

# Đánh giá ảnh hưởng của silica fume đến sức kháng và đập của vật liệu xi măng bằng thử nghiệm con lắc Charpy

■ TS. NGUYỄN THẠCH QUANG; TS. NGUYỄN NHẬT MINH TRỊ

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

**TÓM TẮT:** Bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm đánh giá sự ảnh hưởng của silica fume (SF) đến sức kháng và đập của vật liệu xi măng Poóc-lăng thông thường (OPC) được thay thế bởi các tỷ lệ SF khác nhau từ 0 đến 20%. Tỷ lệ 20% được xem là tối ưu với mức tăng sức kháng và đập là 77%. Kết quả khác từ bài báo cho thấy mối quan hệ giữa sức kháng và đập và cường độ chịu nén của vật liệu xi măng thay thế một phần bởi silica fume ở 28 ngày tuổi. Từ đó, có thể phân tích cũng như dự đoán sức kháng và đập của vật liệu này theo cường độ chịu nén của nó mà không phụ thuộc vào tỷ lệ SF thay thế. Ngoài ra, dữ liệu thống kê sức kháng và đập thu được từ thử nghiệm và đập con lắc Charpy được chứng minh phù hợp với phân bố xác suất Weibull hai tham số, cho thấy độ tin cậy cao của kết quả thu được từ thử nghiệm này.

**TỪ KHÓA:** Xi măng silica fume, thử nghiệm Charpy, sức kháng và đập, cường độ chịu nén, phân bố Weibull hai tham số

**ABSTRACT:** The work presents an experimental study on investigating the influence of different silica fume proportions from 0 to 20% on the impact resistance of ordinary Portland cement (OPC). The silica fume proportion of 20% is determined as the optimal one, an increase of 77% in impact resistance is observed. Another result shows the relationship between compressive strength and impact resistance at 28 days of silica fume modified cement pastes. Based on that, the impact resistance of silica fume modified cement pastes can be analyzed or predicted by the compressive strength results, regardless of the silica fume proportion. In addition, the statistical data of impact resistance observed from the Charpy impact test is proved to fit well the two parameters Weibull distribution, shows the high reliability of these observations.

**KEYWORDS:** Cement, silica fume, Charpy test, impact resistance, compressive strength, two parameters Weibull distribution.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngoài tĩnh tải cũng như hoạt tải, các kết cấu bê tông còn chịu tác dụng của các tải trọng động ngắn hạn (tải trọng đặc biệt), cụ thể có thể kể đến các tải trọng từ các nguồn như gió giật, động đất, các tải trọng chấn động do sự rung lắc của máy móc thiết bị khai thác, các tải trọng và xô do các phương tiện giao thông hoặc các tải trọng và đập từ các nguồn như tên lửa, đạn bắn... Việc nghiên cứu khả năng dự trữ năng lượng cũng như thiết kế thành phần vật liệu để đảm bảo khả năng làm việc của kết cấu bê tông dưới tác dụng của các tải trọng động ngắn hạn này là cần thiết. Các phương pháp thử nghiệm xác định các tính chất cơ học động của vật liệu thường dựa trên nguyên tắc của thế năng, động năng [1]. Tuy nhiên, có thể kể đến một số nhược điểm của các thử nghiệm này như sử dụng mẫu có kích thước lớn, thiết bị thử nghiệm phức tạp và giá thành cao. Thay vào đó, một thử nghiệm được đánh giá là đơn giản, kích thước mẫu nhỏ và giá thành thấp, có thể xác định khả năng hấp thụ năng lượng hay sức kháng và đập của vật liệu thường được khuyến khích áp dụng là thử nghiệm và đập Charpy hay thử nghiệm con lắc Charpy. Được áp dụng vào đầu thế kỷ XX, cho đến nay, thử nghiệm con lắc Charpy đã được áp dụng cho nhiều loại vật liệu [2-4] cũng như vật liệu xi măng [5-7]. Tuy nhiên, vẫn chưa có tiêu chuẩn đầy đủ nào giới thiệu việc áp dụng thử nghiệm con lắc Charpy cho loại vật liệu này, dẫn đến sự thiếu thống nhất trong các thông số thử nghiệm cũng như cơ sở để so sánh kết quả giữa các nghiên cứu.

