



# Đánh giá khả năng ứng dụng cốt liệu bê tông xi măng xỉ thép theo hướng phát triển bền vững

■ **ThS. VÕ XUÂN LÝ**

*Phân hiệu tại TP. Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải*

■ **TS. TRẦN HỮU BẰNG**

*Trường Đại học Thủ Dầu Một*

**TÓM TẮT:** Mục tiêu của xây dựng bền vững là giảm tác động đến môi trường của một hay nhiều công trình đã xây dựng trong suốt thời gian tồn tại của nó. Bê tông là vật liệu chính được sử dụng trong xây dựng. Do đó, việc sử dụng vật liệu phế thải trong việc sản xuất bê tông sẽ cho các ứng dụng khác nhau, có ý nghĩa kinh tế và môi trường. Bài báo trong nghiên cứu này là tóm tắt các khả năng ứng dụng cốt liệu xỉ thép hồ quang điện (EAF) sử dụng làm cốt liệu trong hỗn hợp bê tông xi măng và kiểm tra việc thực hiện nó trong lĩnh vực xây dựng. Nghiên cứu chỉ ra rằng, việc triển khai thực tế còn thiếu rất nhiều chỉ tiêu, đặc biệt là do thiếu khả năng kinh tế và nhận thức về các ứng dụng này vào thời điểm hiện tại.

**TỪ KHÓA:** Xỉ lò hồ quang điện (EAF), bê tông xi măng xỉ lò điện hồ quang (CEAFS), tái chế, xây dựng bền vững.

**ABSTRACT:** The purpose of sustainable construction is to minimize a building or structure's environmental impact over its lifetime. The most common material utilized in interior design is concrete. As a result, using waste materials in the manufacturing of concrete will yield a variety of applications, each with its own set of economic and environmental repercussions. The article in this study analyzes the application potential of electric arc steel slag aggregate (EAF) utilized as aggregate in cement concrete mixes. According to research, many of the indicators are still missing in practice, owing to the current lack of economic viability and knowledge of these applications.

**KEYWORDS:** Electric Arc Furnace Slag (EAF), electric Arc Furnace Slag concrete (CEAFS), recyclable, sustainable construction.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thép là một trong những vật liệu xây dựng phổ biến nhất trên thế giới. Hợp kim này thường được sử dụng làm giá đỡ cho các khung kết cấu của tất cả các loại công trình, từ các tòa nhà chọc trời đến xây dựng đường cao tốc. Lý do chính tại sao thép được sử dụng phổ biến như vậy chỉ đơn giản là do sự kết hợp độc đáo của sức mạnh, độ bền, khả năng làm việc và chi phí. Tuy nhiên, trong khi là một

trong những ngành công nghiệp lớn nhất thế giới, ngành sản xuất thép được biết đến là ngành có tác động tiêu cực đáng kể đến môi trường [1]. Mặc dù thép có thể được sản xuất thông qua tái chế sắt vụn, các nhà nghiên cứu đã ước tính rằng khoảng hai tỷ tấn quặng sắt và một tỷ tấn than luyện kim được sử dụng trong ngành công nghiệp thép toàn cầu mỗi năm. Dựa trên các báo cáo trước đây, khoảng 190 - 290 triệu tấn xỉ thép được tạo ra hàng năm. Phần lớn xỉ thép toàn cầu cuối cùng sẽ được xử lý, chỉ một phần nhỏ được tái chế. Các nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, tỷ lệ tái chế xỉ thép nhìn chung vẫn thấp hơn nhiều ở các nước châu Á [2].

