

TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG CÓ CỐT LIỆU LỚN SỬ DỤNG XỈ THÉP CỦA NHÀ MÁY GANG THÉP FORMOSA HÀ TĨNH

Dương Trung Quốc^{1*}, Trần Thanh Nhân¹, Trần Thị Ngọc Quỳnh¹, Trần Xuân Thạch²,
Nguyễn Thanh Hải³, Đỗ Quang Thiên¹, Nguyễn Hữu Đồng⁴

¹Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế, 77 Nguyễn Huệ, phường Thuận Hóa, thành phố Huế, Việt Nam

²Thanh tra tỉnh Hà Tĩnh, 103 Phan Đình Phùng, phường Thành Sen, tỉnh Hà Tĩnh, Việt Nam

³Sở Xây dựng Thành phố Đà Nẵng, 24 Trần Phú, phường Hải Châu, thành phố Đà Nẵng, Việt Nam

⁴Trường Đại học Hà Tĩnh, xã Cẩm Bình, tỉnh Hà Tĩnh, Việt Nam

* Tác giả liên hệ Dương Trung Quốc <dtquoc.dhkh23@hueuni.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 04-01-2025; Hoàn thành phản biện: 13-05-2025; Ngày chấp nhận đăng: 15-07-2025)

Tóm tắt. Trong nghiên cứu này, mẫu phối trộn theo tỷ lệ phát thải của 4 loại xỉ thép từ nhà máy gang thép Hưng Nghiệp Formosa Hà Tĩnh (xỉ thép Formosa) được thí nghiệm theo định hướng làm cốt liệu lớn cho bê tông xi măng. Kết quả cho thấy mặc dù có cỡ hạt tương đối nhỏ hơn so với yêu cầu của cốt liệu lớn cho bê tông theo tiêu chuẩn TCVN 7570:2006, nhưng các tính chất cơ lý – kỹ thuật của vật liệu xỉ thép, đặc biệt độ nén đập, hệ số hóa mềm, độ mài mòn và hàm lượng hạt trôi dạt, đều đáp ứng rất tốt yêu cầu làm cốt liệu lớn cho bê tông, thậm chí bê tông mác cao (mác lớn hơn 400). Thành phần cho hỗn hợp bê tông đã được tính toán thiết kế và các mẫu bê tông có cốt liệu lớn là hỗn hợp các loại xỉ thép Formosa được chế tạo. Mẫu bê tông với lượng sử dụng xỉ măng và nước theo định mức của Bộ xây dựng có cường độ chịu nén sau 28 ngày bảo dưỡng vượt từ 116% đến 129% so với yêu cầu của bê tông mác 400. Đồng thời, khối lượng thể tích của mẫu bê tông đáp ứng yêu cầu cho bê tông đặc biệt nặng, mang lại nhiều lợi ích về kỹ thuật, kinh tế và môi trường khi sử dụng để chế tạo các kết cấu phá sóng phục vụ phòng chống xói lở bờ biển và bảo vệ công trình ven biển.

Keywords: Từ khóa: bê tông mác 400, xỉ thép, cốt liệu lớn cho bê tông, Formosa Hà Tĩnh

Properties of concrete with coarse aggregate using steel slag mixture from Ha Tinh Formosa steel plant

Duong Trung Quoc^{1*}, Tran Thanh Nhan¹, Tran Thi Ngoc Quynh¹, Tran Xuan Thach²,
Nguyen Thanh Hai³, Do Quang Thien¹, Nguyen Huu Dong⁴

¹University of Sciences, Hue University, 77 Nguyen Hue, Thuan Hoa ward, Hue City, Vietnam

²Ha Tinh Provincial Inspectorate, 103 Phan Dinh Phung, Thanh Sen ward, Ha Tinh province, Vietnam

³Construction Department of Da Nang City, 24 Tran Phu, Hai Chau ward, Da Nang city, Vietnam

⁴Ha Tinh University, Cam Binh commune, Ha Tinh province, Vietnam

* Correspondence to Duong Trung Quoc <dtquoc.dhkh23@hueuni.edu.vn>

(Received: 04 January 2025; Revised: 13 May 2025; Accepted: 15 Jul 2025)

Abstract. In this study, a mixture based on the emission ratio of four types of steel slag from Hung Nghiep Formosa Ha Tinh Steel Plant (Formosa steel slag) was tested with the aim of serving as coarse aggregate for cement concrete. The results indicate that, although the particles are relatively smaller

than the requirements for coarse aggregates for concrete according to the TCVN 7570:2006 standard, the physico-mechanical properties of the steel slag mixture, particularly crushing value, softening coefficient, abrasion resistance, and the proportion of flat and elongated particles, all meet the requirements for coarse aggregates for concrete, even for high-grade concrete (grade over 400). The design calculation for the concrete mix was carried out, and initial specimens of concrete using Formosa steel slag as coarse aggregates were produced. The results indicate that the concrete specimens, with the usage of cement and water conforming to the Ministry of Construction's standards, achieved compressive strength after 28 days, exceeding the requirements for grade 400 concrete by 116% to 129%. Moreover, the density of the concrete meets the requirements for ultra-heavy concrete, offering numerous technical, economic, and environmental benefits. This makes the material highly suitable for use in manufacturing wave-breaking structures to prevent coastal erosion and protect coastal infrastructure.

Keywords: grade 400 concrete, steel slag, coarse aggregate for concrete, Formosa Ha Tinh

1 Mở đầu

Với lượng thải trung bình chiếm tới 15% khối lượng thép thành phẩm, xỉ luyện thép (gọi tắt là xỉ thép, tiếng Anh là steel-making slag hoặc steel slag) là chất thải rắn chính của phân xưởng luyện thép trong nhà máy luyện gang thép. Về chủng loại xỉ thép, tùy thuộc vào loại lò luyện, công nghệ luyện và chủng loại – chất lượng thép thành phẩm, một nhà máy có thể có nhiều loại xỉ thép khác nhau. Nhìn chung trên toàn thế giới, người ta phân xỉ thép thành 3 loại gồm xỉ lò thổi (hay xỉ lò chuyển – Basic oxygen furnace slag (BOF)), xỉ lò hồ quang điện (Electric arc furnace slag (EAF)) và xỉ lò tinh luyện (Ladle furnace slag (LFS)) [1, 2]. Ở Việt Nam, các nhà máy gang thép lớn, sản xuất hơn 70% lượng thép sản xuất của cả nước, thường sử dụng công nghệ lò thổi phát thải 3 loại xỉ thép là xỉ khử lưu huỳnh (xỉ DeS), xỉ BOF và xỉ lò đúc (xỉ CAST). Trong khi các nhà máy luyện thép công suất nhỏ hơn thường sử dụng công nghệ lò hồ quang điện thì phát thải xỉ EAF và xỉ CAST.