Tại Việt Nam, quy trình tổng hợp Silica fume từ tro trấu đã được công bố [8], tận dụng nguồn vỏ trấu sẵn có trong nông nghiệp sản xuất gạo, nên lượng Silica fume sản xuất ở Việt Nam là rất lớn và giá thành thấp. Đã có rất nhiều nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của phụ gia silica fume đối với các tính chất cơ lý của bê tông xi măng [9,10]. Tuy nhiên, ở mức độ vi mô, chưa có nghiên cứu nào đánh giá sức kháng và đập hay khả năng hấp thụ năng lượng của vật liệu hỗn hợp xi măng - silica fume nhằm bảo vệ khả năng chống mài mòn và chịu va đập của kết cấu như tà vẹt đường sắt, các cấu kiện chống nổ, các cấu kiện lan can...

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

### 2.1. Vật liệu

Xi măng Poóc-lăng loại I phù hợp với ASTM C150 và silica fume là hai loại vật liệu chính trong nghiên cứu này.

Các tính chất của xi măng và silica fume được tóm tắt trong *Bảng 2.1* và *Bảng 2.2*.

**Bảng 2.1. Thành phần của vật liệu xi măng**

CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Hao hụt do cháy	Độ mịn (cm <sup>2</sup> /g)	Cường độ nén ở 28 ngày (MPa)
61,33	6,40	21,01	2,30	3,02	3,12	1,40	2800	36

**Bảng 2.2. Tính chất của silica fume**

SiO <sub>2</sub> (%)	Lượng còn lại trên sieve 45 mm sieve (%)	H <sub>2</sub> O (%)	Khối lượng riêng (Kg/m <sup>3</sup> )
> 90	< 1,5	< 1,0	200-350

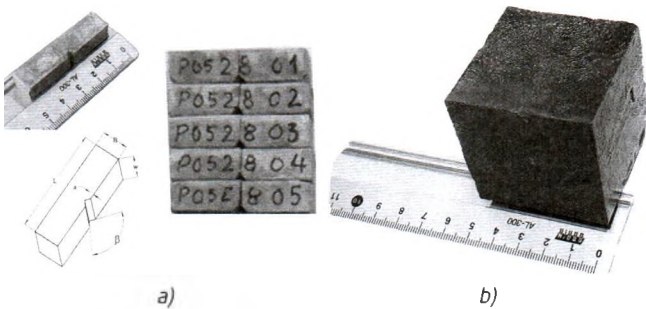
**2.2. Cấp phối vật liệu - chuẩn bị mẫu thử**

Trong nghiên cứu này, xi măng được thay thế một phần bằng silica fume (SF). Theo đó, các tỷ lệ SF được lựa chọn lần lượt là 0, 5, 10, 15, 20 %. *Bảng 2.3* trình bày cấp phối vật liệu trong nghiên cứu này, trong đó, tên của mẫu được đặt từ SF00 đến SF20 theo thứ tự đó cho các tỷ lệ SF từ 0 % đến 20 %.

**Bảng 2.3. Cấp phối vật liệu (% theo tỷ lệ khối lượng)**

Mẫu	SF00	SF05	SF10	SF15	SF20
OPC	1	0,95	0,9	0,85	0,8
SF	0	0,05	0,1	0,15	0,2
Nước	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Quá trình trộn được thực hiện tuân thủ quy định của ASTM C305. Trong đó, đầu tiên, SF được hòa với nước, để tránh hiện tượng kết tụ giữa các hạt SF do lực hút Van der Waals giữa các hạt có kích thước nano, quá trình hòa tan được thực hiện trong điều kiện sóng siêu âm. Sau đó, dung dịch lỏng này được sử dụng để pha trộn xi măng. Tỷ lệ nước - chất kết dính trong nghiên cứu này là N/CKD = 0,5. Có hai loại mẫu được chuẩn bị trong nghiên cứu này, mẫu dạng thanh có rãnh v cho thử nghiệm con lắc Charpy và mẫu lập phương cho thử nghiệm xác định cường độ chịu nén. Kích thước mẫu được thể hiện cụ thể như *Hình 1* dưới đây, trong đó L = 50 mm, w = B = 10 mm, a = 2 mm, β = 45°.



