

# Sử dụng phụ gia kết hợp nano SiO<sub>2</sub> và tro bay trong thiết kế thành phần bê tông xi măng cường độ cao HSC

■ TS. TRẦN HỮU BẰNG; THS. VÕ THANH HÙNG; THS. LÊ THÀNH TRUNG; THS. PHÚ THỊ TUYẾT ANGA

*Trường Đại học Thủ Dầu Một*

**TÓM TẮT:** Bài báo trình bày thiết kế thành phần bê tông xi măng sử dụng phụ gia kết hợp Nano SiO<sub>2</sub> (NS) điều chế từ tro trấu (RHA) và tro bay (FA) cho bê tông cường độ cao (HSC). Các hạt NS được thêm vào HSC với các mức thay thế khác nhau 0%, 0,5%, 1,0% và 1,5% với hàm lượng FA cố định 30% theo khối lượng của chất kết dính. Kết quả bước đầu làm cơ sở cho việc thực nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của HSC ứng dụng trong thiết kế kết cấu mặt đường cấp cao khu vực miền Nam.

**TỪ KHÓA:** Nano SiO<sub>2</sub>, tro trấu (RHA), bê tông cường độ cao (HSC).

**ABSTRACT:** In this paper, the design of a cement concrete composition for High Strength Concrete (HSC) using the combination additive Nano SiO<sub>2</sub> (NS) derived from rice husk ash (RHA) and Fly ash (FA) is explored in this study. NS particles were added to HSC at various replacements of 0%, 0.5%, 1.0% and 1.5%, with a fixed FA concentration of 30% by the mass of the binder. The preliminary findings will be used to test the application of HSC physical and mechanical criteria to the design of high-grade pavement constructions in the South.

**KEYWORDS:** Nano SiO<sub>2</sub>, Fly Ash (FA), Rice Husk Ash (RHA), High Strength Concrete (HSC).

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sự phát triển nhanh chóng cơ sở hạ tầng, các công trình đường giao thông cấp cao kéo theo nhu cầu phát triển bê tông cường độ cao (HSC), độ bền cao và thân thiện với môi trường cũng trở nên cấp thiết. Nano SiO<sub>2</sub> (NS) nổi tiếng với nhiều ứng dụng trong hai thập kỷ qua, bao gồm làm vật liệu xúc tác, vật liệu điện môi, chất hấp thụ khí, hấp thụ ion kim loại nặng và chất vô cơ [1]. Bên cạnh đó, người ta cũng lưu ý rằng, hầu hết các vật liệu NS được sử dụng trong công trình xây dựng đều được cung cấp bởi các công ty thương mại, chủ yếu từ Trung Quốc và các nước châu Âu [2]. NS được sản xuất trong nhà máy, các phẩm chất chính của NS thương mại là độ tinh khiết cao và tính đồng nhất,

tuy nhiên, nó đắt tiền và gây khó khăn trong việc sử dụng rộng rãi trong xây dựng. Do đó, xu hướng tìm kiếm nguồn nguyên liệu sẵn có, chi phí thấp, giàu silic để sử dụng làm chất phụ gia cụ thể đang được xem xét và thu hút sự chú ý của các nhà khoa học và các cấp chính quyền.