Cùng với thành tựu đạt được trong xử lý, cải tạo thành phần và tính chất [3–8], xỉ thép đã được khẳng định có nhiều tính chất cơ lý vượt trội so với cốt liệu tự nhiên [9–11] và đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật để sử dụng trong lĩnh vực xây dựng, đặc biệt làm cốt liệu, cấp phối phục vụ xây dựng đường giao thông và làm cốt liệu chế tạo bê tông

nền đường và công trình biển [3, 12–14]. Thành phần hóa học và thành phần khoáng của xỉ thép thường phức tạp và biến đổi (bất thường) theo công đoạn nấu chảy nguyên liệu và quá trình luyện thép, loại phụ gia, quy trình làm nguội và loại thép thành phẩm [3]. Do đó, theo kinh nghiệm của các quốc gia phát triển, để có thể xác lập cơ sở khoa học cho việc ban hành các tiêu chuẩn và chỉ dẫn kỹ thuật sử dụng tro xỉ nói chung và xỉ gang, xỉ thép nói riêng trong xây dựng, thông thường phải trải qua các giai đoạn nghiên cứu từ cơ bản trong phòng thí nghiệm đến nghiên cứu ứng dụng thí điểm (pilot model) và ứng dụng quy mô công nghiệp kèm quan trắc, đánh giá [15]. Dựa vào các giai đoạn nghiên cứu và sử dụng thí điểm này, các quốc gia đã xây dựng và ban hành các tiêu chuẩn và chỉ dẫn kỹ thuật phù hợp với sản phẩm xỉ sản xuất trong nước mà không tham khảo hay sử dụng tiêu chuẩn, chỉ dẫn kỹ thuật của nước khác (Danh sách các tiêu chuẩn sử dụng xỉ trong xây dựng có thể tham khảo trên trang web của Hiệp hội xỉ các nước).

Ở Việt Nam, vấn đề sử dụng vật liệu phế thải như vật liệu tro xỉ vào xây dựng nói riêng và các lĩnh vực khác đã được nhà nước quan tâm, khuyến khích và trở thành chương trình hành động như là một phần trong nền kinh tế xanh – tuần hoàn hiện nay. Tuy nhiên, nghiên cứu về vật liệu tro xỉ nói chung và nghiên cứu định hướng sử dụng xỉ thép vào xây dựng vẫn riêng lẻ, thiếu tính

hệ thống cùng cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu chưa hợp lý [15, 16]. Trước năm 2017, các nghiên cứu về xi thép ở Việt Nam chủ yếu là đánh giá khả năng sử dụng thông qua nghiên cứu cơ bản về thành phần và tính chất của xi đáy lò và tro bay từ một số nhà máy gang thép ở khu vực phía Bắc [17, 18]. Từ năm 2017, dưới áp lực ngày càng lớn của lượng thải xi thép tăng nhanh và tình trạng thiếu hụt nguồn vật liệu xây dựng tự nhiên nên nghiên cứu định hướng sử dụng xi thép vào xây dựng được các nhà khoa học và cơ quan quản lý quan tâm. Bộ Xây dựng đã ban hành Chỉ dẫn kỹ thuật “Xi gang và xi thép sử dụng làm vật liệu xây dựng” [19], nhưng nội dung của Chỉ dẫn kỹ thuật này chủ yếu dựa vào trích dẫn tham khảo theo tiêu chuẩn nước ngoài (của Nhật Bản, Mỹ và Châu Âu), nên gặp khó khăn khi áp dụng. Đồng thời, chỉ dẫn kỹ thuật này sử dụng nguồn số liệu hạn chế của xi thép sản xuất ở Việt Nam (thành phần cỡ hạt, 3 đặc trưng vật lý và 2 đặc trưng cơ học của 3 mẫu xi thép, cùng 13 chỉ tiêu thành phần hóa học cơ bản của 2 mẫu xi thép) và không có dữ liệu của vật liệu xi từ nhà máy gang thép Hưng Nghiệp Formosa Hà Tĩnh (gọi tắt là nhà máy FHS). Do đó, chỉ dẫn kỹ thuật này cần được bổ sung, hiệu chỉnh để phù hợp với vật liệu xi phát thải ở Việt Nam.

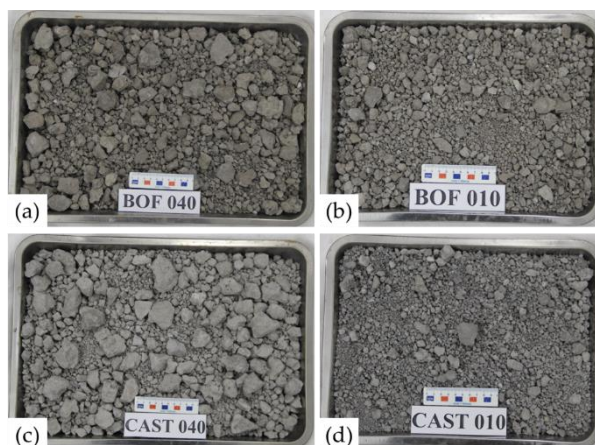
Hiện nay, Việt Nam là nước sản xuất thép lớn thứ 13 trên thế giới với công suất khoảng 20–25 triệu tấn/năm và đang trong giai đoạn đẩy

mạnh phát triển công nghiệp luyện gang thép nhằm đáp ứng nhu cầu cho kỷ nguyên chuyển mình của quốc gia cùng kế hoạch xây dựng dự án đường sắt cao tốc Bắc – Nam. Ở khu vực miền Trung, nhà máy FHS sử dụng công nghệ lò luyện BOF là nhà máy gang thép lớn nhất Việt Nam với công suất hiện tại khoảng 7,5 triệu tấn thép/năm tương ứng với lượng thải xi thép (gồm xi DeS, xi BOF và xi CAST) là 1,03 triệu/năm [20]. Do chưa có đủ dữ liệu nên xi thép của nhà máy này đang được sử dụng làm vật liệu san lấp, đắp nền là cấp sử dụng thấp nhất, không chỉ làm giảm giá trị sử dụng của loại vật liệu này mà còn gây lo lắng về vấn đề an toàn môi trường ở địa phương. Xuất phát từ những phân tích trên, việc triển khai nội dung của nghiên cứu nhằm góp phần định hướng sử dụng xi thép nhà máy FHS nói riêng và ở Việt Nam nói chung là cần thiết và có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