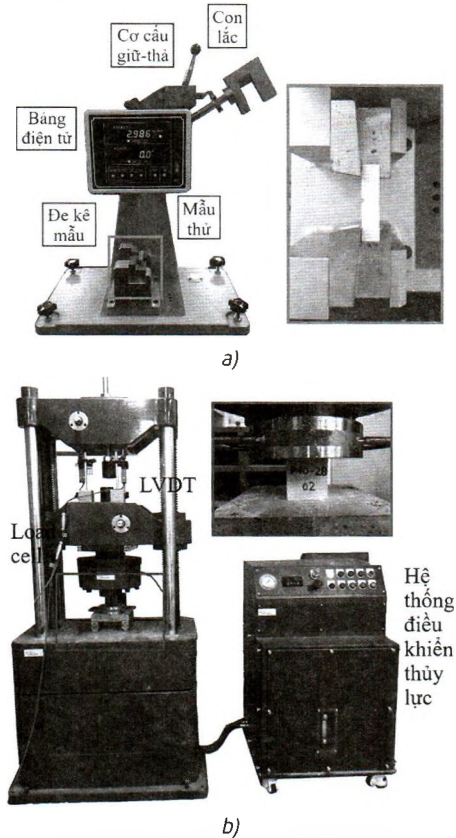
**Hình 2.1: Mẫu thử nghiệm. a) Mẫu rãnh v cho thử nghiệm va đập con lắc Charpy, b) Mẫu lập phương cho thử nghiệm xác định cường độ chịu nén**

**2.3. Phương pháp thí nghiệm**

Thử nghiệm va đập con lắc Charpy được thực hiện tương tự [5-7] và được thể hiện như *Hình 2.2*. Từ kết quả năng lượng va đập thu được từ thiết bị này, sức kháng va đập của mẫu được xác định bằng cách chia năng lượng va đập này với diện tích bề mặt bị phá hoại. Kết quả thí nghiệm được chấp nhận khi tất cả các mẫu đều bị phá hoại hoàn toàn. Trong nghiên cứu này, các mẫu đều phá hoại hoàn toàn (*Hình 2.1a*), diện tích bề mặt phá hoại được xác

định là diện tích mặt cắt có rãnh v. Thử nghiệm xác định cường độ chịu nén có công suất 1.000 kN (*Hình 2.2b*), thử nghiệm được tiến hành theo hướng dẫn của ASTM C109, mẫu lập phương có kích thước 50x50x50 mm.

Tất cả các quá trình chuẩn bị mẫu cũng như các quá trình thử nghiệm được thực hiện trong điều kiện nhiệt độ phòng, độ ẩm tương đối 50±5%, mẫu được thử nghiệm ở 28 ngày tuổi.



**Hình 2.2: Thiết bị thử nghiệm: a) - Thử nghiệm va đập con lắc Charpy, b) - Thử nghiệm xác định cường độ chịu nén**

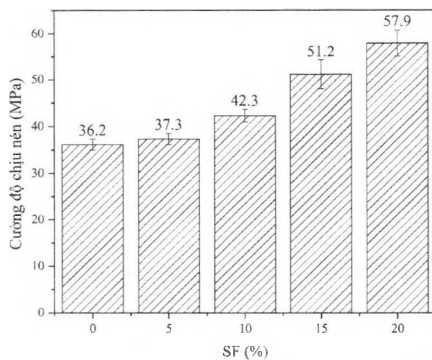
**3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

**3.1. Cường độ chịu nén**

*Hình 3.1* trình bày kết quả cường độ chịu nén của mẫu xi măng được thêm vào các tỷ lệ SF khác nhau từ 0 đến 20%. Nhìn chung, kết quả cho thấy xu hướng tăng của cường độ chịu nén khi thay thế xi măng bằng các tỷ lệ SF khác nhau, lượng SF càng cao, giới hạn 20% đối với nghiên cứu này, kết quả cường độ chịu nén càng cao. Có thể nhận xét từ kết quả thu được, đối với các mẫu có tỷ lệ SF dưới 10%, độ tăng của kết quả cường độ chịu nén không đáng kể. Với lượng thay thế từ 10% trở lên, cường độ chịu nén tăng đáng kể, cụ thể là tăng 17, 41, 60% so với cường độ chịu nén của mẫu cơ bản đã được ghi nhận. Cơ chế gia tăng cường độ của vật liệu gốc xi măng khi sử dụng SF đã được chứng minh từ các công trình trước đây, cụ thể là SF có kích thước nano có thể lấp đầy cấu trúc lỗ rỗng tạo thành do sự xếp cạnh nhau của các cấu trúc tinh thể của các sản phẩm từ quá trình thủy hóa của xi măng như calcium silicate hydrate (CSH), calcium hydroxide (CH), ettringite... Từ đó, làm cho cấu trúc của vật liệu được đặc chắc hơn, dẫn đến làm tăng cường độ