Các khu vực trồng lúa trên thế giới, chẳng hạn như Trung Quốc, Ấn Độ, Bangladesh, Brazil... tăng lên hàng ngày, dẫn đến chất thải nông nghiệp. Trong số đó, Việt Nam là nhà sản xuất gạo lớn thứ hai thế giới, với sản lượng gạo sản xuất hàng năm ước tính là 42 tỷ tấn. Trấu là sản phẩm phụ của quá trình xay xát gạo và tro trấu (RHA) thu được khi đốt để sản xuất năng lượng, chẳng hạn như cho lò hơi. Hàng triệu tấn dư thừa gây ra bởi chất thải RHA [3] trên toàn cầu đã được sử dụng trong các lĩnh vực cụ thể, chẳng hạn như chất hấp phụ, xi măng, chất xúc tác, vật liệu nano [4]. Cần lưu ý rằng, RHA là một trong những vật liệu giàu SiO<sub>2</sub> nhất, với nồng độ dao động từ 90 - 98% về khối lượng và chứa một lượng đáng kể silica (85 - 95%) [4], làm RHA là một nguồn nguyên liệu hấp dẫn cho sản xuất SiO<sub>2</sub> [5, 6]. Có nhiều phương pháp sản xuất NS khác nhau và thay đổi từ đắt tiền đến tiết kiệm chi phí [7], chẳng hạn như Sol-gel, kết tủa hóa học, vi nhũ tương và kỹ thuật thủy nhiệt [8]. NS làm việc trong hỗn hợp bê tông có hai tác dụng chính: thứ nhất về mặt hóa học, NS có vai trò phản ứng pozzolanic để loại trừ Ca(OH)<sub>2</sub> và hình thành các gel C-S-H; thứ hai NS có tác dụng vật lý như vật liệu chèn. Vì NS có kích thước nhỏ khoảng 100 lần so với hạt xi măng, NS có thể lấp đầy các khoảng trống trong vữa xi măng và làm tăng độ đặc chắc của bê tông [9]. Trong công trình nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng nguồn vật liệu NS đã được thông qua quá trình điều chế bằng phương pháp Sol-gel [10].

Giảm lượng khí thải carbon và thúc đẩy tính trung lập của carbon là những biện pháp chính được các cơ quan chức năng trên thế giới thực hiện để ứng phó với những thay đổi của môi trường [11]. Sản xuất xi măng là nguồn chính của carbon dioxide, do đó, sử dụng vật liệu bổ sung xi măng như xỉ hạt lò cao và tro bay (FA) thay thế cho xi măng để chế tạo bê tông là một cách hiệu quả để giảm lượng khí thải carbon [12, 13]. Li và các cộng sự đã nghiên cứu độ bền của bê tông đường hiệu suất cao kết hợp FA. Họ phát hiện ra rằng, việc sử dụng FA làm chất thay thế xi măng có thể cải thiện đáng kể khả năng chống thấm của bê tông [14].

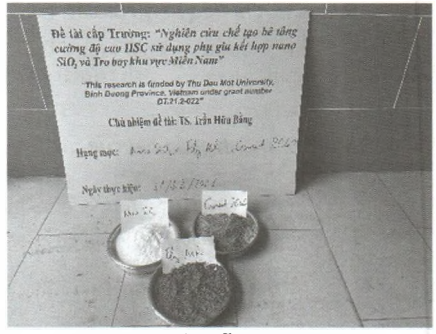
Bê tông đã trở thành vật liệu xây dựng được sử dụng

hiều nhất, với phạm vi ứng dụng rộng rãi nhất vì cường độ cao, tính ổn định thủy nhiệt tốt và nguồn nguyên liệu dồi dào [15]. Tuy nhiên, khi phạm vi sử dụng bê tông ngày càng mở rộng, các tiêu chí nghiêm ngặt hơn đối với các đặc tính của bê tông (như cường độ nén, cường độ kéo, cường độ uốn, độ bền và khả năng chống va đập, mài mòn...) đang được đề xuất, chẳng hạn như tiêu chí cho nhà cao tầng và nhịp lớn các tòa nhà, cấu trúc xây dựng trong điều kiện khí hậu nóng ẩm, làm mặt đường bê tông cấp cao và các ứng dụng độc đáo khác [16]. Do đó, nhu cầu về bê tông cường độ cao HSC càng nhiều, bền vững và có lợi về mặt sinh thái ngày càng tăng do sự phát triển nhanh chóng của cơ sở hạ tầng và công trình xây dựng. Các hạt NS được thêm vào bê tông ở các hàm lượng khác nhau, 1,0%, 2,0%, 3,0%, 4,0% và 5,0%, theo trọng lượng chất kết dính và kết luận rằng cường độ kéo nén, uốn tăng lên mức cao nhất 15,5%, 27,3% và 19,0%. Mức độ khuyến nghị của việc thay thế NS trong bê tông để cải thiện khả năng chống xâm nhập của clorua. Hơn nữa, khi NS được bổ sung vào HSC đã có tác động tích cực; cường độ nén được cải thiện lần lượt là 21,0% và 17,0% so với hỗn hợp đối chứng, trong khi tỷ lệ tăng cường độ kéo đứt tăng lên lần lượt là khoảng 44,0% và 60,0% khi so sánh với hỗn hợp đối chứng. Phụ gia siêu dẻo cũng đã được sử dụng để tăng khả năng làm việc của hỗn hợp bê tông [17].

