn hơn 1,14 - 1,46 lần so với tỷ trọng cốt liệu tự nhiên như cát, đá dăm nên bê tông sử dụng cốt liệu xi thép đạt khối lượng thể tích khoảng $\rho = 2,7$ tấn/m³, đáp ứng rất tốt yêu cầu của bê tông nặng ($\rho \geq 2,6$ tấn/m³). Nghiên cứu cũng xác lập được hàm tương quan giữa cường độ chịu nén với trị số bật nẩy trung bình và đây là cơ sở để hoàn thiện phương pháp xác định cường độ chịu nén của kết cấu công trình sử dụng bê tông cốt liệu xi thép bằng phương pháp không phá hủy theo tiêu chuẩn hiện hành.

Từ khóa: Bê tông nặng; bê tông mác 400; cường độ chịu nén; trị số bật nẩy; xi thép Formosa Hà Tĩnh.

1. MỞ ĐẦU

Trên thế giới, lượng thải trung bình của xỉ luyện thép (là chất thải rắn chính của phân xưởng luyện thép trong nhà máy luyện gang thép và được gọi tắt là xỉ thép) chiếm đến 15% khối lượng thép thành phẩm. Ở Việt Nam, các nhà máy luyện thép sử dụng công nghệ luyện lạc hậu hơn cùng quy trình kiểm soát chất lượng đầu vào kém hơn nên lượng thải của xỉ thép cao hơn 15% [1, 2]. Công nghiệp gang thép ở nước ta phát triển nhanh chóng trong thập niên gần đây và năm 2024, Việt Nam đứng thứ 11 thế giới về sản xuất thép thô với công suất vượt 22 triệu tấn/năm [3]. Do lượng thải xỉ thép tăng

nhanh trong khi việc tái chế, sử dụng loại vật liệu này còn hạn chế nên vấn đề lưu thải và sử dụng an toàn xi thép đang trở thành vấn đề thách thức đối với nhà máy, chính quyền địa phương và định hướng phát triển kinh tế tuần hoàn - xanh - bền vững của nước ta.

Từ những thành tựu khoa học và ứng dụng xi thép thay thế vật liệu tự nhiên trong lĩnh vực xây dựng trên thế giới cùng thách thức về lượng thải tăng nhanh của xi thép và tình trạng thiếu hụt nguồn vật liệu xây dựng tự nhiên ở nước ta, nhóm nghiên cứu “Địa kỹ thuật và Vật liệu xây dựng tái chế” thuộc trường Đại học Khoa học (Đại học Huế) đã tiến hành các nghiên cứu định hướng sử dụng xi thép làm cốt liệu cho bê tông [4, 5, 6]. Kết quả bước đầu đã khẳng định được một số tính chất ưu việt khi làm cốt liệu cho bê tông của 4 loại xi thép phát thải từ nhà máy Gang thép Hưng Nghiệp Formosa Hà Tĩnh (gọi tắt là xi thép Formosa) gồm: xi BOF040, BOF010, CAST040 và CAST10. Nhóm nghiên cứu đã chế tạo thành công bê tông sử dụng hỗn hợp phối trộn 4 loại xi thép Formosa với các kích bản cỡ cốt liệu lớn khác nhau gồm: 5 - 10 mm, 10 - 20 mm, 20 - 40 mm và 5 - 40 mm (lần lượt gọi tắt là hỗn hợp xi thép BC510, BC1020, BC2040 và BC540) [5, 6]. Các loại bê tông này đáp ứng tốt yêu cầu của bê tông mác 400 (cường độ chịu nén sau 28 ngày tuổi $R_{28} > 38,5$ MPa) và bê tông nặng (khối lượng thể tích $\rho > 2,6$ tấn/m³). Đây là hai yếu tố quan trọng để cải thiện công năng các kết cấu trọng lực như khối phá sóng Tetrapod phục vụ phòng chống xói lở bờ biển và bảo vệ công trình biển.