2 Vật liệu và phương pháp

2.1 Cốt liệu cho bê tông

Vật liệu xi thép sử dụng trong nghiên cứu này gồm 4 loại xi thép Formosa theo chủng loại (xi BOF và xi CAST) và cỡ hạt (0–10 mm và 0–40 mm), ký hiệu là BOF-040, BOF 010, CAST-040 và CAST-010 [21]. Hình chụp mẫu nguyên khai của 4 loại xi này được trình bày trên Hình 1.



Hình 1. Ảnh chụp mẫu nguyên khai (a) xi BOF-040; (b) xi BOF-010; (c) xi CAST-040; (d) xi CAST-010

Có thể thấy rõ sự khác biệt về thành phần hạt giữa các cỡ hạt khác nhau trong cùng loại xi. Đồng thời, do xi thép được làm nguội nhanh từ vật liệu xi lỏng với nhiệt độ tương đương 1500 °C và được thu phẩm qua quá trình nghiền, sàng, tuyển từ nên bề mặt hạt xi thô ráp với nhiều lỗ rỗng hỏ. Ngoài ra, cốt liệu nhỏ để chế tạo mẫu bê tông trong nghiên cứu này là vật liệu cát xây dựng (cát thô lòng sông) thu thập tại công ty TNHH Xử lý và Tái chế tro xi Việt Hải (gọi tắt là công ty Việt Hải). Công ty Việt Hải vừa là đơn vị xử lý và tái chế xi thép Formosa làm vật liệu trong

lĩnh vực xây dựng và địa kỹ thuật, vừa là đơn vị sản xuất bê tông thương phẩm lớn tại tỉnh Hà Tĩnh (nơi có nhà máy FHS) nên việc sử dụng vật liệu cát của công ty sẽ thuận lợi cho việc ứng dụng kết quả nghiên cứu tại địa phương trong tương lai. Để thuận lợi, mẫu cát xây dựng thu thập được gọi tên là “cát Hà Tĩnh” và ảnh chụp công tác thu thập mẫu cát Hà Tĩnh được trình bày trên Hình 2. Chi tiết về vật liệu và phương pháp thí nghiệm thành phần cỡ hạt, tính chất cơ lý – kỹ thuật của cốt liệu có thể tham khảo trong nghiên cứu chúng tôi đã công bố [21].



Hình 2. Ảnh chụp (a) công tác thu thập và (b) mẫu cát Hà Tĩnh tại công ty Việt Hải

2.2 Mẫu bê tông có cốt liệu lớn là xi thép Formosa

Với cốt liệu lớn (5–40 mm) và cốt liệu nhỏ (0,14–5 mm) lần lượt là hỗn hợp xi thép Formosa và cát Hà Tĩnh, mẫu bê tông được thiết kế theo định hướng đạt mác 400 (cường độ nén 28 ngày tuổi là $R_{28} \geq 38,5$ Mpa) và bền sunfat (phục vụ xây dựng công trình biển) nên sử dụng xi măng PCB40, phụ gia Sikacrete PP-1 và Sikaplast-361 cùng với nước lấy từ vòi nước máy ở phòng thí nghiệm. Thành phần của hỗn hợp bê tông được

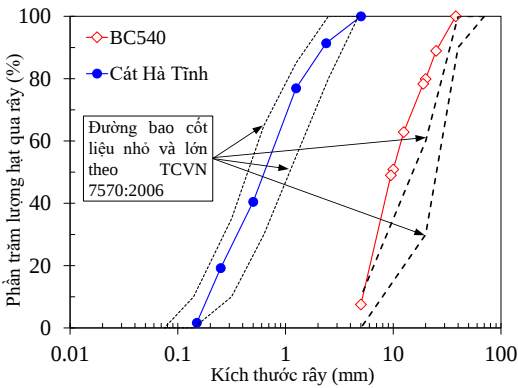
thiết kế dựa vào quy định của Bộ Xây dựng như định mức dự toán xây dựng công trình theo Công văn số 1776/BXD-VP [22] (gọi tắt là Công văn 1776) và định mức vật tư trong xây dựng theo Công văn 1784 [23]) (gọi tắt là Công văn 1784). Mẫu bê tông được chế tạo và bảo dưỡng theo Tiêu chuẩn TCVN 3105:2022 [24]; độ sụt của hỗn hợp bê tông tươi và cường độ chịu nén của mẫu bê tông đông cứng lần lượt được thí nghiệm theo Tiêu chuẩn TCVN 3106:2022 [25] và TCVN 3118:2022 [26].

3 Kết quả và thảo luận

3.1 Thành phần và tính chất của vật liệu chế tạo mẫu bê tông

Để thu được hỗn hợp xi thép Formosa làm cốt liệu lớn cho bê tông, nguyên liệu được phối trộn theo đúng tỷ lệ phát thải từ nhà máy là BOF-040 = 73,7%; BOF-010 = 18,4%; CAST-040 = 6,3%; CAST-010 = 1,6%. Việc phối trộn theo tỷ lệ này nhằm đảm bảo việc tái chế và sử dụng triệt để các loại xỉ thép phát thải của nhà máy. Mẫu trộn sau đó được cho qua rây 5 mm để thu được mẫu cốt liệu lớn là hỗn hợp xi thép Formosa có kích thước từ 5 đến 40 mm và được đặt tên là BC540 (tương đương mẫu BC5-40 trong nghiên cứu của Nhi và cộng sự [21]). Kết quả thí nghiệm về thành phần

cốt hạt, tính chất cơ lý – kỹ thuật của mẫu BC540 và cát Hà Tĩnh lần lượt được trình bày trên Hình 3 và Bảng 1.