Từ các tính năng của phụ gia khoáng NS mang lại, nhóm tác giả bước đầu đã sử dụng NS và FA như một chất phụ gia khoáng thay thế xi măng trong thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông HSC, mức tỉ lệ NS thay thế là 0%, 0,5%, 1,0% và 1,5% với hàm lượng FA cố định 30% cho tất cả hỗn hợp.

**2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

Công tác lấy mẫu (Hình 2.1 - 2.3) và tiến hành thực nghiệm đã được nhóm tác giả thí nghiệm tại Trung tâm Kỹ thuật chuẩn đo lường chất lượng 3 (Quatest 3) và Phòng Thí nghiệm Vật liệu xây dựng LAS-XD 238 - Trung tâm Nghiên cứu Công nghệ và Thiết bị công nghiệp của Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh.



Hình 2.3: Lấy mẫu PC40+FA+NS

**2.1. Xi măng PC40**

Các đặc tính vật lý và thành phần hóa học của PC40 được sử dụng trong nghiên cứu này, được sản xuất tại Việt Nam thương hiệu Bút Sơn, phù hợp theo Tiêu chuẩn TCVN 2682:2009 và Quyết định số 1951/BGTVT/2012, khối lượng riêng của PC40 là 3,1 g/cm<sup>3</sup>, được tổng hợp trong Bảng 2.1 và Bảng 2.2.

Bảng 2.1. Thành phần hóa học (%)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	CaO tự do
21,65	5,25	3,42	65,00	0,06	0,25	0,72	1,80	0,125

Bảng 2.2. Thành phần vật lý của xi măng PC40

Khối lượng riêng (g/cm <sup>3</sup> )	Cường độ nén (Mpa)		Cường độ uốn (Mpa)		Thời gian đông kết (Phút)	
	3 ngày	28 ngày	3 ngày	28 ngày	Bắt đầu	Kết thúc
3.1	28,40	52,5	5,8	8,6	120	225

**2.2. Tro bay FA**

Tro bay có nguồn gốc từ Nhà máy Nhiệt điện Duyên Hải 3 được sử dụng để thay thế xi măng, khối lượng riêng của FA là 2,12 g/cm<sup>3</sup>. Tro bay được thí nghiệm theo Tiêu chuẩn ASTM C311-16 tại Trung tâm Kỹ thuật chuẩn đo lường chất lượng 3 (Quatest 3) mã KT3-01164BXD8 được tổng hợp tại Bảng 2.3.

Bảng 2.3. Kết quả thử nghiệm tro bay FA

Khối lượng riêng (g/cm <sup>3</sup> )	Độ ẩm (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Mất khi nung (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaO (%)	MgO (%)
2,2	0,1	1,0	0,7	26,1	11,3	51,1	1,29	4,7	1,7

**2.3. Nano SiO<sub>2</sub> được điều chế từ RHA**

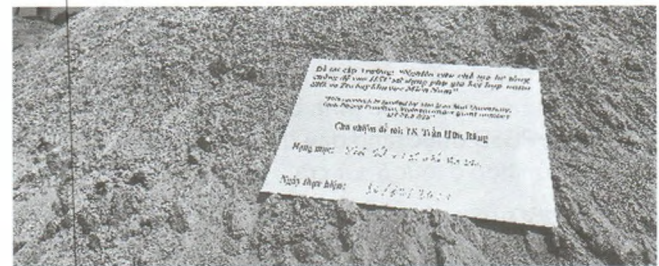
Nhóm tác giả sử dụng sản phẩm đã được điều chế từ RHA, kết quả nghiên cứu các hạt NS có kích thước trung bình 15 nm, cấu trúc tinh thể và vô định hình có khả năng phản ứng puzolan. Những tính chất vật lý chung của hạt NS điều chế từ tro trấu sử dụng được thể hiện trong Bảng 2.4 [10].

