

# Ứng xử của dầm bê tông cốt thép tái chế sử dụng phụ gia Silica-Fume gia cường bằng tấm CFRP

Behavior of reinforced concrete beams using recycled aggregates and silica-fume admixtures strengthening with CFRP sheets

> NGUYỄN THANH HƯNG<sup>1\*</sup>, VƯƠNG HOÀNG THẠCH<sup>2</sup>, VIÊN TẤN LỰC<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

<sup>2</sup> Sở Xây dựng An Giang

<sup>3</sup>SV Khoa Chất lượng cao, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

## TÓM TẮT

Kết cấu bê tông cốt thép sử dụng cốt liệu tái chế đang được nhiều nhà nghiên cứu trong và ngoài nước quan tâm, nhất là hiện nay nguồn cốt liệu tự nhiên đang dần cạn kiệt, diện tích đất để chôn lấp những phế thải xây dựng cũng dần bị thu hẹp. Cho nên việc tái sử dụng phế thải xây dựng cần phải có các nghiên cứu đầy đủ hơn để có cơ sở khoa học cho việc ứng dụng cốt liệu tái chế này. Bài báo trình bày kết quả thí nghiệm thu được của 04 dầm BTCT có các kích thước 200 × 300 × 1800 mm, trong đó 01 dầm dùng cốt liệu tự nhiên và 03 dầm dùng cốt liệu tái chế. Các dầm dùng cốt liệu tái chế tương ứng 30%, 50%, 70% và Silica-Fume 10 % cho các dầm. Dầm được gia cường bằng phương pháp dán tấm CFRP, mỗi quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị của mỗi dầm được xác định thông qua thí nghiệm uốn ba điểm. Kết quả thí nghiệm cho phép phân tích đánh giá ứng xử uốn của dầm bê tông cốt thép sử dụng cốt liệu bê tông tái chế có phụ gia Silica-Fume được gia cường kháng uốn bằng phương pháp dán tấm sợi CFRP.

**Từ khoá:** Dầm bê tông cốt thép; Silica-Fume; bê tông tái chế; tấm CFRP; gia cường.

## ABSTRACT

Reinforced concrete structures using recycled aggregates are attracting the attention of many domestic and foreign researchers. In particular, in the present condition that natural aggregate sources are gradually exhausted, the land area for burying construction wastes is also shrinking progressively. Therefore, the reuse of construction waste needs more complete studies to have a scientific basis for the application. This paper presents the experimental results obtained from 04 reinforced concrete beams with dimensions of 200 × 300 × 1800 mm. One beam uses natural aggregate, and the 03 remaining beams use recycled aggregate. The beams use recycled aggregate at 30%, 50%, 70%, and 10% Silica-Fume rates. The beams are reinforced by CFRP sheet bonding. The relationship between load and displacement of each beam was determined through a three-point bending test. The experimental results allow analyzing and evaluating the bending behavior of reinforced concrete beams using recycled concrete aggregates with Silica-Fume admixture strengthening with CFRP sheets.

**Keywords:** reinforced concrete beams; Silica-Fume; recycled concrete; CFRP sheet; strengthening.

## 1. MỞ ĐẦU

Kết cấu bê tông cốt thép sử dụng cốt liệu tái chế đang được nhiều nhà nghiên cứu trong và ngoài nước đặc biệt quan tâm, nhất là hiện nay nguồn cốt liệu tự nhiên đang dần cạn kiệt, diện tích đất để chôn lấp phế thải xây dựng cũng dần bị thu hẹp. Do vậy, việc sử dụng tái chế phế thải bê tông trong xây dựng làm giảm thải giúp bảo vệ môi trường, hạn chế việc khai thác và sử dụng nguồn nguyên vật liệu tự nhiên là rất cần thiết. Để sử dụng có hiệu quả và

an toàn phế thải từ bê tông, một số tác giả đã nghiên cứu tái chế phế thải bê tông, thiết kế thành phần bê tông và các tính đặc tính cơ học của bê tông sử dụng cốt liệu tái chế [1]. Kết quả nghiên cứu cho thấy bê tông sử dụng cốt liệu tái chế có tính chất cơ học thấp hơn bê tông sử dụng cốt liệu tự nhiên, nên khả năng chịu tải trọng của kết cấu bê tông cốt thép sử dụng cốt liệu tái chế thấp hơn kết cấu bê tông cốt thép dùng cốt liệu tự nhiên [2]. Với mục đích tăng cường độ và tính bền vững cho bê tông sử dụng cốt liệu tái chế

Bảng 1. Cấp phối các mẫu dầm

Mẫu dầm	Thành phần				Thành phần tái chế		
	tái chế (%)	Xi măng PC 40 (kg/m <sup>3</sup> )	Cát (kg/m <sup>3</sup> )	Đá (kg/m <sup>3</sup> )	Nước (l/m <sup>3</sup> )	chế (kg/m <sup>3</sup> )	Silica-Fume (kg/m <sup>3</sup> )
M1	-	28.395	60.48	129.6	16.65	-	-
M2	30	28.395	60.48	90.72	16.65	38.88	3.155
M3	50	28.395	60.48	64.8	16.65	64.8	3.155
M4	70	28.395	60.48	38.88	16.65	90.72	3.155