Hình 3. Đường cong thành phần hạt mẫu BC540 và cát Hà Tĩnh

Bảng 1. Tính chất cơ lý – kỹ thuật của mẫu BC540 và cát Hà Tĩnh

TT	Tính chất	Cốt liệu lớn (hỗn hợp xi thép BC540)	Cốt liệu nhỏ (cát Hà Tĩnh)
1	Hàm lượng hạt mịn (<0,14 mm)	0,0	0,0
2	Mô đun độ lớn	–	2,70
3	Khối lượng thể tích xốp, kg/m ³	1835	1436
4	Độ hong, %	44,2	41,4
5	Khối lượng riêng, g/cm ³	3,54	2,69
6	Khối lượng thể tích khô, g/cm ³	3,38	2,45
7	Khối lượng thể tích bão hoà, g/cm ³	3,43	2,54
8	Độ hút nước, %	1,34	3,68
9	Độ nén đập ở trạng thái khô, %	6,48	–
10	Độ nén đập ở trạng thái bão hoà, %	7,77	–
11	Hệ số hoá mềm	0,83	–
12	Mác cốt liệu lớn	140	–
13	Độ mài mòn Los Angeles, %	14,39	–
14	Hàm lượng hạt thoi dẹt, %	2,7	–

Kết quả thí nghiệm cho thấy thành phần cỡ hạt của cát Hà Tĩnh đáp ứng yêu cầu làm cốt liệu cho bê tông theo tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 [27], nhưng hỗn hợp xi thép BC540 có thành phần cỡ hạt tương đối nhỏ hơn so với yêu cầu của cốt liệu lớn [27]. Trong khi đó tính chất cơ lý – kỹ thuật

của hỗn hợp xi thép BC540, đặc biệt các tính chất quyết định đến khả năng sử dụng làm cốt liệu lớn cho bê tông như độ nén đập, hệ số hoá mềm, độ mài mòn và hàm lượng hạt thoi dẹt đều đáp ứng rất tốt, thậm chí tốt hơn vật liệu tự nhiên theo [21, 27] và mác cốt liệu lớn của hỗn hợp xi thép BC540 thuộc loại mác cốt liệu lớn cao nhất (mác 140).

Mặt khác, do khối lượng riêng của xi thép BC540 lớn nên hỗn hợp cốt liệu có khối lượng thể tích xấp – khô và bão hoà của lớn hơn vật liệu tự nhiên (đá dăm).

3.2 Tính toán thành phần cho mẫu bê tông

Nguyên tắc chung trong thiết kế thành phần cho bê tông là tính hàm lượng các thành phần gồm cốt liệu (lớn và nhỏ), xi măng và nước theo các phương pháp đã được sử dụng rộng rãi. Sau đó tiến hành chế tạo mẫu bê tông theo kết quả tính toán để kiểm tra và điều chỉnh theo thực tế

nhằm thu được thành phần vừa đáp ứng yêu cầu kỹ thuật vừa tiết kiệm tối đa chi phí. Tuy nhiên, các phương pháp thiết kế thành phần bê tông phổ biến hiện nay chủ yếu được áp dụng cho cốt liệu truyền thống (tự nhiên) nên không phù hợp với cốt liệu xi thép vốn có tính chất cơ lý và đặc điểm hình thái, cấu trúc bề mặt khác biệt. Vì vậy, trong nghiên cứu này, việc thiết kế thành phần mẫu bê tông dựa theo định mức hiện hành của Bộ xây dựng cho bê tông mác 400 và được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Thành phần cho bê tông mác 400 theo định mức của Bộ Xây dựng [22, 23]

Cỡ đá (mm)	5–10			10–20			20–40		
Độ sụt (cm)	2–4	6–8	14–17	2–4	6–8	14–17	2–4	6–8	14–17
Theo Công văn 1776 [22]									
Xi măng (kg)	470	488	508	439	458	480	455	427	455
Cát (m³)	0,427	0,410	0,431	0,444	0,424	0,448	0,414	0,441	0,459
Đá (m³)	0,86	0,854	0,802	0,865	0,861	0,805	0,851	0,861	0,806
Nước (lít)	186	193	201	174	181	190	180	169	180
Theo Công văn 1784 [23]									
Xi măng (kg)	465	483	503	435	453	475	450	423	450
Cát (m³)	0,419	0,402	0,423	0,435	0,416	0,439	0,406	0,432	0,45
Đá (m³)	0,819	0,813	0,764	0,832	0,828	0,774	0,83	0,84	0,786
Nước (lít)	186	193	201	174	181	190	180	169	180

Trong Bảng 2, ứng với từng cỡ đá và yêu cầu độ sụt, lượng xi măng và cốt liệu (cát và đá) cho 1 m³ bê tông theo Công văn 1776 có kèm theo lượng hao hụt khi thi công nên lớn hơn với Công văn 1784. Lượng xi măng cho 1 m³ bê tông theo Công văn 1784 dao động từ 423 kg (cỡ đá 20–40 mm, độ sụt 6–8 cm) đến 503 kg (cỡ đá 5–10 mm, độ sụt 14–17 cm). Trong khi đó, mẫu bê tông của nghiên cứu này cần đạt độ sụt lớn hơn 6 cm nên lượng xi măng thay đổi từ 423 kg (cỡ đá 20 – 40 mm) đến 483 kg (cỡ đá 5–10 mm). Xi thép có cấu trúc bề mặt thô ráp với nhiều lỗ rỗng hờ trên bề mặt dẫn đến tăng lượng hấp phụ chất kết dính và

nước khi làm cốt liệu cho bê tông, đặc biệt khi sử dụng làm cốt liệu nhỏ [3]. Đồng thời, hỗn hợp xi thép Formosa dùng làm cốt liệu lớn có cỡ hạt 5–40 mm nên thành phần chế tạo mẫu bê tông được chọn cho trường hợp cỡ đá 20–40 mm và độ sụt 6–8 cm theo Công văn 1784 trong Bảng 2 để làm cơ sở điều chỉnh thành phần theo thực tế đúc và thí nghiệm mẫu bê tông. Phụ gia Sikacrete PP-1 và Sikaplast-361 được sử dụng để đảm bảo độ bền sunfat và tính công tác cho mẫu bê tông. Thành phần cho bê tông mác 400 có cốt liệu lớn là hỗn hợp xi thép BC540 và cốt liệu nhỏ là cát Hà Tĩnh được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Thành phần của 1 m³ bê tông mác 400 có cốt liệu lớn là hỗn hợp xi thép BC540 và cốt liệu nhỏ là cát Hà Tĩnh