Bảng 2.4. Các tính chất vật lý chung của hạt nano SiO<sub>2</sub>

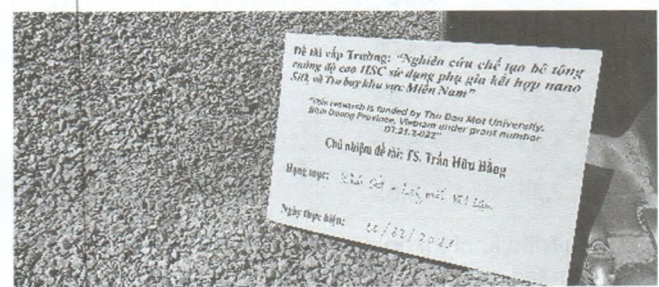
Kích thước hạt	Khối lượng riêng (g/cm <sup>3</sup> )	Độ tinh khiết (%)	Dạng hình thù	Diện tích bề mặt riêng	Khối lượng thể tích xốp	Màu sắc
15±3 nm	2,2	>86	Tinh thể + Vô định hình	258,3 m <sup>2</sup> /g	<0,14 g/cm <sup>3</sup>	Trắng

**2.4. Cốt liệu nhỏ (cát) dùng trong bê tông HSC**

Cát sông Đồng Nai sử dụng làm thí nghiệm được tổng hợp ở Bảng 2.5, Bảng 2.6 và Hình 2.4, được trình bày chi tiết các đặc tính vật lý và phân tích tương ứng theo Tiêu chuẩn ASTM C33 [18], ASTM C29 [19], đáp ứng theo yêu cầu kỹ thuật TCVN 7570:06; TCVN 7572:06 và Quyết định số 1951/BGTVT/2012.



Hình 2.1: Lấy mẫu cát



Hình 2.2: Lấy mẫu đá

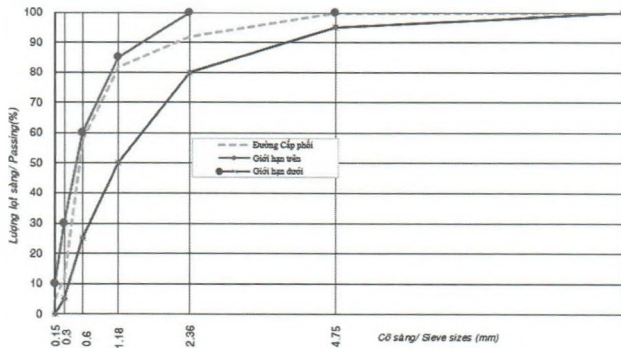


**Bảng 2.5. Chỉ tiêu cơ lý của cát**

Mô-đun độ lớn	Độ hút nước (%)	Khối lượng riêng (g/cm <sup>3</sup> )	Khối lượng thể tích chất (g/cm <sup>3</sup> )	Độ ẩm (%)
2,5	0,42	2,66	1,73	2,0

**Bảng 2.6. Thành phần hạt của cát**

Cỡ sàng	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	600 mm	300 mm	150 mm
Lượng lọt sàng (%) (ASTM C33 Standard)	95-100	80-100	50-85	25-60	5-30	0-10
Lượng lọt sàng (%)	100	91,95	81,75	57,89	12,07	5,25



**Hình 2.4: Biểu đồ cấp phối thành phần hạt cát theo ASTM C33**

**2.5. Cốt liệu lớn (đá) dùng trong bê tông HSC**

Đá dăm Bazan D<sub>max</sub> = 9,5 mm ở mỏ đá Tân Đông Hiệp - Bình Dương. Kết quả thí nghiệm xác định các chỉ tiêu cơ, lý và phân tích thành phần hạt của đá dăm theo ASTM C33 [18], ASTM C29 [19], đáp ứng theo yêu cầu kỹ thuật TCVN 7570:06, TCVN 7572:06 và Quyết định số 1951/BGTVT/2012, được tổng hợp ở Bảng 2.7, Bảng 2.8 và Hình 2.5.

