

Ảnh hưởng của tro bay và xỉ lò cao đến độ rỗng và khả năng chống thấm ion clo của bê tông hạt nhỏ

Effects of fly ash and ground granulated blast furnace slag on the porosity and chloride ion penetration resistance of fine-grained concrete

> TS NGÔ ĐỨC CHINH*, PGS.TS NGUYỄN THANH SANG

Trường Đại học Giao thông vận tải

*Email: chinhd@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày ảnh hưởng của tro bay (TB) và xỉ lò cao (XLC) đến độ rỗng và khả năng chống thấm ion clo của bê tông hạt nhỏ (BTHN). Trong nghiên cứu này, TB được sử dụng với hàm lượng 30%, XLC được sử dụng với hàm lượng 15 - 45% thay thế xi măng (XM) theo khối lượng. Kết quả thực nghiệm chỉ ra rằng, TB và XLC làm giảm độ rỗng và tăng khả năng chống thấm ion clo của BTHN. Hàm lượng TB và XLC thay thế XM càng lớn thì độ rỗng của bê tông càng giảm và khả năng chống thấm ion clo của bê tông càng tăng. Khi lượng TB và XLC thay thế đến 75% hàm lượng XM, độ rỗng của bê tông giảm từ 12,63% xuống còn 5,87%; điện lượng truyền qua mẫu từ 3067 Coulomb giảm xuống còn 505 Coulomb. Kết quả nghiên cứu còn cho thấy, XLC có hiệu quả cao hơn TB trong việc giảm độ rỗng và tăng khả năng chống thấm ion clo của BTHN, qua đó làm tăng độ bền cho bê tông.

Từ khóa: Bê tông hạt nhỏ; tro bay; xỉ lò cao; độ rỗng; khả năng chống thấm ion Clo.

ABSTRACT

This article presents the effects of fly ash (FA) and ground

granulated blast furnace slag (GGBFS) on the porosity and chloride ion penetration resistance of fine-grained concrete (FGC). In this study, FA was used at a replacement level of 30%, while GGBFS was incorporated at replacement levels ranging from 15% to 45% by mass of cement. Experimental results indicate that the incorporation of FA and GGBFS reduces the porosity and enhances the resistance of FGC to chloride ion penetration. Higher replacement levels of cement with FA and GGBFS result in a further reduction in concrete porosity and a corresponding improvement in chloride ion penetration resistance. When the combined replacement level of FA and GGBFS reached 75% of the cement content, the concrete porosity decreased from 12.63% to 5.87%, while the total electrical charge passed through the specimens was reduced from 3067 Coulombs to 505 Coulombs. The results also show that GGBFS is more effective than FA in reducing porosity and improving chloride ion penetration resistance of fine-grained concrete, thereby enhancing its durability.

Keywords: Fine-grained concrete; fly ash; blast furnace slag; porosity; chloride ion penetration resistance.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, TB từ các nhà máy nhiệt điện than và XLC từ ngành luyện kim là hai loại phế thải công nghiệp được phát sinh với khối lượng lớn trên phạm vi toàn cầu cũng như tại Việt Nam. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng lượng phát thải TB và XLC ngày càng gia

tăng cùng với sự phát triển của ngành năng lượng và công nghiệp luyện kim, gây áp lực lớn lên môi trường nếu không được quản lý và tái sử dụng hợp lý [1-3].

Theo Quy hoạch phát triển điện lực quốc gia thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050 (Quy hoạch điện VIII), nhiệt điện than

vẫn giữ vai trò nhất định trong cơ cấu nguồn điện quốc gia đến năm 2030, nhiệt điện than vẫn chiếm tỷ trọng lớn, khoảng 51,6% trong cơ cấu nguồn điện quốc gia. Dự báo mỗi năm khoảng 200 triệu tấn than sẽ được tiêu thụ cho sản xuất điện, kéo theo lượng tro xỉ phát sinh lên đến gần 40 triệu tấn [4]. Nếu không được xử lý và tái sử dụng hiệu quả, khối lượng phế thải này sẽ chiếm dụng diện tích đất lớn cho bãi thải, đồng thời tiềm ẩn nguy cơ ô nhiễm môi trường đất, nước và không khí.