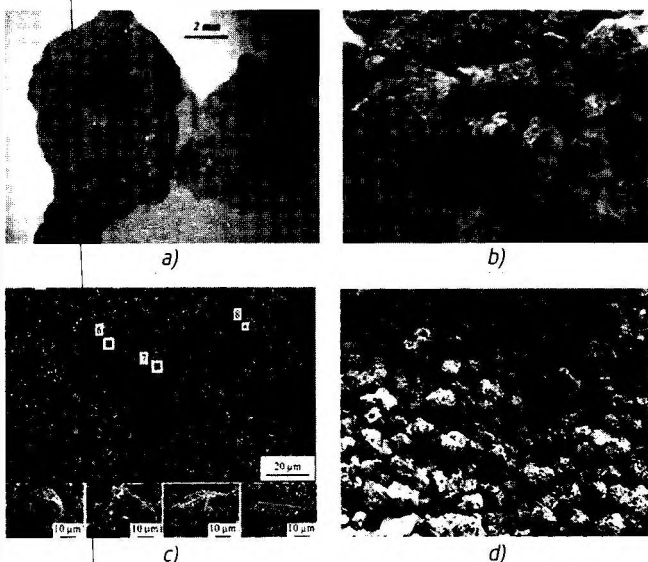
Với khả năng duy trì sự sống của trái đất đang bị xói mòn từng ngày, nhu cầu cấp thiết là phải giảm lượng chất thải được tạo ra và bảo tồn các nguồn tài nguyên không thể tái tạo. Do đó, mục tiêu chính của đánh giá này là đánh giá tiềm năng tái chế xỉ thép của EAF, đặc biệt là đối với ngành sản xuất thép của Malaysia. Các phương án tái chế xỉ thép khả thi đã được đánh giá dựa trên các đặc tính kỹ thuật. Hơn nữa, phát triển bền vững đã được đề cao trong những năm qua. Người ta thường biết rằng, các quốc gia có trình độ phát triển con người cao hơn có xu hướng gặp phải các vấn đề môi trường nghiêm trọng [3]. Nhìn chung, nghiên cứu của các tác giả sử dụng bê tông xi măng xỉ lò hồ quang (CEAFS) mô tả độ bền, đặc biệt là sự tấn công của môi trường xâm thực cacbonat và sunphat của bê tông cốt liệu xỉ thép. Các nhà nghiên cứu ở Ý [4] đã thử nghiệm độ bền của CEAFS về khả năng đóng băng và rã đông, làm ướt và làm khô, cũng như tăng tốc độ lão hóa trong nước nóng. Họ đi đến kết luận rằng nó có thể so sánh với bê tông tiêu chuẩn.

Tại Việt Nam, do tác động môi trường nghiêm trọng của xỉ thép và khối lượng lớn xỉ thép dư thừa đã hạn chế việc ứng dụng vật liệu này, ví dụ khu vực tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu ở miền Đông Nam bộ nhận được khoảng 3,75 triệu tấn phôi hàng năm từ sản xuất thép, sản lượng xỉ thép hàng năm đã tăng gần gấp đôi lên 412.000 - 562.000 tấn [5]. Xỉ thép được xem là chất thải rắn thuần túy và nó phải được xử lý như một dạng chất thải rắn theo Nghị định số 59/2007/NĐ-CP ngày 09/4/2007 của Thủ tướng Chính phủ [6]. Kết quả của nghiên cứu này sẽ giúp tận dụng nguồn vật liệu xỉ thép EAF một cách hiệu quả cũng như hỗ trợ sản xuất CEAFS, đồng thời góp phần bảo vệ môi trường theo hướng phát triển bền vững.

## 2. TÍNH CHẤT VẬT LÝ CỦA XỈ EAF

Xỉ EAF thô thường xuất hiện dưới dạng cục màu xám hoặc đen, tùy thuộc vào hàm lượng oxit sắt của nó loại xi

này thường có kết cấu bề mặt thô, với đường kính lỗ bề mặt từ 0,01 - 10  $\mu\text{m}$  [7]. Ví dụ về xỉ EAF từ các quốc gia khác nhau được thể hiện trong Hình 2.1. Xỉ EAF thường được phân loại là các loại cốt liệu có kích thước hạt từ 5 - 40 mm và có bề ngoài tương tự như các loại cốt liệu thường được sử dụng trong ngành Xây dựng [8]. Được biết, xỉ EAF từ các khu vực khác nhau và các nhà sản xuất khác nhau có thể có hình dạng và tính chất vật lý khác nhau, tùy thuộc vào thành phần của phế liệu thép được sử dụng làm nguyên liệu cấp, loại lò, cấp thép và quy trình tinh luyện.