Bên cạnh đó, kết quả nghiên cứu cho thấy bê tông sử dụng cốt liệu lớn là hỗn hợp xi thép BC540 có hệ số sử dụng cốt liệu xi thép lớn nhất nên mang lại hiệu quả tái chế cao nhất cho nhà máy và đơn vị sử dụng. Do đó, nghiên cứu này kế thừa công thức thiết kế thành phần của loại bê tông này (gọi tắt là bê tông xi thép BC540) để chế tạo và nghiên cứu sự thay đổi tính chất của loại bê tông này theo thời gian khi làm việc trong điều kiện ẩm tự nhiên, đặc biệt là cường độ chịu nén bằng phương pháp nén phá hủy và phương pháp bắn súng bột nẩy. Kết quả nghiên cứu cho phép thiết lập mối tương quan giữa cường độ chịu nén với trị số bột nẩy và đây là cơ sở quan trọng để hoàn thiện phương pháp đánh giá cường độ và chất lượng các kết cấu, công trình sử dụng loại bê tông này theo tiêu chuẩn TCVN 9334: 2012 và TCVN 9335: 2012 [7, 8].

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Thành phần và tính chất của xi thép BC540

Bảng 1 thể hiện thành phần thiết kế cho 1 m³ và 9 mẫu lập phương kích thước 15 cm × 15 cm × 15 cm của bê tông xi thép BC540 trong nghiên cứu chúng tôi đã công bố [5]. Ảnh chụp mẫu hỗn hợp xi thép BC540 và cát Hà Tĩnh được thể hiện trong Hình 1 để người đọc hiểu thêm đặc điểm của hai loại cốt liệu trong thành phần của bê tông xi thép BC540.

Bảng 1. Thành phần cho 1m³ và 9 mẫu lập phương kích thước 15 cm × 15 cm × 15 cm của bê tông xi thép BC540 [5].

Thành phần	1 m ³	9 mẫu đúc kích thước 15 cm × 15 cm × 15 cm
Xi măng (kg)	537,2	16,3
Cát Hà Tĩnh (kg)	620,5	18,8
Hỗn hợp xi thép BC540 (kg)	1556,8	47,3
Nước (lít)	192,0	5,8
Sikacrete PP-1 (kg)	26,9	0,82
Sikaplast-361 (mL)	4298,0	130,5

Với thành phần theo Bảng 1, hỗn hợp bê tông xi thép BC540 đạt độ sụt $S = 18$ cm và sau khi được đóng rắn và bảo dưỡng 28 ngày, cường độ chịu nén của bê tông vượt 116% đến 129% cường độ yêu cầu cho bê tông mác 400 (tức $R_{28} = 44,6 - 49,7$ Mpa). Đặc biệt các mẫu bê tông có khối lượng thể tích $\rho = 2,69 - 2,75$ tấn/m³ nên đáp ứng rất tốt yêu cầu của bê tông nặng phục vụ cải thiện công năng các kết cấu phá sóng biển [9]. Đặc điểm các hạt xi thép khi làm cốt liệu lớn trong bê tông xi thép BC540 được thể hiện qua ảnh chụp các mẫu bê tông bị phá hủy sau thí nghiệm xác định cường độ trong Hình 2. Thông tin chi tiết về nội dung tính toán thiết kế thành phần, chế tạo mẫu và thí nghiệm, đánh giá tính chất của bê tông xi thép BC540 trong thời gian bảo dưỡng 28 ngày có thể xem trong nghiên cứu gần đây của chúng tôi [5].



Hình 1. Ảnh chụp mẫu hỗn hợp xi thép BC540 và cát Hà Tĩnh sử dụng làm cốt liệu lớn và cốt liệu nhỏ cho bê tông xi thép BC540.



Hình 2. Ảnh chụp các mẫu bê tông bị phá hủy sau thí nghiệm xác định cường độ chịu nén [5].