**Bảng 2.7. Chỉ tiêu cơ lý của đá**

D <sub>max</sub> (mm)	Độ hút nước (%)	Khối lượng riêng (g/cm <sup>3</sup> )	Khối lượng thể tích chất (g/cm <sup>3</sup> )	Độ ẩm (%)
9,5	0,75	2,74	1,61	0,45

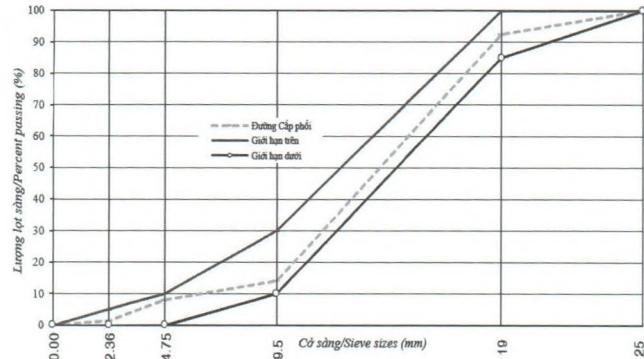
**Bảng 2.8. Thành phần hạt của đá**

Cỡ sàng	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm
Lượng lọt sàng (%) (ASTM C33 Standard)	100	85 -100	10-30	0-10	0-5
Lượng lọt sàng (%)	100	92,5	14	8	1.5

**Bảng 3.1. Kết quả tính toán thành phần HSC 60MPa sử dụng NS và FA**

Cấp phối	Vật liệu thành phần cho 1m <sup>3</sup> bê tông HSC							
	Cement (kg)	Cát (kg)	Đá (kg)	FA (kg)	NS (kg)	PGSD (lít)	Nước (lít)	N/CKD
NS0	338,34	700,54	1046,5	145,00	-	4,06	154,67	0,32
NS0,5	335,92	699,68	1046,5	145,00	2,42	4,54	154,67	0,32
NS1,0	333,51	698,85	1046,5	145,00	4,83	5,10	154,67	0,32
NS1,5	331,09	698,00	1046,5	145,00	7,25	5,63	154,67	0,32

\* Nhận xét: Bảng cấp phối bê tông HSC là cơ sở để nhóm nghiên cứu triển khai thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý như: cường độ nén, kéo uốn, độ mài mòn, mô-đun đàn hồi... của bê tông HSC, nhóm tác giả đã và đang triển khai thí nghiệm sẽ được công bố trong số tạp chí tiếp theo.



**Hình 2.5: Biểu đồ cấp phối thành phần hạt đá theo ASTM C33**

**2.6. Phụ gia hóa học siêu dẻo (PGSD)**

Sika Viscocrete 3000-20M là phụ gia siêu dẻo được cung cấp bởi Sika Group. Khả năng giảm nước cao của nó cho phép tạo ra tính lưu động tốt trong khi vẫn giữ được độ cô đọng tối ưu của hỗn hợp. Theo TCVN 8826: 2011, phụ gia này phù hợp với các tiêu chuẩn đã được thiết lập để bổ sung hóa học vào bê tông. Sika Viscocrete 3000-20, phụ gia siêu dẻo công nghệ cao gốc polyme thế hệ thứ 3 với độ xốp tuyệt vời và khả năng thẩm đơn giản của bê tông, đã được sử dụng trong thiết kế cấp phối thành phần bê tông HSC.