Hình 2.1: Các mẫu xỉ EAF từ các nước khác nhau. (a) Ý [8]; (b) Malaysia [9]; (c) Trung Quốc [10]; (d) Tây Ban Nha [11]  
 Sự biến đổi màu sắc của xỉ thép EAF là do các thành phần hóa học và điều kiện oxy hóa khác nhau

Độ hút nước và tỷ trọng của xỉ EAF từ các nguồn khác nhau (bao gồm cả Malaysia) được trình bày trong Bảng 2.1. Từ bảng này, độ hút nước của xỉ EAF vào khoảng 0,5 - 4,0%, trong khi trọng lượng riêng của nó nằm trong khoảng 2,8 - 3,9  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Mặc dù người ta thường đồng ý rằng xỉ EAF xốp hơn sẽ có giá trị hấp thụ nước cao hơn, nhưng điều này không nhất thiết dẫn đến mật độ cao hơn. Thay vào đó, xỉ EAF với hàm lượng sắt cao hơn có thể có tỷ trọng cao hơn.

Bảng 3.1. Thành phần hóa học điển hình của xỉ EAF được một số nhà nghiên cứu báo cáo

| Nguồn xỉ EAF | Loại thép     | Thành phần hóa học |          |                  |                                |       |                  | Nguồn trích dẫn |
|--------------|---------------|--------------------|----------|------------------|--------------------------------|-------|------------------|-----------------|
|              |               | CaO                | Total Fe | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO   | M <sub>n</sub> O |                 |
| Iran         | -             | 34,0               | 25,0     | 14,0             | 5,00                           | 14,00 | 2,00             | [17]            |
| Pháp         | Thép không gỉ | 41,70              | 0,540    | 34,70            | 6,26                           | 9,06  | 2,15             | [13]            |
| Tây Ban Nha  | Thép Carbon   | 27,70              | 26,8     | 19,10            | 13,70                          | 2,50  | 5,30             | [18]            |
| Trung Quốc   | Thép không gỉ | 43,20              | 7,54     | 27,80            | 2,74                           | 7,35  | 0,68             | [10]            |
| Malaysia     | -             | 26,20              | 28,60    | 18,10            | 5,88                           | 5,80  | 4,14             | [9]             |
| Việt Nam     | Thép Carbon   | 25,90              | 34,70    | 16,30            | 8,31                           | 6,86  | 5,18             | [14]            |
| Việt Nam     | Thép Carbon   | 25,49              | 40,36    | 14,60            | 7,25                           | 6,62  | 3,70             | [15]            |
| Việt Nam     | Thép Carbon   | 28,40              | 40,10    | 13,70            | 6,60                           | 6,70  | 4,10             | [16]            |

#### 4. CÁC NGHIÊN CỨU CỐT LIỆU BÊ TÔNG XI MĂNG XI THÉP TRÊN THẾ GIỚI VÀ VIỆT NAM

Một nghiên cứu trước đây về bê tông cốt sợi làm từ xỉ lò điện hồ quang (CEAFS) và được sử dụng trong các tấm

Bảng 2.1. Độ hút nước và tỷ trọng của xỉ lò điện hồ quang (EAF) được báo cáo trong các nghiên cứu khác nhau

| Độ hút nước (%) | Trọng lượng riêng ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | Quốc gia | Nguồn trích dẫn |
|-----------------|--|----------|-----------------|
| 2,0             | 1,54 - 2,90                                  | Ấn Độ    | [12]            |
| 2,6             | 2,8  | Pháp     | [13]            |
| 2,93            | 3,40   | Viet Nam | [14]            |
| 2,40            | 3,50   | Viet Nam | [15]            |
| 2,30            | 3,60   | Viet Nam | [16]            |