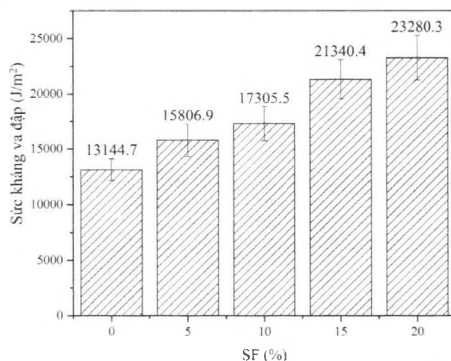


vật liệu. Mặt khác, sự có mặt của SF được thêm vào xi măng còn có tác dụng tạo thêm các phản ứng pozzolanic, mà sản phẩm tạo thành là gel CSH, là thành phần chiếm từ 50 đến 60 % thể tích rắn của các sản phẩm sau quá trình thủy hóa xi măng và được chứng minh là đóng vai trò quan trọng trong việc hình thành cường độ và độ bền lâu dài của vật liệu xi măng [11]. Kết quả là cấu trúc đặc chắc hơn trong xi măng được hình thành, từ đó tăng cường các đặc trưng về cơ học, khả năng chống thấm, chống ăn mòn của vật liệu này.



Hình 3.1: Cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi

3.2. Sức kháng và đập

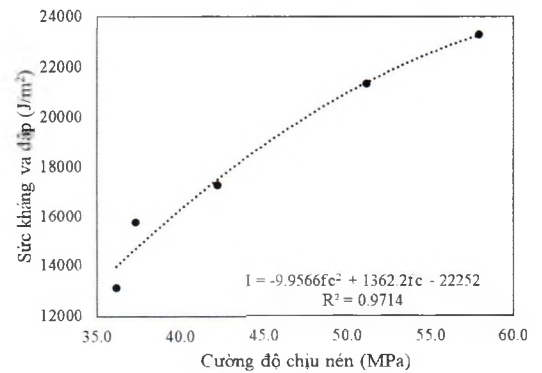


Hình 3.2: Sức kháng và đập ở 28 ngày tuổi

Cần lưu ý là kết quả thử nghiệm con lắc Charpy chỉ được chấp nhận khi tất cả các mẫu thử đều bị phá hoại hoàn toàn. Hình 3.2 trình bày kết quả sức kháng và đập ở tuổi 28 ngày của các mẫu xi măng với các hàm lượng SF từ 0 đến 20%. Trong phạm vi của nghiên cứu này, với lượng thay thế 20% SF, sức kháng và đập của mẫu là lớn nhất. Cụ thể, mức tăng lần lượt là 20, 31, 62, 77% khi thay thế xi măng bằng các tỷ lệ SF 5, 10, 25, 20%. Với các tỷ lệ SF để xuất trong phạm vi của nghiên cứu này, 20% được xem là tỷ lệ tối ưu của hàm lượng SF thay thế để sức kháng và đập cũng như cường độ chịu nén của vật liệu xi măng thay thế một phần bởi SF.

Nhận xét từ các kết quả trên, xu hướng tăng của sức kháng và đập tỷ lệ thuận với cường độ chịu nén và độ tăng theo độ tăng dần của hàm lượng SF thay thế. Kết quả này cũng phù hợp với kết quả thu được từ công trình trước [12]. Do đó, một mối quan hệ bậc hai giữa cường độ chịu nén và sức kháng và đập được xây dựng theo lý thuyết thống kê. Hệ số tương quan mẫu R<sup>2</sup> gần bằng 1, chứng tỏ mức độ hội tụ của quan hệ này. Trong đó, I và f<sub>c</sub> lần lượt là sức kháng và đập (J/m<sup>2</sup>) và cường độ chịu nén của mẫu ở 28 ngày tuổi.

Dựa vào mối quan hệ này, có thể phân tích cũng như dự đoán sức kháng và đập của vật liệu xi măng thay thế một phần bởi SF từ cường độ chịu nén của nó ở 28 ngày tuổi mà không phụ thuộc vào hàm lượng SF thay thế.



Hình 3.3: Mối quan hệ giữ cường độ chịu nén và sức kháng và đập ở 28 ngày tuổi

3.3. Phân tích kết quả sức kháng và đập theo phân bố Weibull

Tổng quan tài liệu cho thấy kết quả từ thử nghiệm và đập thỏa mãn phân bố Weibull hai tham số [5]. Theo cách đó, các kết quả thu được từ thử nghiệm và đập con lắc Charpy sẽ được tiến hành phân tích theo phân bố Weibull hai tham số.