**3. THIẾT KẾ THÀNH PHẦN CẤP PHỐI BÊ TÔNG HSC**

Nghiên cứu sử dụng phương pháp ACI 211.4R-08 [20] và tham khảo TCVN 10306:2014 để thiết kế thành phần HSC. Phương pháp ACI: Các giai đoạn thiết kế thành phần của HSC sử dụng NS đã được thực hiện theo đúng hướng dẫn kỹ thuật để ra. Độ sụt của hỗn hợp bê tông đã được điều chỉnh để đảm bảo lưu động cần thiết theo thiết kế. Đặc điểm kỹ thuật ACI được sử dụng để tính toán và thiết kế thành phần bê tông với cường độ cụ thể là 60 MPa. FA được sử dụng trong bê tông để cải thiện cường độ và tái tạo hàm lượng xi măng [21]. Sau đó, NS được sử dụng với nhiều tỷ lệ khác nhau trong các thành phần cấp phối, bao gồm 0,5%, 1,0%, và 1,5%, với hàm lượng FA cố định 30% theo tổng số lượng chất kết dính. Tỷ lệ nước trên chất kết dính được giữ ở mức 0,32 cho tất cả các hỗn hợp. Tỷ lệ cấp phối của 4 hỗn hợp được trình bày trong Bảng 3.1. Có thể thấy rằng, PGSD được tăng dần để kiểm soát giá trị độ sụt của các hỗn hợp ở mức 5 ± 1 cm.

#### 4. KẾT LUẬN

Các nghiên cứu về bê tông xi măng có thành phần NS đã được rất nhiều tác giả nghiên cứu, nhưng nhìn chung các tác giả chỉ thực nghiệm các chỉ tiêu về độ bền của hỗn hợp bê tông thông thường. Ngoài ra, khi sử dụng phụ gia kết hợp NS và FA trong thiết kế thành phần bê tông HSC còn rất ít các nhà nghiên cứu chuyên sâu làm rõ giá trị về tính chất cơ lý của bê tông HSC. Do đó, việc khảo sát và phân tích các chỉ tiêu cơ lý hóa của vật liệu trong thành phần bê tông HSC là kết quả bước đầu của nhóm tác giả đưa ra. Trên cơ sở đó sẽ triển khai thí nghiệm làm rõ vấn đề về các chỉ tiêu cơ lý khi sử dụng hàm lượng NS từ 0,5%, 1,0% và 1,5% với hàm lượng FA là 30% tỷ lệ nước trên chất kết dính được giữ ở mức 0,32 cho tất cả các hỗn hợp trong thành phần của bê tông HSC. Nghiên cứu này nhằm góp phần tạo ra sản phẩm bê tông HSC thân thiện với môi trường, phục vụ các công trình xây dựng nói chung và công trình mặt đường ô tô cấp cao nói riêng.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Thủ Dầu Một trong Đề tài mã số DT.21.2-022.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. Chen, J.-F.; Ding, H.-M.; Wang, J.-X.; Shao, L. (2004), *Preparation and characterization of porous hollow silica nanoparticles for drug delivery application*, *Biomaterials*, vol.25, pp.723-727.
- [2]. Wu, L.; Lu, Z.; Zhuang, C.; Chen, Y.; Hu, R. (2019), *Mechanical Properties of Nano SiO<sub>2</sub> and Carbon Fiber Reinforced Concrete after Exposure to High Temperatures*, *Materials*, vol.12, p.3773.
- [3]. Tambichik, M.A.; Mohamad, N.; Samad, A.A.A.; Bosro, M.Z.M.; Iman, M.A. (2018), *Utilization of construction and agricultural waste in Malaysia for development of Green Concrete: A Review*, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol.140, p.01234.
- [4]. Hossain, S.S.; Mathur, L.; Roy, P.K. (2018), *Rice husk/ rice husk ash as an alternative source of silica in ceramics: A review*, *J. Asian Ceram. Soc.*, vol.6, pp.299-313.
- [5]. V. Le, C. Thuc and H. Thuc (2013), *Synthesis of silica nanoparticles from Vietnamese rice husk by sol-gel method*, *Nanoscale Res. Lett.*, vol.8, p.58.
- [6]. Venkateswaran, S.; Yuvakkumar, R.; Rajendran, V. (2013), *Nano Silicon from Nano Silica Using Natural Resource (RHA) for Solar Cell Fabrication*, *Phosphorus Sulfur Silicon Relat. Elem.*, vol.188, pp.1178-1193.
- [7]. Fares, G.; Khan, M.I. (2013), *Nanosilica and its Future Prospects in Concrete*, *Adv. Mater. Res.*, vol.658, pp.50-55.
- [8]. Z. Luo, X. Cai, R. Hong, L. Wang and W. Feng. (2012), *Preparation of silica nanoparticles using silicon tetrachloride for reinforcement of PU*, *Chem. Eng. J.*, vol.187, pp.357-366.
- [9]. Y. Qing; Z. Zenan; K. Deyu; C. Rongshen. (2007), *Influence of nano-SiO<sub>2</sub> addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume*, *Construction and Building Material*, vol.21, pp.539-545.
- [10]. Nguyễn Văn Hưng, Nguyễn Ngọc Bích, Nguyễn Hữu Nghị, Trần Hữu Bằng, Đặng Thị Thanh Lê (2015), *Điều*