2.2. Chế tạo, bảo dưỡng và thí nghiệm mẫu bê tông xỉ thép BC540

Sử dụng công thức thành phần của bê tông xỉ thép BC540 trong Bảng 1, tiến hành chế tạo mẫu lập phương kích thước 15 cm × 15 cm × 15 cm theo tiêu chuẩn TCVN 3105: 2022 [10]. Ảnh chụp công tác chuẩn bị thiết bị, vật liệu và chế tạo, bảo dưỡng mẫu bê tông xỉ thép BC540 được thể hiện trong Hình 3 và 4. Sau khi được bảo dưỡng đông rắn 28 ngày tuổi trong môi trường nước (Hình 4a), mẫu bê tông được lưu trữ để mô phỏng điều kiện làm việc trong môi trường ẩm tự nhiên (Hình 4b) và tiến hành thí nghiệm, đánh giá cường độ chịu nén cùng một số tính chất của bê tông theo thời gian 28, 56, 112 và 224 ngày.



Hình 3. Ảnh chụp chuẩn bị thiết bị, vật liệu và chế tạo mẫu bê tông xi thép BC540



(a) Bảo dưỡng mẫu bê tông trong môi trường nước trước 28 ngày tuổi



(b) Lưu trữ các mẫu bê tông sau 28 ngày tuổi trong điều kiện ẩm tự nhiên

Hình 4. Ảnh chụp công tác bảo dưỡng và lưu trữ mẫu bê tông trước và sau 28 ngày tuổi.

Đối với bê tông truyền thống sử dụng cốt liệu tự nhiên như đá dăm và cát thô lòng sông, cường độ chịu nén tại 28 ngày sẽ đạt 99% cường độ lớn nhất và sau đó cường

độ bê tông ổn định theo thời gian (đến thời điểm lão hóa tùy thuộc loại bê tông). Khác với cốt liệu tự nhiên có tính bền và trơ với điều kiện ẩm tự nhiên, xỉ thép có đặc điểm cấu trúc và thành phần hóa học có thể gây phản ứng thủy hóa khi tiếp xúc môi trường ẩm tự nhiên và do đó có khả năng ảnh hưởng đến tính chất của xỉ thép và bê tông sử dụng xỉ thép làm cốt liệu. Vì vậy, cần thiết phải nghiên cứu và đánh giá sự biến đổi tính chất, chất lượng theo thời gian của bê tông sử dụng cốt liệu xỉ thép.



Hình 5. Ảnh chụp thí nghiệm xác định trị số bật nảy (bên trái) và cường độ chịu nén phá hủy (bên phải) của các mẫu bê tông xỉ thép BC540



Hình 6. Ảnh chụp đại diện mẫu bê tông xỉ thép BC540 bị phá hủy sau thí nghiệm xác định cường độ chịu nén ở 84, 140 và 252 ngày tuổi.

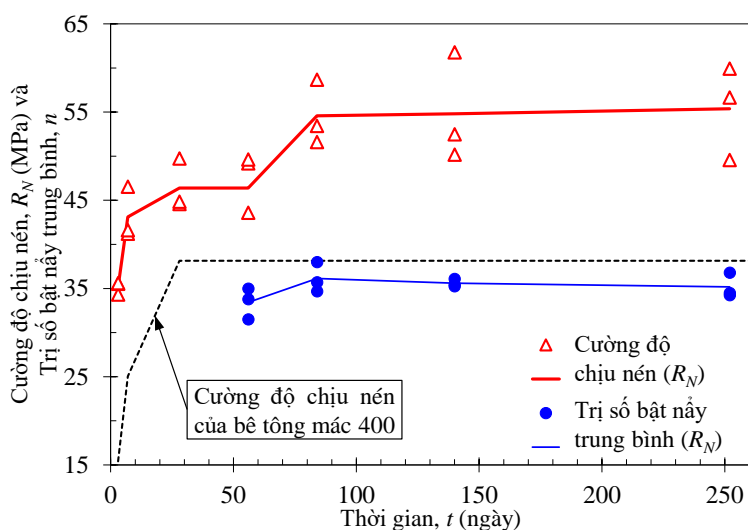
Khi đến thời điểm thí nghiệm theo thời gian trên, tổ hợp gồm 3 mẫu được đưa về phòng thí nghiệm, mô tả, cân xác định khối lượng và thí nghiệm bắn súng bật nảy theo tiêu chuẩn TCVN 9334: 2012 [7] (Hình 5). Mẫu bê tông được bảo dưỡng ẩm tự nhiên