Việc nghiên cứu và tận dụng TB và XLC làm vật liệu xây dựng, đặc biệt là phụ gia khoáng cho bê tông, không chỉ góp phần giảm thiểu ô nhiễm môi trường và bảo vệ tài nguyên thiên nhiên mà còn mang lại hiệu quả kinh tế rõ rệt. Nhiều công bố khoa học cho thấy việc sử dụng các phế thải công nghiệp này giúp giảm tiêu thụ XM, giảm phát thải CO₂ đồng thời cải thiện một số tính chất kỹ thuật và độ bền của bê tông [5-7].

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu thực nghiệm đã khẳng định ảnh hưởng tích cực của TB và XLC đối với các chỉ tiêu này. Mehta [8] và Neville [9] đều chỉ ra rằng việc thay thế một phần XM bằng TB hoặc XLC làm tăng mật độ vi cấu trúc, giảm độ rỗng và hạn chế sự xâm nhập của ion clo qua mạng mao dẫn bê tông. Wang và cộng sự [10] quan sát thấy bê tông cường độ cao kết hợp TB và XLC cho độ thấm clo thấp hơn đáng kể so với bê tông không bổ sung phụ gia khoáng. Tương tự, Chore & Joshi [11] chỉ ra rằng sự kết hợp này làm giảm điện lượng truyền qua mẫu trong thử nghiệm ASTM C1202, biểu thị khả năng chống thấm ion clo được cải thiện rõ rệt.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu gần đây cũng nhất quán với kết quả của các nghiên cứu nước ngoài. Tác giả Lê Thanh Hà và cộng sự [12-13] cho thấy khi tăng hàm lượng TB trong hỗn hợp BTHN, độ rỗng giảm đáng kể và khả năng chống thấm nước, chống thấm ion clo được nâng cao, tạo nên sự bền vững của cấu kiện bê tông. Tăng Văn Lâm, Nguyễn Đình Trinh [14] tập trung vào XLC hoạt tính, ghi nhận việc thay thế đến một tỷ lệ nhất định giúp giảm độ rỗng và tăng chỉ số chống thấm ion. Hồ Văn Quân và cộng sự [15] cũng chứng minh bê tông kết hợp TB + XLC có cấu trúc mao quản chặt hơn, giảm thiểu sự xâm thực của clo so với bê tông đối chứng.

Nhìn chung, cả TB và XLC đều góp phần giảm độ rỗng và cải thiện khả năng chống thấm ion clo của BTHN, với XLC cho hiệu quả hơn do khả năng phản ứng pozzolanic cao và kích thước hạt phù hợp hơn, từ đó nâng cao độ bền của bê tông trong điều kiện xâm thực.

Bài báo trình bày ảnh hưởng của TB và XLC đến độ rỗng và khả năng chống thấm của BTHN. TB được thay thế XM với hàm lượng 30% theo khối lượng, XLC được thay thế XM từ 15 - 45% theo khối lượng.

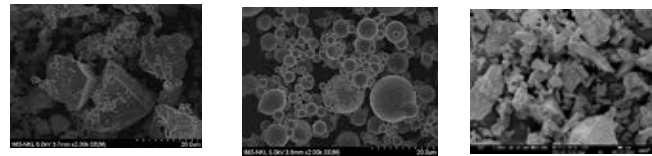
2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu chế tạo

Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu gồm: XM Bút Sơn PC40, TB nhiệt điện Phả Lại, XLC nghiền mịn Hòa Phát, cát mịn có kích thước hạt < 0,63 mm, cát thô sông Lô có kích thước hạt < 5,0 mm và phụ gia siêu dẻo của hãng Sika (PGSD-3000 20M). Bảng 1 là các chỉ tiêu cơ lý cơ bản của XM, TB và XLC. Cấu trúc hạt của XM PC40, TB và XLC dưới kính hiển vi điện tử được trình bày trong Hình 1.