*chế vật liệu nano SiO<sub>2</sub> cấu trúc xốp từ tro trấu để hấp thụ xanh Metylen trong nước*, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, *Tạp chí Hóa học*, tập 53, số 4, tr. 491-496.

[11]. Rivera, R.A.; Sanjuán, M.Á.; Martín, D.A (2020), *Granulated Blast-Furnace Slag and Coal Fly Ash Ternary Portland Cements Optimization, Sustainability*, vol.12, p.5783.

[12]. Sanjuán, M.A.; Argiz, C.; Mora, P.; Zaragoza, A. (2020), *Carbon Dioxide Uptake in the Roadmap 2050 of the Spanish Cement Industry*, *Energies*, vol.13, p.3452.

[13]. Jalal, M.; Pouladkhan, A.; Harandi, O.F.; Jafari, D. (2015), *Comparative study on effects of Class F fly ash, nano silica and silica fume on properties of high performance self compacting concrete*, *Constr. Build. Mater.*, vol. 94, pp.90-104.

[14]. Li, Y.J.; Gong, Y.L.; Yin, J. (2011), *Strength and Durability of High Performance Road Concrete Containing Ultra-Fine Fly Ash*, *Appl.Mech. Mater.*, vol.99, pp.1264-1268.

[15]. Wang, L.E.I.; Guo, F.; Yang, H.; Wang, Y.A.N.; Tang, S. (2020), *Comparison of fly ash, PVA fiber, MGO and shrinkage reducing admixture on the frost resistance of face slab concrete pore structural and fractal analysis*, *Fractals*, vol.29, p.2140002.

[16]. Wang, L.E.I.; Jin, M.; Guo, F.; Wang, Y.A.N.; Tang, S. (2020), *Pore structural and fractal analysis of the influence of fly ash and silica fume on the mechanical property and abrasion resistance of concrete*, *Fractals*, vol.29, p.2140003.

[17]. Amin, M.; Abu el-hassan, K. (2015), *Effect of using different types of nano materials on mechanical properties of high strength concrete*, *Constr. Build. Mater.*, vol.80, pp.116-124.

[18]. ASTM C33 (1999), *Standard Specification for Concrete Aggregates*, ASTM West Conshohocken, PA, USA.

[19]. ASTM C29 (2017), *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*, ASTM: West Conshohocken, PA, USA.

[20]. ACI 211.4R-08 (2008), *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Mater*, ASTM: West Conshohocken, PA, USA.

[21]. Zhang, P.; Li, Q.-fu. (2013), *Effect of silica fume on durability of concrete composites containing Fly Ash*, *Sci. Eng. Compos. Mater.*, vol.20, pp.57-65.

**Ngày nhận bài: 21/01/2022**

**Ngày chấp nhận đăng: 19/02/2022**

**Người phản biện: TS. Nguyễn Văn Du**

**TS. Vũ Việt Hưng**