Từ [5], hàm mật độ phân bố Weibull f(x) và hàm phân bố tích lũy F<sub>x</sub>(x) được trình bày như sau:

$$f(x) = \frac{k}{u - \epsilon} \left( \frac{x - \epsilon}{u - \epsilon} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x - \epsilon}{u - \epsilon}\right)^k} \quad (1)$$

$$F_x(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x - \epsilon}{u - \epsilon}\right)^k} \quad (2)$$

Trong đó: x - Giá trị cụ thể của biến ngẫu nhiên (trong nghiên cứu này là sức kháng và đập - I); k - Tham số hình dạng hay độ dốc Weibull; u - Tham số tỷ lệ; ε - Tham số vị trí, đối với thử nghiệm và đập, ε = 0, Khi đó, phương trình (1) và (2) trở thành:

$$f(x) = \frac{k}{u} \left( \frac{x}{u} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{u}\right)^k} \quad (3)$$

$$F_x(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{u}\right)^k} \quad (4)$$

Theo [5], hàm phân bố phá hoại là:

$$L_x(x) = 1 - F_x(x) = e^{-\left(\frac{x}{u}\right)^k} \quad (5)$$

Logarith 2 về phương trình (5) được:

$$\ln \left[ \ln \left( \frac{1}{L_x} \right) \right] = k \ln(x) - k \ln(u) \quad (6)$$

Do đó, phương trình (6) có thể sử dụng để xác minh phân bố thống kê của sức kháng và đập (I) của nhóm mẫu ở 28 ngày tuổi theo phân bố Weibull hai tham số. Kết quả sức kháng và đập được sắp xếp theo thứ tự tăng dần và hàm tần suất kinh nghiệm ở dạng sau:

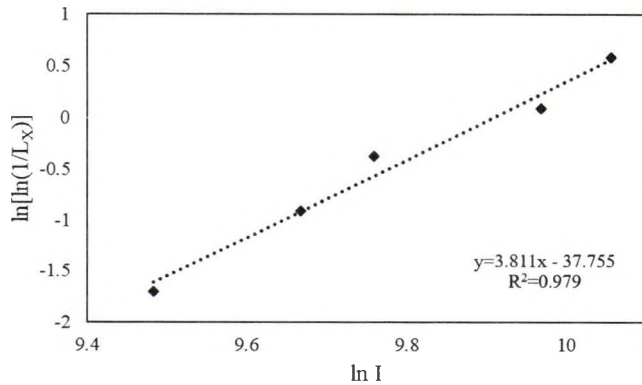
$$L_x = 1 - \frac{i}{N+1} \quad (7)$$

Trong đó: i - Số thứ tự; N - Tổng số mẫu.

Theo [5], mối quan hệ tuyến tính giữa ln[ln(1/L<sub>x</sub>)] và ln x cho thấy sự phù hợp của việc áp dụng phân bố Weibull 2 tham số cho dữ liệu thống kê của sức kháng và đập. Từ đó,

các hệ số hồi quy ( $k$ ,  $klnu$ ) và hệ số tương quan  $R^2$  có thể suy ra từ phân tích tuyến tính.

Hình 3.4 cho thấy quan hệ tuyến tính của  $\ln[\ln(1/L_x)]$  và  $\ln x$ . Theo phân tích ở trên, với kết quả mối quan hệ tuyến tính này, độ tin cậy của dữ liệu thống kê của sức kháng và đập được chứng minh phù hợp với phân bố Weibull 2 tham số.



Hình 3.4: Phân bố Weibull của sức kháng và đập ( $I$ )

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày nghiên cứu thực nghiệm đánh giá sự ảnh hưởng của silica fume đến sức kháng và đập của vật liệu xi măng được thay thế bởi các tỷ lệ SF khác nhau. Một số kết luận có thể rút ra từ kết quả của nghiên cứu này như sau:

Vai trò của SF trong việc gia tăng cường độ chịu nén của vật liệu xi măng được xác định và cho thấy sự phù hợp với kết quả từ các công trình trước đây. Từ đó, vai trò của SF trong việc tăng cường sức kháng và đập của vật liệu xi măng thay thế một phần bởi SF được chứng minh qua nghiên cứu này. Hàm lượng thay thế 20% được xem như hàm lượng tối ưu ứng với khả năng chống va đập lớn nhất của vật liệu này - giới hạn trong phạm vi của nghiên cứu này.