Bảng 1. Chỉ tiêu cơ lý cơ bản của XM, TB và XLC

Chỉ tiêu	XM	TB	XLC
Khối lượng riêng (g/cm ³)	3,1	2,24	2,89
Kích thước hạt trung bình (μm)	14,12	16,42	7,87



Hình 1. Cấu trúc hạt lần lượt của XM, TB và XLC dưới kính hiển vi điện tử SEM

2.2. Thành phần cấp phối BTHN

Thành phần cấp phối của BTHNTNC nghiên cứu sau tính toán được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Thành phần cấp phối của BTHN nghiên cứu

Hỗn hợp	XM (kg)	TB (kg)	XLC (kg)	N (kg)	PGSD (kg)	Cát mịn (kg)	Cát thô (kg)
100XM	745	0	0	209	14,90	438	1.022
0TB30XLC	521	0	223	209	11,92	438	1.022
30TB0XLC	521	223	0	209	9,68	438	1.022
30TB15XLC	410	223	112	209	8,94	438	1.022
30TB30XLC	298	223	223	209	8,19	438	1.022
30TB45XLC	186	223	335	209	7,45	438	1.022

2.3. Phương pháp nghiên cứu

- *Các phương pháp thí nghiệm:* Trong nghiên cứu này, các phương pháp thí nghiệm tiêu chuẩn được sử dụng để xác định các tính chất cơ lý của các thành phần cấp phối và các tính chất của hỗn hợp bê tông và BTHN cường độ cao. Các phương pháp thí nghiệm tiêu chuẩn gồm: TCVN 141:2023, XM - Phương pháp phân tích hóa học; TCVN 8262:2009, TB - Phương pháp phân tích hóa học; TCVN 7572 - 2:2006 cốt liệu cho bê tông và vữa - phương pháp thử - Phần 2: Xác định thành phần hạt; ASTM C0642-1: Xác định độ rỗng của bê tông; ASTM C1202-19: Xác định độ thấm ion clo bằng phương pháp đo điện lượng.

- *Quy trình trộn:* Vật liệu sau khi được cân đúng đủ khối lượng cho 1 mẻ trộn thì tiến hành trộn. Máy trộn được sử dụng là máy trộn vữa cường bức. Đối với phương pháp trộn hỗn hợp BTHN, độ chảy cao, thời gian trộn thường dài hơn so với bê tông và vữa thường. Sau khi được trộn sơ bộ, hỗn hợp hạt rắn (cát thô, cát mịn, XM, TB và XLC) được nhào trộn với nước, sau đó trộn PGSD và nước vào hỗn hợp theo quy trình dưới đây (Hình 2).



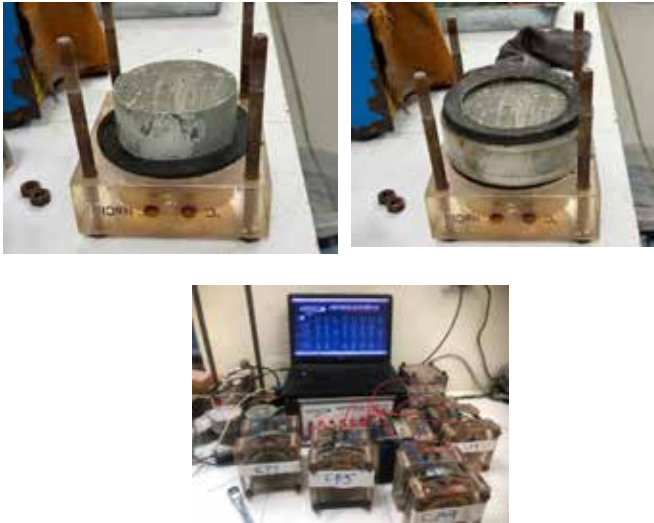
Hình 2. Quy trình trộn hỗn hợp BTHNTNC

- *Đo độ rỗng của BTHN:* Sử dụng tiêu chuẩn ASTM C 642-1. Thí nghiệm được thực hiện trên 3 nửa mẫu BTHN có đường kính 100 mm và chiều dày 50 mm được cắt ra từ mẫu hình trụ (100x200)cm ở 28 ngày tuổi. Một số bước quá trình đo độ rỗng của BTHN được thể hiện trên Hình 3.



Hình 3. Quy trình đo độ rỗng của BTHN

- *Đo khả năng chống thấm của BTHN*: Thí nghiệm đo khả năng chống thấm ion clorua của BTHN được thực hiện dựa trên tiêu chuẩn ASTM C1202-19. Thí nghiệm được thực hiện trên 3 mẫu có đường kính 100 mm và chiều dày 50 mm được cắt ra từ mẫu hình trụ (100x200)cm ở 28 ngày tuổi. Mặt bên của mẫu được sơn phủ bằng epoxy. Sau khi được bão hòa nước trong bình hút chân không, mẫu được lắp vào các khoang có chứa dung dịch NaCl 3% và NaOH 0,3N. Tổng số cu-lông truyền qua mẫu dưới hiệu điện thế 60 V trong 6 tiếng được sử dụng để đánh giá khả năng thấm ion clorua của bê tông. Một số bước quá trình đo khả năng chống thấm ion clo của BTHN được thể hiện trên Hình 4.