trong phòng thí nghiệm, tức là trong điều kiện bảo dưỡng của mẫu trước thí nghiệm bắn súng bật nảy. Đồng thời, bề mặt mẫu được kiểm tra chi tiết để đảm bảo độ phẳng trước thí nghiệm theo đúng quy định của tiêu chuẩn TCVN 9334:2012. Sau thí nghiệm bắn súng bật nảy, thí nghiệm xác định cường độ chịu nén phá hủy của mẫu bê tông bằng thiết bị nén TSY-2000 TYPE theo tiêu chuẩn TCVN 3118: 2022 [11] (Hình 6). Do mẫu bê tông đã được bảo dưỡng đóng rắn 28 ngày tuổi trong môi trường nước trước khi lưu trữ ẩm tự nhiên nên kết quả thí nghiệm tại các thời điểm trên cần cộng thêm 28 ngày tuổi, nghĩa là 84, 140 và 252 ngày tuổi (Hình 6).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tính chất của bê tông xi thép BC540 khi làm việc trong điều kiện ẩm tự nhiên

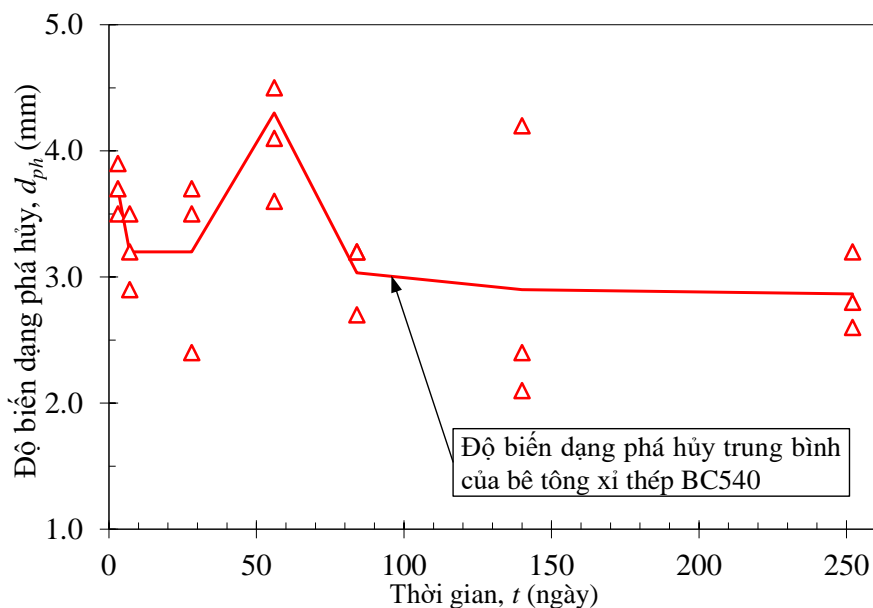
Trong Hình 7, kết quả thí nghiệm xác định cường độ chịu nén (R_N , MPa) và trị số bật nảy trung bình (n) của từng mẫu bê tông xi thép BC540 được thể hiện bằng kí hiệu (hình tam giác đối với R_N và hình tròn đối với n). Kết quả trung bình của R_N và n được thể hiện bằng đường nét liền. Cũng trong hình này, đường nét đứt thể hiện yêu cầu cường độ chịu nén của bê tông mác 400.



Hình 7. Biến đổi cường độ chịu nén (R_N , MPa) và trị số bật nảy trung bình (n) theo thời gian (t , ngày) của bê tông xi thép BC540.