Thành phần	Theo Công văn 1784 ⁽¹⁾	Tính cho bê tông có cốt liệu lớn là hỗn hợp xi thép BC540 và cốt liệu nhỏ là cát Hà Tĩnh
Xi măng (kg)	423	423
Cát (m ³)	0,432	620,5 ⁽²⁾
Đá (m ³)	0,840	1541,4 ⁽²⁾
Nước (lít)	169	169
Sikacrete PP-1 (kg)	Không quy định	21,2 ⁽³⁾
Sikaplast-361 (ml)	Không quy định	3384 ⁽³⁾

Ghi chú: ⁽¹⁾ Áp dụng cho trường hợp cỡ đá 20–40 mm và độ sụt 6–8 cm trong Bảng 2; ⁽²⁾ Đơn vị là kg tính theo khối lượng thể tích xếp của cát Hà Tĩnh và hỗn hợp xi thép BC540 lần lượt là 1436,3 kg/m³ và 1835,0 kg/m³; ⁽³⁾ Theo khuyến nghị của nhà sản xuất là 5–10% khối lượng xi măng đối với Sikacrete PP-1 và 500–2000 mL/100 kg xi măng đối với Sikaplast-361.

3.3
 Chế tạo và bảo dưỡng mẫu bê tông

Tiến hành phối trộn các thành phần bằng máy trộn quay tự do (đang được sử dụng phổ biến trong xây dựng công trình) và tiến hành kiểm tra độ sụt theo tiêu chuẩn TCVN 3106:2022; công tác đúc và bảo dưỡng mẫu được thực hiện theo tiêu chuẩn TCVN 3105:2022 (Hình 4). Lượng nước trong Bảng 3 áp dụng cho trường hợp không sử dụng phụ gia trong khi phụ gia Sikaplast-361 là phụ gia siêu dẻo có tác dụng giảm

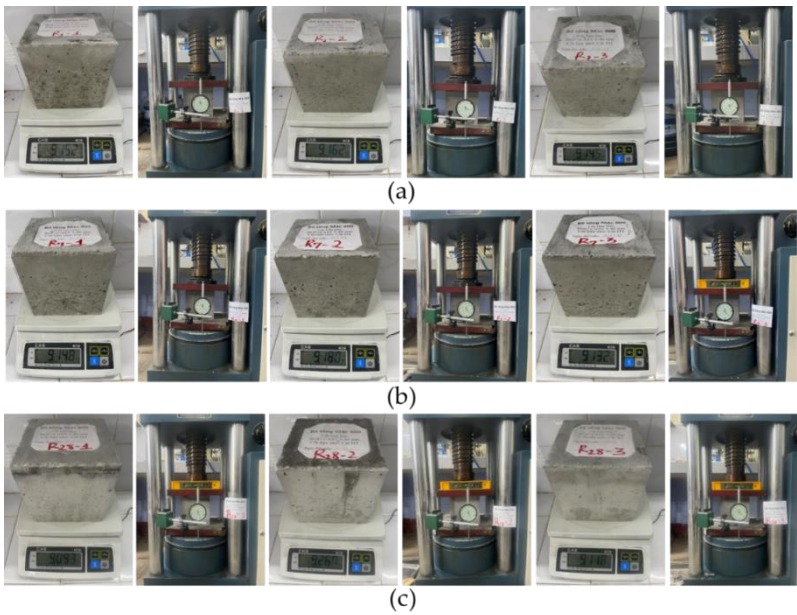
nước cao, duy trì độ sụt lâu và tăng độ chảy cho hỗn hợp bê tông tươi. Thực tế đúc mẫu cho thấy lượng nước sử dụng bằng 113,6% so với lượng nước trong Bảng 3 (tăng 0,7 lít so với 5,1 lít tính từ Bảng 3 cho tổ hợp 9 mẫu kích thước 15 cm × 15 cm × 15 cm) thì hỗn hợp bê tông tươi đã đạt độ sụt $S = 18$ cm (Hình 4a). Do đó, thành phần của bê tông mác 400 có cốt liệu là hỗn hợp xi thép B540 và cát Hà Tĩnh sau khi được điều chỉnh theo thực tế đúc mẫu được tổng hợp lại trong Bảng 4 (cho 1 m³ bê tông và cho tổ hợp 9 mẫu đúc).



Hình 4. (a) Độ sụt của hỗn hợp bê tông tươi và (b) công tác bảo dưỡng mẫu trước khi thí nghiệm xác định cường độ chịu nén

Bảng 4. Thành phần của bê tông mác 400 có cốt liệu lớn là hỗn hợp xi thép BC540 sau khi điều chỉnh theo thực tế đúc mẫu

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



Hình 5. Cân và lắp đặt mẫu trong thiết bị trước khi thí nghiệm xác định cường độ chịu nén (a) 3 ngày, (b) 7 ngày và (c) 28 ngày bảo dưỡng

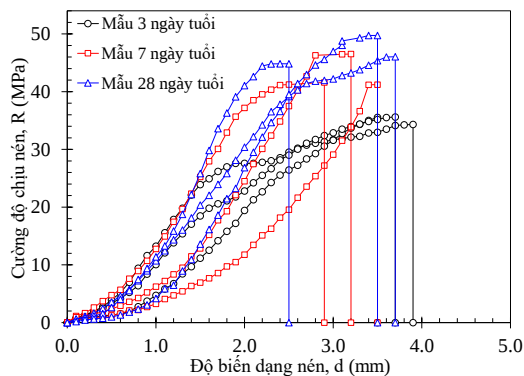
Trong nghiên cứu này, thí nghiệm xác định cường độ chịu nén cho tổ hợp 3 mẫu theo 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày bảo dưỡng được thực hiện trên thiết bị nén TSY-2000 TYPE theo tiêu chuẩn TCVN 3118:2022 kèm theo quan trắc độ biến dạng. Ảnh chụp công tác chuẩn bị và lắp mẫu bê tông trong thiết bị nén được trình bày trên Hình 5 và ảnh chụp mẫu bị vỡ sau thí nghiệm nén được trình bày trên Hình 6.