Hình 4. Quy trình đo độ chống thấm ion clo của BTHN

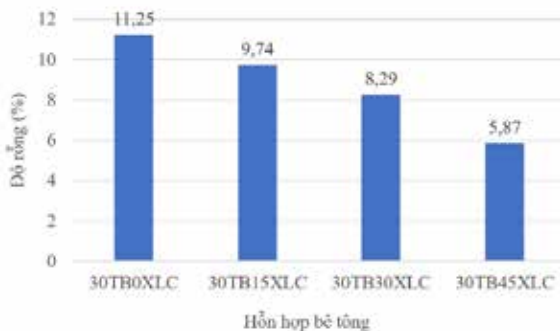
3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của TB và XLC đến độ rỗng của BTHN

Kết quả cho thấy, khi lượng TB thay thế XM được giữ ổn định ở mức 30% thì độ rỗng của BTHN giảm dần khi hàm lượng XLC tăng từ 0 - 45%. Sự ảnh hưởng của XLC đến độ rỗng của BTHN khi hàm lượng XLC thay thế từ 0 - 45% tỉ lệ thuận, khá tuyến tính với sự suy giảm độ rỗng của bê tông. Kết quả ảnh hưởng của TB và XLC đến độ rỗng của BTHN được thể hiện trên Bảng 3 và Hình 5.

Bảng 3. Ảnh hưởng của TB và XLC đến độ rỗng của BTHN

Hỗn hợp	Độ rỗng (%)
30TB0XLC	11,25
30TB15XLC	9,74
30TB30XLC	8,29
30TB45XLC	5,87



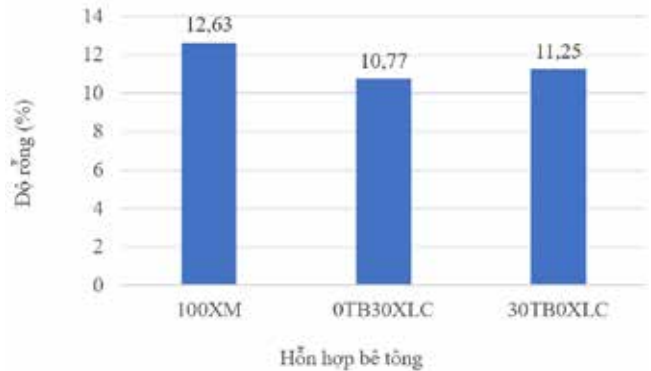
Hình 5. Ảnh hưởng của TB và XLC đến độ rỗng của BTHN

Với kết quả trên có thể lý giải rằng, khối lượng riêng của TB < XLC < XM (Bảng 1), nên khi TB và XLC thay thế một khối lượng XM tương đương thì tổng khối lượng của chất kết dính không đổi, nhưng thể tích hồ chất kết dính sẽ tăng lên, tức là tỷ lệ thể tích của hồ và cốt liệu sẽ tăng lên, tăng tính công tác của bê tông, giúp các lỗ rỗng có thể dễ dàng được lấp đầy bằng các hạt nhỏ, khiến độ rỗng của bê tông giảm đi.

Kết quả thực nghiệm ở Bảng 4 và Hình 6 cũng cho thấy, ảnh hưởng của XLC đến độ rỗng của BTHN lớn hơn một chút so với TB khi cùng sử dụng một lượng thay thế XM là 30% theo khối lượng. Điều này có thể lý giải bởi kích thước hạt trung bình của XLC nhỏ hơn kích thước hạt trung bình của TB (7,87 mm so với 16,42 mm). Như vậy, khi tăng lượng XLC khiến cho các lỗ rỗng dễ dàng được lấp đầy hơn so với tăng hàm lượng TB và làm giảm độ rỗng của bê tông, độ rỗng giảm khoảng 4% khi sử dụng cùng 30% hàm lượng TB và XLC thay thế XM.