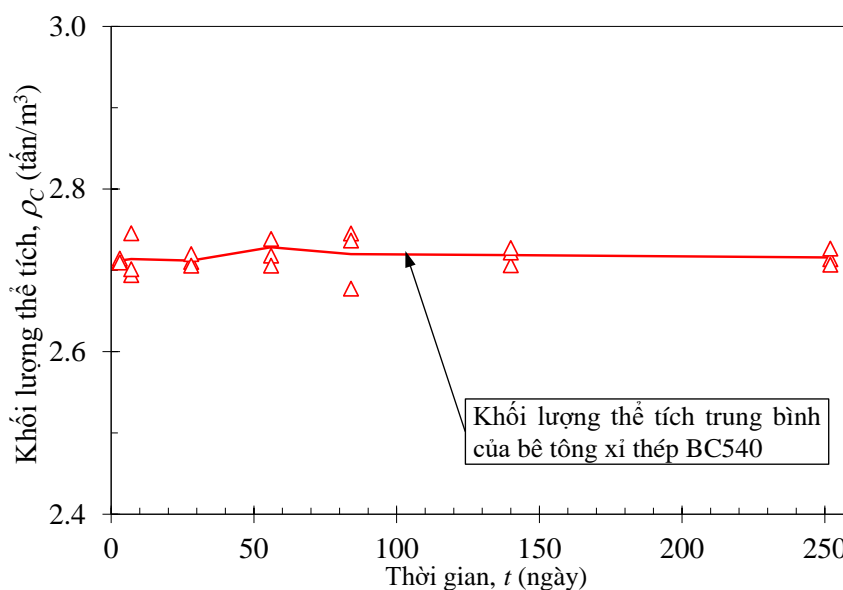
Trị số bật nảy trung bình n mỗi mẫu được xác định dựa theo thí nghiệm tuân thủ quy định của tiêu chuẩn TCVN 9334: 2012 [7] và kết hợp với kết quả đối chứng trong nghiên cứu trước [5]. Hình 7 cho thấy sau 28 ngày bảo dưỡng, cường độ chịu nén (R_N) của bê tông BC540 tiếp tục tăng mạnh, đạt trung bình 55 MPa (vượt 143% mác 400) tại 84 ngày tuổi và ổn định cho đến mốc 252 ngày. Cùng với sự gia tăng R_N , trị số n cũng tăng tỷ lệ thuận từ 30-32 (ở 56 ngày) lên 30-36 (ở 84 ngày) và ổn định sau đó. Sự biến thiên cùng xu hướng này chứng minh mối tương quan rõ rệt giữa hai đại lượng cường

độ chịu nén và trị số bật nảy của bê tông trong suốt quá trình phát triển và hoàn thiện tính chất cơ lý của vật liệu. Như đã biết, cường độ của bê tông tăng theo thời gian bảo dưỡng trong 28 ngày và có thể tiếp tục tăng theo quá trình phát triển cường độ của cả hệ thống chất kết dính và cốt liệu. Việc bê tông BC540 tiếp tục tăng cường độ đến 84 ngày và thậm chí lâu hơn là do quá trình tiếp tục phát triển cường độ của hệ chất kết dính gồm xi măng và phụ gia, kết hợp với mức độ liên kết tăng lên tại đới tiếp xúc do bề mặt thô ráp và nhiều lỗ rỗng hở của cốt liệu xi thép.



Hình 8. Biến đổi độ biến dạng phá hủy (d_{ph} , mm) theo thời gian của bê tông xi thép BC540.

Các thí nghiệm nén phá hủy mẫu được quan trắc độ biến dạng nên cho phép xác định độ biến dạng của bê tông tại thời điểm phá hủy (tương ứng thời điểm đạt cường độ chịu nén R_N). Giá trị biến dạng này được gọi là độ biến dạng phá hủy (d_{ph} , mm) và được thể hiện bằng kí hiệu trong Hình 8 cho tất cả các mẫu bê tông xi thép BC540. Có thể thấy rằng, ngoài kết quả thí nghiệm tại 56 ngày tuổi, kết quả thu được (đặc biệt là giá trị trung bình được thể hiện bằng đường nét liền) cho thấy xu hướng giảm dần của d_{ph} theo thời gian và xu hướng này phù hợp với cơ chế phá hủy “dẻo hơn” khi bê tông phát triển cường độ trong thời gian đầu đến cơ chế “dòn hơn” khi bê tông hoàn thiện cường độ. Độ biến dạng phá hủy của bê tông vốn phụ thuộc vào nhiều yếu tố khách quan và chủ quan nên kết quả biến đổi bất thường của độ biến dạng phá hủy cho tổ mẫu 56 ngày là sai số ngẫu nhiên cho tổ mẫu này và do đó không đại diện cho sai số toàn bộ loại bê tông cũng như không ảnh hưởng đến độ chính xác của các thông số khác như cường độ nén hay khối lượng thể tích của bê tông.