Tại Việt Nam, ứng dụng của xỉ thép trong xây dựng ở khu vực phía Nam đã được Công ty TNHH Vật Liệu Xanh đầu tư nhà máy sản xuất vật liệu xây dựng từ xỉ lò điện hồ quang tại Khu công nghiệp Phú Mỹ 1, huyện Tân Thành, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. Quy trình sản xuất của nhà máy như sau: xỉ thép được thu gom từ các nhà máy luyện thép được đưa vào thiết bị nghiền, sàng và tuyển từ; thành phẩm được đưa ra bãi chứa, khả năng ứng dụng vào cốt liệu cho bê tông xi măng đã được các tác giả trong nước nghiên cứu [14,15]. Tác giả Hoàng Anh Giáp [16] đã nghiên cứu thực nghiệm và ứng dụng vật liệu xỉ thép làm lớp móng đường ô tô cấp III.

#### 3. THÀNH PHẦN HÓA HỌC CỦA XỈ EAF

Thành phần hóa học của xỉ EAF được phân tích phổ biến nhất bằng phương pháp quang phổ huỳnh quang tia X (XRF). Phần trăm khối lượng của từng nguyên tố có trong xỉ EAF, theo báo cáo của một số nguồn bao gồm cả Malaysia, được trình bày trong Bảng 3.1. Trong bảng này, các loại oxit sắt khác nhau (ví dụ: FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hoặc Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) trong xỉ EAF được biểu thị dưới dạng tổng số Fe (FeO). Các nguyên tố chính trong xỉ EAF là oxit sắt (Fe), canxi (Ca), silic (Si) và nhôm (Al), trong khi các nguyên tố phụ trong xỉ EAF là oxit magie (Mg) và mangan (M<sub>n</sub>), mặc dù cần lưu ý rằng các nguyên tố vi lượng trong xỉ EAF với% trọng lượng <1,0% như chì (Pb), photpho (P) và florua (F) không được đưa vào Bảng 3.1. Do đó, để đảm bảo tính đại diện toàn diện của mẫu xỉ và độ tái lập của phép phân tích, một phương pháp lấy mẫu thích hợp phải được thực hiện trước khi tái chế.



mặt đường đã được một số tác giả của nghiên cứu này công bố gần đây [19]. Tuy nhiên, các câu hỏi về độ bền vật lý và hóa học của những loại bê tông này đã chưa được giải quyết trong nghiên cứu và đây là chủ đề của nghiên cứu sự hiện diện của xỉ trong sản xuất thép và ảnh hưởng của chúng.

CEAFS đã được khám phá như một cấp phối bê tông cho nhiều loại bê tông khác nhau. Tại thời điểm 3, 7 và 28 ngày, cường độ nén được đánh giá. Khi 15% xỉ măng được thay thế bằng xỉ EAF, sự phát triển cường độ của bê tông xỉ EAF chậm hơn so với thông thường ở tuổi sơ khai, nhưng không có sự sụt giảm cường độ đáng kể nào sau 28 ngày [20].

Khi bê tông tiếp xúc với nhiệt độ cao, nghiên cứu này phân tích hành vi sử dụng CEAFS như một chất thay thế một phần hoặc toàn bộ cốt liệu thô theo trọng lượng với các tỷ lệ phần trăm khác nhau là 0%, 15%, 30%, 50% và 100% [21]. Nghiên cứu đã xem xét việc sử dụng xỉ thép để thay thế cốt liệu tự nhiên trong bê tông các mức thay thế là 25%, 50%, 75% và 100%. Độ bền nén, độ bền kéo đứt gãy và độ bền uốn, độ xốp và hệ số thấm nước... được thí nghiệm [22].