Thiết bị thử nghiệm va đập con lắc Charpy thể hiện vai trò hữu ích trong việc xác định sức kháng và đập cho vật liệu giòn như xi măng.

Phương trình mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và sức kháng phá hoại được đề xuất, theo đó, có thể phân tích hoặc dự đoán sức kháng và đập của vật liệu xi măng thay thế một phần bởi SF theo cường độ chịu nén ở tuổi 28 ngày của nó mà không phụ thuộc vào hàm lượng SF thay thế.

Dữ liệu thống kê sức kháng và đập được chứng minh phù hợp với phân bố Weibull 2 tham số.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học GTVT trong Đề tài mã số T2021-PHII-003. Tác giả xin chân thành cảm ơn Phòng Thí nghiệm vật liệu xây dựng kỹ thuật cao, Đại học Kyungnam, Hàn Quốc đã hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu thực nghiệm.

#### Tài liệu tham khảo

[1]. D.J. Kim, K. Wille, S. El-Tawil and A.E Naaman (2010), *Testing of Cementitious Materials under High-Strain-Rate Tensile Loading Using Elastic Strain Energy*, Journal of

Engineering Mechanics, 137(4), 268-275, DOI: 10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0000224.

[2]. A. Cabrilo and K. Geric (2018), *Fracture mechanic and charpy impact properties of a crack in weld metal, HAZ and base metal of welded armor steel*, Procedia Structural Integrity, 13, 2059-2064, DOI: 10.1016/j.prostr.2018.12.208.

[3]. G.B. Lenkey and Z. Major (2002), *Application of electric emission technique for determining the dynamic fracture toughness of polymers* European Structural Integrity Society, 30, 129-136, DOI: 10.1016/S1566-1369(02)80013-9.

[4]. Z. Major and R.W. Lang (2002), *Determination of rate dependent fracture toughness of plastics using precracked Charpy specimens*, European Structural Integrity Society, 30, 137-144, DOI: 10.1016/S1566-1369(02)80014-0.

[5]. T.N.M Nguyen and J.J. Kim (2021), *Energy Absorption Capacity of SBR Latex-Modified Ordinary Portland Cement by Charpy Impact Test*, Materials, 14, 2544, DOI: 10.3390/ma14102544.

[6]. T.N.M. Nguyen, N.H. Lim, Y.S. Kang and J.J. Kim (2018), *Investigation of Impact Resistance for Latex Modified Hardened Cement Pastes*, International Journal of Railway, 11(1), 10-14, DOI: 10.7782/IJR.2018.11.1.010.

[7]. T.N.M Nguyen and J.J. Kim (2018), *Impact Resistance Evaluation of Cement Pastes Including Admixtures by Charpy Impact Tests*, Journal Korean Society of Hazard Mitigation, 18(6), 229-233, DOI: 10.9798/KOSHAM.2018.18.6.229.

[8]. V.H. Le, C.N.H. Thuc and H.H. Thuc (2013), *Synthesis of silica nanoparticles from Vietnamese rice husk by sol-gel method*, Nanoscale Research Letters, 8, DOI: 10.1186/1556-276X-8-58.

[9]. Nguyễn Công Thắng, Nguyễn Thị Thắng, Phạm Hữu Hạnh, Nguyễn Văn Tuấn, Lê Trung Thành, Nguyễn Trọng Lâm (2013), *Nghiên cứu chế tạo bê tông chất lượng siêu cao sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng silica fume và tro bay sẵn có ở Việt Nam*, Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng.

[10]. Đặng Thị Thanh Lê, Vương Đặng Lê Mai, Vũ Việt Cường, Hoàng Anh Tuấn (2017), *Nghiên cứu ảnh hưởng của vật liệu nano SiO<sub>2</sub> điều chế từ tro trấu đến khả năng chống thấm ion clo của bê tông xi măng nhiều tro bay*, Tạp chí Hóa học, 53, 298-302, DOI: 10.15625/0866-7144.2017-00462.

[11]. A.M. Neville (2005), *Properties of Concrete*, Prentice Hall; 5 edition (September 2, 2012).

[12]. G. Murali, A.S. Santhi and G.M. Ganesh (2014), *Empirical Relationship between the Impact Energy and Compressive Strength for Fiber Reinforced Concrete*, Journal of Scientific & Industrial Research, 73, 469-473.

**Ngày nhận bài: 01/6/2021**

**Ngày chấp nhận đăng: 28/6/2021**

**Người phản biện: TS. Vũ Việt Hưng**

**TS. Nguyễn Ngọc Vinh**