Bảng 4. Ảnh hưởng của TB và XLC đến độ rỗng của BTHN

Hỗn hợp	Độ rỗng (%)
100XM	12,63
0TB30XLC	10,77
30TB0XLC	11,25



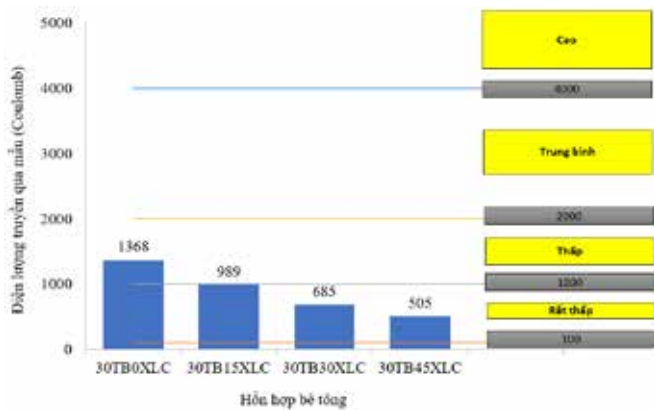
Hình 6. Ảnh hưởng của TB và XLC đến độ rỗng của BTHN

3.2. Ảnh hưởng của TB và XLC đến khả năng chống thấm ion clo của BTHN

Các kết quả thu được trên Bảng 5 và Hình 7 cho thấy với cùng lượng TB thay thế XM là 30% điện lượng truyền qua mẫu giảm tỉ lệ thuận khi hàm lượng XLC tăng lên từ 0 - 45%. Điện lượng truyền qua mẫu đạt mức "thấp" khi hàm lượng TB thay thế XM là 30% và hàm lượng XLC thay thế XM là 0%. Khi hàm lượng TB thay thế XM là 30% và khi hàm lượng XLC thay thế XM tăng từ 15 - 45% điện lượng truyền qua mẫu đạt mức "rất thấp".

Bảng 5. Ảnh hưởng của TB và XLC đến khả năng chống thấm ion clo của BTHN

Hỗn hợp	Điện lượng truyền qua mẫu (Coulomb)
30TB0XLC	1.368
30TB15XLC	989
30TB30XLC	685
30TB45XLC	505



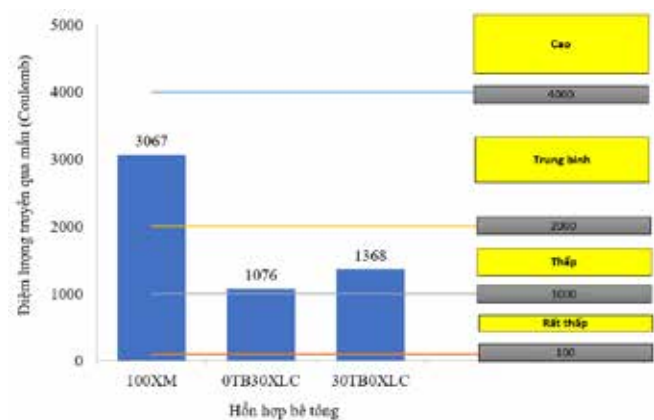
Hình 7. Ảnh hưởng của TB và XLC đến khả năng chống thấm ion clo của BTHN

Khi sử dụng TB và XLC thay thế XM trong hỗn hợp bê tông thì cơ chế chính của TB và XLC trong bê tông là tác dụng pozzolan và tích hợp vi hạt, giúp lấp đầy lỗ rỗng, tạo liên kết C-S-H bổ sung và thu nhỏ kích thước mao dẫn khi XM thủy hóa dẫn đến giảm độ rỗng và tăng khả năng chống thấm, đặc biệt đối với ion clo, dẫn đến làm giảm độ rỗng của bê tông và tăng khả năng chống thấm ion clo. Các kết quả này cũng tương đồng với các nghiên cứu của một số tác giả [8, 12, 16].

Bảng 6 và Hình 8 cho thấy, ảnh hưởng của XLC đáng kể hơn TB đến khả năng chống thấm ion clo của BTHN, khả năng chống thấm ion clo tăng lên khoảng 27% khi sử dụng cùng 30% hàm lượng thay thế XM. Thứ nhất, như đã giải thích ở phần trên, XLC có kích thước hạt trung bình nhỏ hơn TB, do đó các hạt dễ lấp đầy lỗ rỗng hơn TB. Ngoài ra, hạt XLC cũng trơn nhẵn hơn hạt TB, do đó khả năng lấp đầy các lỗ rỗng cũng tốt hơn do độ ma sát nhỏ hơn. Khi mật độ hỗn hợp tăng lên do các lỗ rỗng được lấp đầy nhiều hơn dẫn đến hỗn hợp bê tông đặc chắc hơn, chống thấm ion clo tốt hơn.