Ở Việt Nam, xỉ thép cũng đã được một số nhà nghiên cứu thực nghiệm làm cốt liệu cho bê tông mặt đường bê tông đầm lăn của ba tổ hợp cốt liệu thô khác nhau đã được sử dụng: 100% đá dăm (nhóm A), 50% đá dăm và 50% xỉ EAF (nhóm B) và 100% EAF xỉ (nhóm C). Tro bay (Loại F) được sử dụng như một chất thay thế ba phần trăm cho xỉ măng trong mỗi loại cốt liệu (tức là 0%, 20% và 40%) [14]. Nghiên cứu của tác giả Huu-Bang Tran cũng đã chỉ ra rằng: cốt liệu xỉ thép có khả năng thay thế 50% và 100% đá dăm trong hỗn hợp bê tông xỉ măng. Trong công trình nghiên cứu này, tác giả cũng đã minh chứng các kết quả về độ bền nén, kéo uốn và mô-đun đàn hồi... của bê tông xỉ măng sử dụng cốt liệu xỉ thép [15]. Ngoài ra, khu vực miền Đông Nam bộ nói chung và khu vực tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu nói riêng cũng đã có tác giả Hoàng Anh Giáp [16] cũng đã minh chứng rằng, xỉ thép hoàn toàn có thể làm vật liệu san lấp. Công trình của tác giả đưa ra thực nghiệm ứng dụng móng đường cấp III khu vực tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu (Hình 4.1). Đây là một bước ngoặt lớn nhằm nghiên cứu rộng hơn khả năng ứng dụng nguồn vật liệu phế thải xỉ thép trong lĩnh vực xây dựng.



Hình 4.1: Công tác tập kết vật liệu chuẩn bị thi công đoạn tuyến thực nghiệm [16]

## 5. ĐỀ XUẤT PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG SỬ DỤNG NGUỒN VẬT LIỆU PHẾ THẢI TRONG XÂY DỰNG

Việc thực hiện xây dựng bền vững ở trong nước còn hạn chế do cách nhìn nhận về về nguồn vật liệu tái chế một cách chưa thiết thực về công nghệ bền vững. Nghiên cứu cho thấy, các cấp chính quyền và địa phương vẫn chưa nhiệt tình trong việc thực hiện các dự án công trình xanh.

Để khuyến khích các dự án xây dựng bền vững trong nước, tác giả cho rằng cần tạo ra các điều kiện và khuyến khích để các bên liên quan trong ngành; tích cực theo đuổi các dự án có sử dụng nguồn vật liệu tái chế, thông qua các chính sách của chính phủ, hệ thống xếp hạng và phối hợp với các đối tác chính, chẳng hạn như năng lực doanh nghiệp, tài chính...

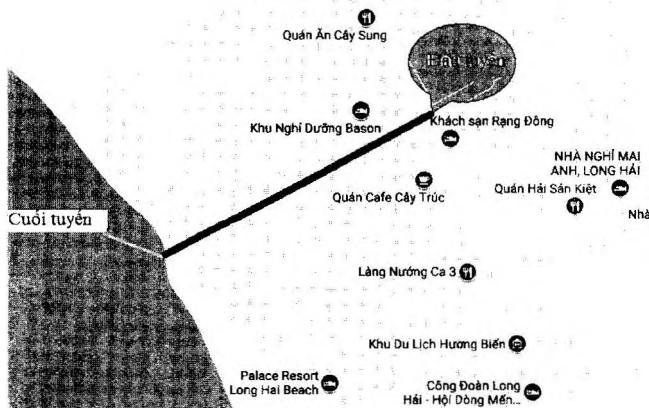
Tính khả thi của việc sử dụng các vật liệu phế thải khác nhau, bao gồm cả bê tông tái chế xỉ thép, được đánh giá dựa trên sự tham khảo của vấn đề môi trường liên quan. Tác giả tin rằng, việc đưa chất thải tái chế vào sản xuất bê tông sẽ đạt hiệu suất cao, có thể là một đóng góp đáng kể cho một ngành công nghiệp xây dựng bền vững.

Nhiệm vụ của kỹ sư và nhà nghiên cứu là phải đánh giá xem có nên sử dụng một hoặc nhiều vật liệu phế thải có sẵn để sản xuất bê tông mới (bê tông cốt liệu xỉ thép) cho một dự án cụ thể hay không, nhằm khẳng định một cách thiết thực khả năng ứng dụng của vật liệu tái chế nói chung và bê tông xỉ măng sử dụng cốt liệu xỉ thép nói riêng một cách hiệu quả nhất.