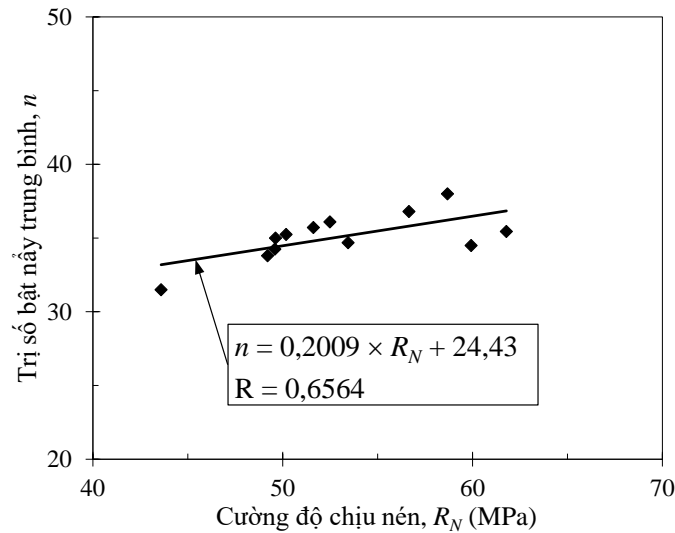


Hình 9. Biến đổi khối lượng thể tích (ρ_c , tấn/m³) theo thời gian của bê tông xi thép BC540.

Khối lượng thể tích (ρ_c , tấn/m³) của các mẫu bê tông và giá trị trung bình lần lượt được thể hiện bằng kí hiệu và đường nét liền trong Hình 9. Kết quả cho thấy, trong điều kiện ẩm tự nhiên, khối lượng thể tích của bê tông xi thép BC540 hầu như không thay đổi theo thời gian. Trong các giải pháp phòng chống xói lở bờ biển và bảo vệ công trình ven biển sử dụng kết cấu bê tông phá sóng như khối Tetrapod, khi khối lượng thể tích của bê tông tăng 1,13 lần (từ $\rho_c = 2,3$ tấn/m³ tương ứng với bê tông nặng lên $\rho_c = 2,6$ tấn/m³ tương ứng với bê tông nặng), thì kích thước của khối phá sóng biển có thể giảm còn 0,53 lần, nghĩa là giảm đáng kể lượng bê tông sử dụng để chế tạo khối phá sóng. Trong trường hợp giữ nguyên kích thước (tức là giữ nguyên lượng sử dụng bê tông) thì công năng phá sóng của khối tăng lên 2 lần [9]. Do đó, khối lượng thể tích của bê tông xi thép BC540 ổn định ở giá trị trung bình khoảng $\rho_c = 2,7$ tấn/m³, đáp ứng tốt yêu cầu bê tông nặng, nên giúp giảm đáng kể lượng sử dụng bê tông hoặc cải thiện đáng kể công năng của khối phá sóng so với bê tông nặng truyền thống.

3.2. Tương quan giữa cường độ chịu nén với thời gian và trị số bật nảy trung bình của bê tông xi thép BC540

Để có cơ sở áp dụng các phương pháp thử không phá hủy (như TCVN 9335: 2012 [8]) cho kết cấu thực tế sử dụng vật liệu mới là bê tông xi thép, việc thiết lập riêng một hàm tương quan giữa cường độ chịu nén (R_N) và trị số bật nảy trung bình (n) theo TCVN 9334: 2012 [7] là bắt buộc, do các hệ số quy đổi trong tiêu chuẩn hiện hành chỉ áp dụng cho cốt liệu tự nhiên. Tức là, việc xác định kiểu tương quan giữa R_N và n của bê tông xi thép giống hay khác với tương quan tuyến tính đã xác lập cho bê tông truyền thống theo TCVN 9334: 2012 [7] là cần thiết.