Hình 6. Mẫu bê tông sau khi thí nghiệm xác định cường độ chịu nén

3.4 Tính chất của bê tông có cốt liệu lớn là hỗn hợp xi thép BC540

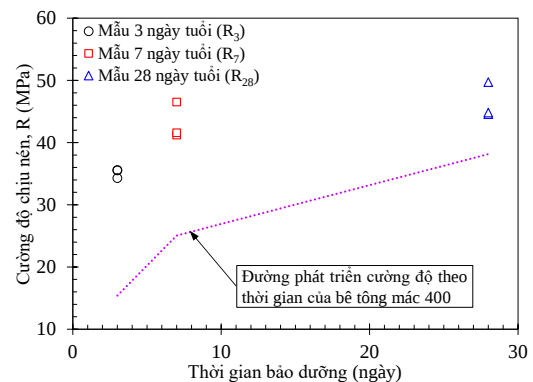
Do độ biến dạng của mẫu nén được quan trắc liên tục (cho từng độ biến dạng 0,1 mm) từ khi bắt đầu thí nghiệm đến thời điểm mẫu đạt cường độ lớn nhất và phá hủy nên kết quả thí nghiệm của từng mẫu được trình bày dưới dạng quan hệ giữa cường độ chịu nén (R , Mpa) và độ biến dạng (d , mm) (Hình 7).



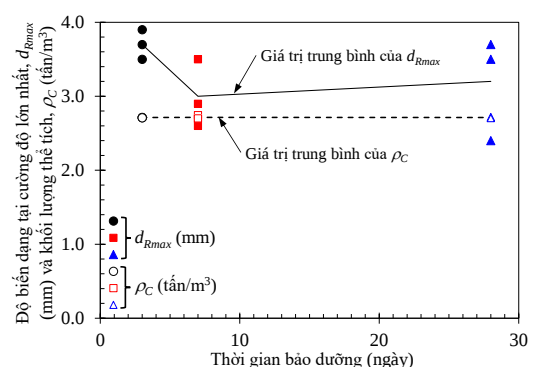
Hình 7. Quan hệ giữa cường độ và độ biến dạng trong thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của các mẫu bê tông

Các đường cong trên Hình 7 cho thấy xu hướng tăng của cường độ chịu nén theo thời gian bảo dưỡng của các mẫu bê tông có cốt liệu lớn là hỗn hợp xi thép BC540. Các mẫu ở 3 ngày tuổi có R nhỏ nhất, nhưng độ biến dạng tại thời điểm phá hủy (d_{Rmax}) là lớn nhất và hai thông số này khá tương đồng giữa 3 mẫu thí nghiệm. Mẫu 7 ngày và 28 ngày tuổi có R lớn, nhưng d_{Rmax} có xu hướng giảm. Ảnh chụp đặc điểm phá hủy của mẫu bê tông trên Hình 6 cho thấy mức độ vỡ của cốt liệu lớn, tức là hỗn hợp xi thép BC540, tăng lên theo ngày bảo dưỡng. Ở 3 ngày tuổi, quá trình phá hủy chủ yếu xảy ra trong tập hợp chất kết dính và tại ranh giới với cốt liệu lớn nên giá trị R và d_{Rmax} giữa các mẫu thí nghiệm là khá tương đồng. Khi cường độ mẫu tăng (7 và 28 ngày) thì quá trình phá hủy xảy ra cả trong tập hợp chất kết dính và cốt liệu lớn nên sự khác nhau về giá trị R và d_{Rmax} giữa các mẫu tăng lên.

Kết quả cường độ chịu nén R của các mẫu bê tông theo thời gian bảo dưỡng được trình bày bằng ký hiệu trên Hình 8. Trong hình này, đường nét đứt là cường độ của bê tông mác 400 tại 3, 7 và 28 ngày theo kinh nghiệm tương ứng khoảng 40,6% và 99% cường độ lớn nhất (tức 38,5 Mpa). Cường độ theo ngày bảo dưỡng của các mẫu bê tông xi thép (kí hiệu là R_3 , R_7 và R_{28}) đạt $R_3 = 34,3 \div 35,6$ MPa; $R_7 = 41,2 \div 46,5$ MPa và $R_{28} = 44,6 \div 49,7$ MPa; trung bình $R_3 = 35,2$ MPa; $R_7 = 43,1$ MPa và $R_{28} = 46,4$ MPa. Như vậy, độ chênh lệch cường độ giữa các mẫu với giá trị trung bình dao động từ 1,1 đến 7,9% nên đáp ứng yêu cầu độ chính xác theo tiêu chuẩn TCVN 3118:2022.



Hình 8. Cường độ chịu nén theo thời gian bảo dưỡng của các mẫu bê tông



Hình 9. Độ biến dạng khi cường độ chịu nén lớn nhất và khối lượng thể tích của các mẫu bê tông