## 6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đề xuất các kết luận sử dụng nguồn vật liệu phế thải xỉ thép khu vực miền Đông Nam bộ như sau:

- Cần có một cơ quan nghiên cứu đầy đủ về cốt liệu bê tông tái chế (cốt liệu xỉ thép) và việc ứng dụng nó, hiện nay chủ yếu được thực hiện bởi các cá nhân trong các tổ chức nghiên cứu và học thuật;
- Hầu hết các nghiên cứu được khảo sát đều xem xét các đặc tính cơ học và độ bền của cốt liệu tái chế mà ít tập trung vào vấn đề tuổi thọ và khả năng ảnh hưởng đến môi trường trong một thời gian dài;
- Có rất ít nghiên cứu về tính khả thi về kinh tế và ý nghĩa tài chính của việc tái chế và tái sử dụng bê tông sử dụng cốt liệu xỉ thép trong các ứng dụng xây dựng;
- Nghiên cứu về tác động môi trường của việc sử dụng vật liệu tái chế trong xây dựng hiếm khi được đề cập đến;
- Các ứng dụng thực tế của việc sử dụng chất thải xây



dụng tái chế vẫn còn sơ khai và cần một số nỗ lực lớn để thu hút các nhà đầu tư vào ngành này;

- Hiện vẫn chưa có tiêu chuẩn, thông số kỹ thuật để ra của các cấp chính quyền về chế biến và sử dụng cốt liệu tái chế cũng như chỉ dẫn kỹ thuật một cách cụ thể, nhằm đảm bảo tận dụng được tối đa nguồn vật liệu xỉ thép vào trong lĩnh vực xây dựng mà không chứa chất gây hại ảnh hưởng đến môi trường và sức khỏe con người.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Schino, A.D. (2018), *Environmental Impact of Steel Industry*, In Handbook of Environmental Materials Management, Springer International Publishing: Cham, Switzerland, pp.1-21.
- [2]. Li, C.-C.; Lin, C.-M.; Chang, Y.-E.; Chang, W.-T.; Wu, W. (2020), *Stabilization and Crystal Characterization of Electric Arc Furnace Oxidizing Slag Modified with Ladle Furnace Slag and Alumina*, Metals, vol.10, p.501.
- [3]. Yumashev, A.; Ślusarczyk, B.; Kondrashev, S.; Mikhaylov, A. (2020), *Global Indicators of Sustainable Development: Evaluation of the Influence of the Human Development Index on Consumption and Quality of Energy*, Energies, vol.13, p. 2768.
- [4]. C. Pellegrino, V. Gaddo (2009), *Mechanical and durability characteristics of concrete containing EAF slag as aggregate*, Cem. Concr. Compos., vol.31, no.9, pp.663-671.
- [5]. Tran, A.T.; Tran, G.H.; Nguyen, N.T.H.; Nguyen, K.S. (2019), *Characterization of carbonated steelmaking slag and its potential application in construction*, Vietnam J. Sci. Technol, vol.61, p.57.
- [6]. Quyết định số 145/2007/QĐ-TTg ngày 04/9/2007 của Thủ tướng Chính phủ về việc, "Phê duyệt quy hoạch phát triển ngành thép Việt Nam giai đoạn 2007 - 2015, có xét đến năm 2025".
- [7]. Monosi, S.; Ruello, M.L.; Sani, D. (2016), *Electric arc furnace slag as natural aggregate replacement in concrete production*, Cem. Concr. Compos., vol.66, pp.66-72.
- [8]. Suh, M.; Troese, M.J.; Hall, D.A.; Yasso, B.; Yzenas, J.J.; Proctor, D.M. (2014), *Evaluation of electric arc furnace-processed steel slag for dermal corrosion, irritation, and sensitization from dermal contact*, J. Appl. Toxicol., vol.34, pp.1418-1425.