Hình 10. Tương quan giữa n và R_N của bê tông xi thép BC540.

Kết quả thiết lập hàm tương quan giữa R_N với n cho bê tông xi thép BC540 được thể hiện trong Hình 10 với hàm tương quan này được thể hiện bằng công thức sau:

$$n = 0,2009 \times R_N + 24,43 \quad (1)$$

Với nghiên cứu ban đầu, ý nghĩa quan trọng là thu được tương quan $n - R_N$ cho bê tông xi thép tương tự tương quan tuyến tính đã khẳng định đối với bê tông truyền thống sử dụng cốt liệu tự nhiên như đã quy định trong các tiêu chuẩn TCVN 9334: 2012 và TCVN 9335: 2012. Do đó, mặc dù hệ số tương quan không cao ($R = 0,6564$) nhưng đây là cơ sở định hướng cho các nghiên cứu tiếp theo nhằm hướng đến hoàn thiện phương pháp dự báo cường độ chịu nén theo thời gian của bê tông xi thép cũng như tiếp tục hoàn thiện tương quan $n - R_N$ phục vụ xác định cường độ chịu nén của bê tông sử dụng cốt liệu xi thép trong tương lai.

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu thu được, có thể đưa ra một số kết luận như sau:

(1) Trong điều kiện môi trường ẩm tự nhiên, cường độ chịu nén của bê tông xi thép BC540 tiếp tục tăng đáng kể đến 84 ngày tuổi và ổn định sau thời gian này. Xu hướng này cũng đúng với trị số bột nẩy trung bình và do đó cho phép xác lập hàm tương quan giữa hai đại lượng nhằm phục vụ định hướng cho các nghiên cứu tiếp theo trong dự báo độ chịu nén của các kết cấu công trình sử dụng bê tông cốt liệu xi thép.

(2) Độ biến dạng phá hủy giảm dần theo thời gian khi bê tông xi thép BC540 hoàn thiện cường độ trong khi khối lượng thể tích ổn định khi loại bê tông này làm việc trong điều kiện ẩm tự nhiên. Bê tông xi thép BC540 có khối lượng thể tích trung bình đạt

$\rho_c = 2,7 \text{ tấn/m}^3$ và do đó đáp ứng rất tốt yêu cầu của bê tông nặng trong định hướng cải thiện công năng của các kết cấu phá sóng biển.