Bảng 6. Ảnh hưởng của TB và XLC đến khả năng chống thấm ion clo của BTHN

Hỗn hợp	Điện lượng truyền qua mẫu (Coulomb)
100XM	3.067
0TB30XLC	1.076
30TB0XLC	1.368



Hình 8. Ảnh hưởng của TB và XLC đến khả năng chống thấm ion clo của BTHN

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả trong nghiên cứu này có thể rút ra một số kết luận sau:
- Sử dụng TB và XLC làm giảm độ rỗng của BTHN. Độ rỗng của BTHN giảm từ 12,63% xuống 5,87% khi lượng TB và XLC thay thế 75% khối lượng XM.

- Sử dụng TB và XLC làm tăng khả năng chống thấm ion clo của BTHN. Lượng TB và XLC thay thế 75% XM theo khối lượng làm giảm khả năng chống thấm ion clo của BTHN từ mức trung bình xuống rất thấp so với bê tông sử dụng 100% XM.

- Sử dụng XLC có khả năng giảm độ rỗng và tăng khả năng chống thấm ion clo của HHBT tốt hơn so với TB: Độ rỗng giảm khoảng 4% và khả năng chống thấm ion clo tăng lên khoảng 27%.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] V. M. Malhotra, P. K. Mehta. High-performance, high-volume fly ash concrete: Materials, mixture proportioning, properties, construction practice and case histories. Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., Canada, 2005.
- [2] C. Shi, P. V. Krivenko, D. Roy. Alkali-Activated Cements and Concretes. Taylor & Francis, London, 2006.
- [3] World Coal Association. Coal combustion products: Production and use. World Coal Association Report, London, 2019.
- [4] Văn phòng Chính phủ. Quyết định phê duyệt Quy hoạch phát triển điện lực quốc gia thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050, số 500/QĐ-TTg, 2023.
- [5] P. K. Mehta. Reducing the environmental impact of concrete. Concrete International, 23(10) 61-66, 2001.
- [6] M. Thomas. Supplementary cementing materials in concrete. CRC Press, Boca Raton, 2013.
- [7] A. M. Neville. Properties of Concrete, 5th Edition. Pearson Education, London, 2011.
- [8] P. K. Mehta. Reducing the environmental impact of concrete. Concrete International, 23(10) 61-66, 2001.
- [9] A. M. Neville. Properties of Concrete, 5th Edition. Pearson Education, London, 2011.
- [10] J. L. Wang et al. Effects of fly ash and ground granulated blast furnace slag on properties of high strength concrete. Key Engineering Materials, 405-406, 219-225, 2009. Internet: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.405-406.219>.
- [11] H. S. Chore, M. P. Joshi. Strength evaluation of concrete with fly ash and ground granulated blast furnace slag as cement replacing materials. Advances in Concrete Construction, 3(3) 223-236, 2015. Internet: <https://doi.org/10.12989/acc.2015.3.3.223>.
- [12] Lê Thanh Hà. Nghiên cứu ảnh hưởng của tro xỉ nhiệt điện đến khả năng chống thấm ion clo của bê tông hạt nhỏ. Cầu đường Việt Nam, 5, 29-34, 2021.
- [13] Lê Thanh Hà, Ngô Đức Chính. Nghiên cứu ảnh hưởng của tro bay và bột đá vôi đến tính chất cơ học và tính chống thấm nước của bê tông hạt nhỏ. Cầu đường Việt Nam, 5, 52-57, 2022.
- [14] Tăng Văn Lâm, Nguyễn Đình Trinh. Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng tro bay và xỉ lò cao hoạt tính đến tính chất của bê tông cường độ cao hạt mịn không sử dụng chất kết dính XM. Khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường, 76, 2021.
- [15] Hồ Văn Quân, Phan Nhật Long, Phạm Thái Uyết. Tính chất của bê tông tính năng cao kết hợp tro bay và xỉ lò cao. Khoa học công nghệ, 56-59, 2021.
- [16] M. Thomas. Supplementary cementing materials in concrete. CRC Press, Boca Raton, USA, 2013.