- [9]. Cheah, C.B.; Jasme, N. (2018), *Preliminary Study on Properties of Supersulfated Flowable Mortars Containing Electric Arc Furnace Slag as Fine Aggregate*, Int. J. Eng. Technol., vol.7, pp.371-374.
- [10]. Saly, F.; Guo, L.; Ma, R.; Gu, C.; Sun, W. (2018), *Properties of Steel Slag and Stainless Steel Slag as Cement Replacement Materials: A Comparative Study*, Wuhan Univ. Technol. Sci. Ed., vol.33, pp.1444-1451.
- [11]. Skaf, M.; Manso, J.M.; Aragón, Á.; Fuente-Alonso, J.A.; Ortega-López, V. (2017), *EAF slag in asphalt mixes: A brief review of its possible re-use*, Resour. Conserv. Recycl., vol.120, pp.176-185.
- [12]. Sekaran, A.; Palaniswamy, M.; Balaraju, S. (2015), *A Study on Suitability of EAF Oxidizing Slag in Concrete: An Eco-Friendly and Sustainable Replacement for Natural Coarse Aggregate*, Sci. World J., pp.1-8.
- [13]. Adegoloye, G.; Beaucour, A.-L.; Ortola, S.; Noumowe, A. (2016), *Mineralogical composition of EAF slag and stabilised AOD slag aggregates and dimensional stability of slag aggregate concretes*, Constr. Build. Mater., vol.115, pp.171-178.
- [14]. Lam, M.N.-T.; Le, D.-H.; Jaritngam, S. (2018), *Compressive strength and durability properties of roller-compacted concrete pavement containing electric arc furnace slag aggregate and fly ash*, Constr. Build. Mater, vol.191, pp.912-922.
- [15]. Huu-Bang Tran (2021), *Mechanical Properties of Coarse Aggregate Electric Arc Furnace Slag in Cement Concrete*, Civil Engineering Journal, vol.7, no.10, pp.1716-1730.
- [16]. Hoàng Anh Giáp (2017), *Nghiên cứu sử dụng xỉ thép trong xây dựng móng đường ô tô trên địa bàn tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu*, Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học GTVT.
- [17]. Badiie, H.; Maghsoudipour, A.; Raissi Dehkordi, B. (2008), *Use of Iranian steel slag for production of ceramic floor tiles*, Adv. Appl. Ceram., vol.107, pp.111-115.
- [18]. Fuente-Alonso, J.A.; Ortega-López, V.; Skaf, M.; Aragón, Á.; San-José, J.T. (2017), *Performance of fiber-reinforced EAF slag concrete for use in pavements*, Constr. Build. Mater., vol.149, pp.629-638.
- [19]. J.A. Fuente-Alonso, V. Ortega-López, M. Skaf, A. Aragón, J.T. San-José (2017), *Performance of fiber-reinforced eaf slag concrete for use in pavement*, Constr. Build. Mater., vol.149, pp.629-638.
- [20]. Jin-Young Lee, Jin-Seok Choi, Tian-Feng Yuan, Young-Soo Yoon, and Denis Mitchell (2019), *Comparing Properties of Concrete Containing Electric Arc Furnace Slag and Granulated Blast Furnace Slag*, Materials, vol.12.
- [21]. Yousef R.A Iharbi, Aref A.Abadel, NourhanElsayed, OlaMayhoub and MohamedKohail (2021), *Mechanical properties of EAFS concrete after subjected to elevated temperature after subjected to elevated temperature*, Ain Shams Engineering Journal, vol.12, pp.1305-1311.
- [22]. Shunxiang Wang, Guofang Zhang, BoWang, and Min Wu (2020), *Mechanical strengths and durability properties of pervious concretes with blended steel slag and natural aggregate*, Journal of Cleaner Production, vol.271, p.122590.

**Ngày nhận bài: 01/11/2021**

**Ngày chấp nhận đăng: 15/12/2021**

**Người phản biện: TS. Vũ Việt Hưng**

**TS. Nguyễn Văn Dụ**