Kết quả trên Hình 8 cho thấy cường độ chịu nén của các mẫu bê tông hoàn toàn đáp ứng yêu cầu cho bê tông mác 400: ở 28 ngày tuổi, cường độ các mẫu vượt từ 116 đến 129% so với yêu cầu. Giá

trị d_{Rmax} và khối lượng thể tích (ρ_c , tấn/m³) của các mẫu thí nghiệm được trình bày theo thời gian bảo dưỡng trên Hình 9. Có thể thấy rằng, do cường độ tăng theo thời gian bảo dưỡng với cơ chế phá hủy từ “dẻo hơn” do chỉ phá hủy trong tập hợp chất kết dính đang hình thành liên kết trên mẫu 3 ngày đến “giòn hơn” do phá hủy cả trong tập hợp chất kết dính và cốt liệu lớn (xi thép) trên mẫu 7 và 28 ngày nên giá trị d_{Rmax} có xu hướng giảm. Bên cạnh đó, bê tông nặng thông thường có khối lượng thể tích khoảng $\rho_c = 2,2\div 2,5$ tấn/m³ trong khi các mẫu bê tông của nghiên cứu có $\rho_c = 2,69\div 2,75$ tấn/m³ nên đáp ứng yêu cầu của bê tông đặc biệt nặng (có $\rho_c \geq 2,5$ tấn/m³) [28]. Theo công thức của Hudson trong thiết kế kết cấu phá sóng biển phục vụ phòng chống xói lở bờ biển và bảo vệ công trình ven biển, khi khối lượng thể tích bê tông lớn hơn 1,13 lần (2,6/2,3) thì khối lượng thiết kế của khối phá sóng có thể giảm một nửa (giảm 0,53 lần) và khi có cùng kích thước, thì hệ số an toàn phá sóng của kết cấu sẽ tăng gấp đôi [28].

Ngoài ra, bê tông đặc biệt nặng dùng cốt liệu nặng tự nhiên như đá peridotit có giá thành gấp 1,5 bê tông thường do chi phí khai thác – vận chuyển lớn trong khi loại đá gốc dễ sản xuất vừa ít phổ biến vừa có nhiều ứng dụng trong công nghiệp như chất xúc tác lò thiêu kết nên giá thành cao hơn [28]. Ngược lại, xi thép không tốn chi phí khai thác và vận chuyển từ mỏ nên có hiệu quả kinh tế và môi trường so với vật liệu tự nhiên trong khoảng cách vận chuyển 150 km (đánh giá theo LCA, LCCA của [3, 29]). Đồng thời, thành phần hóa học và thành phần khoáng của xi gang, xi thép phù hợp để cải tạo môi trường đáy biển, hỗ trợ cho sự phát triển của hệ sinh thái biển như ứng dụng thử nghiệm thành công ở Nhật Bản [28]. Với những ưu điểm vừa nêu, xi thép đã được sử dụng phổ biến để chế tạo công trình, kết cấu bảo vệ bờ, đáy biển như trụ phá sóng Tetrapod, đá khối nhân tạo gồm Ferrform block, Artificial stones và Marine stones ở các nước phát triển (như ở Nhật Bản [30–32]). Do đó, những kết quả

bước đầu thu được trong nghiên cứu này cho thấy tiềm năng của việc sử dụng bê tông có cốt liệu xi thép để chế tạo cấu kiện, kết cấu phá sóng biển nhằm bảo vệ bờ – đáy biển và nền móng công trình ven biển hiện đang bị xói lở và phá hủy ngày càng nghiêm trọng ở khu vực miền Trung nói riêng và cả nước nói chung.

4 Kết luận

Một số kết luận từ kết quả nghiên cứu thu được như sau:

1. Hỗn hợp xi thép BC540 có kích thước 5–40 mm thu được khi phối trộn từ 4 loại xi khác nhau theo tỷ lệ phát thải của nhà máy FHS có thành phần cỡ hạt tương đối nhỏ hơn so với quy định cốt liệu lớn cho bê tông theo tiêu chuẩn TCVN 7570:2006. Trong khi đó các tính chất cơ lý – kỹ thuật, đặc biệt là độ nén đập, hệ số hóa mềm, độ mài mòn và hàm lượng hạt thoi dẹt đều đáp ứng yêu cầu cho bê tông mác cao (mác ≥ 400).

2. Mẫu bê tông xi thép (sử dụng hỗn hợp xi thép BC540 làm cốt liệu lớn) có thành phần được tính theo định mức của Bộ Xây dựng đáp ứng yêu cầu của bê tông mác 400 với cường độ chịu nén 28 ngày vượt từ 116 đến 129% so với yêu cầu.

3. Với khối lượng thể tích khoảng $\rho_c = 2,69\div 2,75$ tấn/m³, bê tông có cốt liệu lớn là hỗn hợp xi thép BC540 của nghiên cứu này đáp ứng yêu cầu cho bê tông đặc biệt nặng. Định hướng sử dụng loại bê tông này trong chế tạo các kết cấu – cấu kiện phá sóng biển sẽ mang lại lợi ích kép, không chỉ tăng công năng của công trình bảo vệ bờ – công trình ven biển mà còn giảm ô nhiễm môi trường do lưu thải xi thép trong công nghiệp luyện gang thép và giảm khai thác – sử dụng vật liệu tự nhiên trong xây dựng. Hướng ứng dụng này đã phát huy hiệu quả ở các nước tiên tiến trong bảo vệ bờ và công trình ven biển (như ở Nhật Bản) nên có ý nghĩa và cấp thiết trong điều kiện bờ biển và công trình ven biển ở nước ta hiện

đang bị xói lở và phá hủy ngày càng nghiêm trọng do biến đổi khí hậu.