(3) Bước đầu xác lập được hàm tương quan cho phép dự báo xu hướng biến đổi cường độ chịu nén của bê tông xi thép BC540 theo trị số bột nẩy. Đây là cơ sở định hướng cho các nghiên cứu tiếp theo để hoàn thiện tương quan $n - R_N$ nói riêng và phương pháp dự báo cường độ chịu nén theo thời gian của bê tông xi thép bằng phương pháp không phá hủy nói chung.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu nhận được sự tài trợ kinh phí từ đề tài nghiên cứu khoa học sinh viên của Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế (Hợp đồng số 41/HĐ-ĐHKH) và đề tài nghiên cứu ứng dụng và phát triển công nghệ cấp tỉnh Hà Tĩnh năm 2023 (Hợp đồng số 594/HĐ-SKHCN). Tập thể tác giả trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Thanh Nhân (2021). *Nghiên cứu sự biến đổi tính chất cơ lý theo thời gian và môi trường thủy hóa nhằm định hướng sử dụng hợp lý xỉ hạt lò cao tại Hà Tĩnh*. Báo cáo đề tài nghiên cứu KH&CN cấp tỉnh Hà Tĩnh.
- [2]. Trần Thanh Nhân (2021). Xi gang và xi thép ở Việt Nam: Tổng quan và một số nghiên cứu theo định hướng sử dụng trong xây dựng. *Báo cáo phiên toàn thể Hội nghị Khoa học toàn quốc ACEA-VIETGEO 2021*.
- [3]. Trần Thanh Nhân (2025). Environmental and Climate Co-Benefits of Recycling Steel Slag as a Construction Aggregate. *Keynote Speaker at 15th International Forum on Green Technology and Management - IFGTM 2025*.
- [4]. Trần Thị Hoài Nhi, Trần Thanh Nhân, Trần Thị Ngọc Quỳnh, Phan Quang Trường, Phan Văn Huy, Đoàn Phước Đạt, Nguyễn Văn Tuấn, Lê Thanh Hà, Dương Trung Quốc (2024). Đánh giá tính chất cơ lý của xi thép Formosa Hà Tĩnh sử dụng làm cốt liệu bê tông. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế*, tập 24, số 2, tr. 133-144.
- [5]. Dương Trung Quốc, Trần Thanh Nhân, Trần Thị Ngọc Quỳnh, Trần Xuân Thạch, Nguyễn Thanh Hải, Đỗ Quang Thiên, Nguyễn Hữu Đồng (2025). Tính chất của bê tông có cốt liệu lớn sử dụng xi thép của nhà máy Gang thép Formosa Hà Tĩnh. *Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Khoa học Tự nhiên*, tập 134, số 1C, tr. 159-170.
- [6]. Dương Trung Quốc, Trần Thanh Nhân, Trần Thị Ngọc Quỳnh, Nguyễn Thị Lệ Huyền, Đỗ Quang Thiên, Trần Xuân Thạch, Nguyễn Thanh Hải, Nguyễn Hữu Đồng (2025). Recycling steel slag as a substitute for natural aggregate in construction: dual benefits for GHG emission reduction and environmental protection in Vietnam. *Hue University Journal of Science: Natural Science*, vol 134, no. 1S-1 (In Press).
- [7]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2012). *Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9334: 2012: Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ chịu nén bằng súng bột nẩy*, 13 trang.

- [8]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2012). *Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9335: 2012: Bê tông nặng - Phương pháp thử không phá hủy - xác định cường độ nén sử dụng kết hợp máy đo siêu âm và súng bật nảy*, 17 trang.
- [9]. Uemura Ryusuke (2015). Overview of slag usage technology development at various works. *Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report*, Report No.: 109/UDC669.1.054.82.
- [10]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2022). *Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 3105: 2022: Hỗn hợp bê tông và bê tông - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử*, 20 trang.
- [11]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2022). *Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 3118:2022: Bê tông - Phương pháp xác định cường độ chịu nén*, 13 trang.

**STUDY ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE INCORPORATING
(HA TINH) FORMOSA STEEL SLAG AS AGGREGATE USING REBOUND
HAMMER AND COMPRESSION TEST METHOD**

**Duong Trung Quoc, Phan Huu Lich Duyet*,
Mai Gia Quoc, Tran Thanh Nhan, Tran Thi Ngoc Quynh**

Faculty of Geography and Geology, University of Sciences, Hue University

*Email: lichduyet772005@gmail.com

ABSTRACT

In this study, a mixture of Formosa steel slag was used as a substitute for natural coarse aggregate for concrete designed to achieve a 400-grade concrete. The experimental results indicate that the compressive strength of the designed concrete exceeded the required strength for grade 400 concrete by 116% to 129%, and further increased to 143% at 84 days. In addition, the density of steel slag is approximately 1.14 to 1.46 times higher than that of natural aggregates such as sand and crushed stone. Consequently, concrete incorporating steel slag aggregates achieves a density of about $r = 2.7$ tons/m³, which fully satisfies the requirements for heavyweight concrete ($r \geq 2.6$ tons/m³). The study also established a correlation between compressive strength and the average rebound index. This observation provides a basis for improving non-destructive methods for estimating the compressive strength of structures made with steel slag aggregate concrete in accordance with current standards.

Keywords: Heavyweight concrete; 400 grade concrete; compressive strength; rebound index; Ha Tinh Formosa steel slag.