4. Kết quả thu được mới chỉ bước đầu dựa trên tính chất cơ lý – kỹ thuật cơ bản của hỗn hợp xi thép BC540 và mẫu bê tông có cốt liệu lớn sử dụng hỗn hợp xi thép này. Do xi thép có thành phần (hóa học, khoáng) và tính chất khác với vật liệu xây dựng tự nhiên, đặc biệt là khả năng gây trương nở và gây hại môi trường do quá trình thủy hóa các thành phần tự do (CaO và MgO tự do). Do đó, cần tiếp tục nghiên cứu để đánh giá mức độ trương nở của xi thép, ảnh hưởng theo thời gian của đặc tính trương nở đến tính chất của xi thép và bê tông sử dụng xi thép làm cốt liệu.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu nhận được sự tài trợ kinh phí của 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. Skaf M, Manso JM, Aragón Á, Fuente-Alonso JA, Ortega-López V. EAF slag in asphalt mixes: A brief review of its possible re-use. *Resources, Conservation and Recycling*. 2017;120:176-85.
2. Ziaee SA, Behnia K. Evaluating the effect of electric arc furnace steel slag on dynamic and static mechanical behavior of warm mix asphalt mixtures. *Journal of Cleaner Production*. 2020;274:123092.
3. Liu J, Xu J, Liu Q, Wang S, Yu B. Steel Slag for Roadway Construction: A Review of Material Characteristics and Application Mechanisms. 2022;34(6):03122001.
4. Jiang L, Dong C-L, Wang S-Y. Reducing Volume Expansion of Steel Slag by Using a Surface Hydrophobic Waterproof Structure. 2020;32(10):04020303.
5. Ma L, Xu D, Wang S, Gu X. Expansion inhibition of steel slag in asphalt mixture by a surface water isolation structure. *Road Materials and Pavement Design*. 2020;21(8):2215-29.
6. Özkök E, Davis AP, Aydilek AH. Treatment Methods for Mitigation of High Alkalinity in Leachates of Aged Steel Slag. 2016;142(2):04015063.
7. Özkök E, Davis AP, Aydilek AH. Ettringite and monosulfate formation to reduce alkalinity in reactions of alum-based water treatment residual with steel slag. *Waste Management*. 2019;84:1-12.
8. Teixeira JESL, Schumacher AG, Pires PM, Castelo Branco VTF, Martins HB. Expansion Level of Steel Slag Aggregate Effects on Both Material Properties and Asphalt Mixture Performance. 2019;2673(3):506-15.
9. Gao J, Sha A, Wang Z, Tong Z, Liu Z. Utilization of steel slag as aggregate in asphalt mixtures for microwave deicing. *Journal of Cleaner Production*. 2017;152:429-42.
10. Hasita S, Suddepong A, Horpibulsuk S, Samingthong W, Arulrajah A, Chinkulkijniwat A. Properties of Asphalt Concrete Using Aggregates Composed of Limestone and Steel Slag Blends. 2020;32(7):06020007.
11. Yildirim IZ, Prezzi M. Geotechnical Properties of Fresh and Aged Basic Oxygen Furnace Steel Slag. 2015;27(12):04015046.
12. Grubeša IN, Barišić I, Fucic A, Bansode SS. Characteristics and uses of steel slag in building construction. Elsevier; 2016.
13. Poulidakos LD, Papadaskalopoulou C, Hofko B, Gschösser F, Cannone Falchetto A, Bueno M, et al. Harvesting the unexplored potential of European waste materials for road construction. *Resources, Conservation and Recycling*. 2017;116:32-44.
14. Liu J, Yu B, Wang Q. Application of steel slag in cement treated aggregate base course. *Journal of Cleaner Production*. 2020;269:121733.
15. Nhân TT. Nghiên cứu sự biến đổi tính chất cơ lý theo thời gian và môi trường thủy hóa nhằm định hướng sử dụng hợp lý xi hạt lò cao tại Hà Tĩnh; 2021.
16. Nhân TT. Xi gang và xi thép ở Việt Nam: Tổng quan và một số nghiên cứu theo định hướng sử dụng trong xây dựng. Hội nghị Khoa học toàn quốc ACEA-VIETGEO 2021; 2022.
17. Lâm TV. Nghiên cứu sử dụng phế thải xi luyện kim của nhà máy Gang thép - Thái Nguyên dùng làm phụ gia chế tạo bê tông trong các công trình xây dựng tại tỉnh Thái Nguyên (Mã số: T2010-04).

- Thái Nguyên: Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên; 2010.
18. Lâm TV, Hùng NX. Nghiên cứu sử dụng phế thải luyện kim làm cốt liệu chế tạo bê tông. Hội đập lớn và Phát triển nguồn nước Việt Nam; 2015.
 19. Bộ xây dựng. Chỉ dẫn kỹ thuật - xi gang và xi thép làm vật liệu xây dựng. Hà Nội: Viện vật liệu xây dựng; 2017.
 20. Hùng LV, Chương LT, Hưng LV, Linh VV, Tuấn PV. Nghiên cứu đánh giá sử dụng xi thép làm vật liệu cho lớp móng đường giao thông. Hà Nội: Viện Vật liệu xây dựng; 2018.
 21. Nhi TTH, Nhân TT, Quỳnh TTN, Trường PQ, Huy, PV, Đạt ĐP, et al. 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. 2024;24(2):133-144.
 22. Bộ xây dựng. Định mức dự toán xây dựng công trình – Phần Xây dựng (Công văn số 1776/BXD-VP). Hà Nội: Bộ xây dựng; 2007.
 23. Bộ xây dựng. Định mức vật tư trong xây dựng (Công văn số 1784/BXD-VP). Hà Nội: Bộ xây dựng; 2007.
 24. Bộ Khoa học và Công nghệ. Hỗn hợp bê tông và bê tông - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử (Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 3105:2022.) Hà Nội: Bộ Khoa học và Công nghệ; 2022.
 25. Bộ Khoa học và Công nghệ. Hỗn hợp bê tông - Phương pháp xác định độ sụt (Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 3106:2022). Hà Nội: Bộ Khoa học và Công nghệ; 2022.
 26. Bộ Khoa học và Công nghệ. Bê tông - Phương pháp xác định cường độ chịu nén (Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 3118:2022). Hà Nội: Bộ Khoa học và Công nghệ; 2022.
 27. Bộ Khoa học và Công nghệ. Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật (Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 7570:2006). Hà Nội: Bộ Khoa học và Công nghệ; 2006.
 28. Uemura R. Overview of slag usage technology development at various works. Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report; 2015. Report No.: 109/UDC669.1.054.82.
 29. Anastasiou EK, Liapis A, Papayianni I. Comparative life cycle assessment of concrete road pavements using industrial by-products as alternative materials. Resources, Conservation and Recycling. 2015;101:1-8.
 30. Toshiaki K, Chika K, Eiji K, Koichi T. Application of steelmaking slag to marine forest restoration. Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report; 2015. Report No.: 109/UDC669.184.28:639.64.
 31. Toshiaki K, Chika K, Eiji K. Study on Environmental impact evaluation of steelmaking slag using in coastal sea area. Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report; 2015. Report No.: 109/UDC669.054.82:639.25.
 32. Kazuhiro H, Naoto T, Yoshiyuki K, Keisuke S. Overview of iron/steel slag application and development of new utilization technologies. Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report; 2015 Report No.: 109/UDC669.1.054.82.