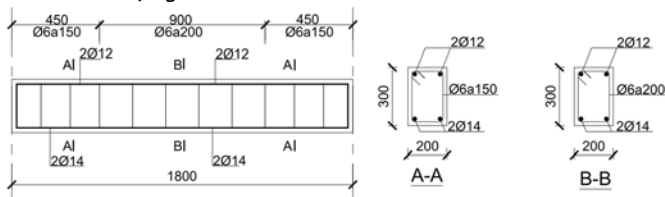
bằng cách sử dụng phụ gia Nano-Silica, xi kiềm giúp cải thiện được những đặc tính của bê tông và đã làm tăng được cường độ là rất đáng kể [3,4,5]. Những năm gần đây đã có một số kết quả nghiên cứu về ứng xử của dầm bê tông cốt thép sử dụng cốt liệu tái chế để thay thế một phần và toàn bộ cốt liệu tự nhiên, kết quả cho thấy ứng xử của dầm bê tông cốt thép sử dụng cốt liệu tái chế khá tương đồng với dầm sử dụng cốt liệu tự nhiên, tuy nhiên sự hình thành và phát triển vết nứt có sự khác biệt [6, 7].

Trong nước hiện nay nghiên cứu về kết cấu bê tông cốt thép sử dụng cốt liệu bê tông tái chế còn khá khiêm tốn, tuy nhiên đã có một số nghiên cứu liên quan đến vấn đề này [8]. Kết quả nghiên cứu về ứng xử cơ học của mẫu bê tông và kết cấu dầm bê tông cốt thép sử dụng cốt liệu tái chế kết hợp với chất kết dính xi kiềm hoạt hóa, cho thấy cốt liệu bê tông tái chế sử dụng chất kết dính xi kiềm có tính chất cơ học và mô men kháng nứt tốt hơn so với cốt liệu bê tông tái chế sử dụng xi măng, nhưng số lượng vết nứt và sự phát triển bề rộng vết nứt của dầm giảm không đáng kể [9]. Để tăng hiệu quả khả năng làm việc cho kết cấu đã có một số nghiên cứu về việc sử dụng tấm CFRP để gia cường cho kết cấu để đánh giá về cơ chế phá hoại, tình trạng nứt của kết cấu dầm bê tông cốt thép [10]. Tuy nhiên các nghiên cứu đi sâu về kết cấu bê tông cốt thép sử dụng cốt liệu bê tông tái chế sử dụng phụ gia Silica-Fume gia cường bằng CFRP còn hạn chế. Để làm rõ hơn bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thí nghiệm thu được từ 04 dầm BTCT có các kích thước 200 × 300 × 1800 mm, trong đó 01 dầm dùng cốt liệu tự nhiên và 03 dầm dùng cốt liệu tái chế có phụ gia Silica-Fume.

## 2. CHƯƠNG TRÌNH THÍ NGHIỆM

### 2.1 Mẫu dầm thí nghiệm

Gồm 04 mẫu dầm bê tông cốt thép trong đó 01 dầm sử dụng bê tông cốt tự nhiên (M1), 03 dầm sử dụng bê tông cốt liệu tái chế 30%; 50%; 70% (khối lượng riêng) cho mỗi dầm (M2, M3, M4) và 10% (khối lượng riêng) phụ gia Silica-Fume. Hình 1 thể hiện kích thước và cấu tạo của dầm, các dầm sử dụng 2 thanh Ø14 trong vùng chịu kéo và 2 thanh Ø12 trong vùng chịu nén, thép Ø6 được sử dụng làm cốt thép đai với khoảng cách 150mm đoạn đầu dầm và 200mm đoạn giữa dầm.



Hình 1. Mẫu dầm thí nghiệm

### 2.2 Vật liệu

#### 2.2.1 Bê tông

Trong nghiên cứu này loại bê tông được dùng đó là bê tông sử dụng cốt liệu đá tự nhiên và cốt liệu bê tông tái chế có phụ gia

Silica-Fume, với chi tiết thiết kế cấp phối được thể hiện trong bảng 1. Tỷ lệ cấp phối được thiết kế với hai loại bê tông sử dụng cốt liệu tự nhiên và bê tông sử dụng cốt liệu tái chế đạt được cường độ chịu nén trung bình trong 28 ngày là 22 MPa theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3118:1993 [11].

#### 2.2.2 Cốt thép

Cốt thép đường kính 14mm, đường kính 12 mm được dùng làm cốt thép chịu lực và đường 6mm làm cốt đai được sử dụng cho tất cả các mẫu dầm, các thông số của cốt thép được thể hiện trong bảng 2 thuộc nhóm thép CB300-V theo tiêu chuẩn TCVN 1651-2:2018 [12].

Bảng 2. Thông số của cốt thép

Mác thép	Giới hạn chảy (MPa)	Giới hạn bền (MPa)	Độ giãn dài sau khi đứt (%)
CB300-V	300	450	16

#### 2.2.3 Silica-Fume

Trong bê tông Silica-Fume có thể phân bố ở khoảng trống giữa các hạt xi măng và tham gia phản ứng với các sản phẩm thủy hóa xi măng hình thành các khoáng mới. Nhờ đó cải thiện được cấu trúc, độ chống thấm, cường độ, độ bền lâu và khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông trong các môi trường xâm thực. Trong nghiên cứu này Silica-Fume được sử dụng 10% cho mẫu dầm M2, M3, M4 với các thông số kỹ thuật trong bảng 3.

Bảng 3. Thông số của Silica-Fume

Gốc	Silica fume pozzolanic
Khối lượng thể tích	2.15 kg/lít
Khối lượng riêng	0.5-0.7 kg/lít
Hàm lượng clorua	Không có
Hàm lượng silica fume	SiO <sub>2</sub> 92%

#### 2.2.4 Tấm CFRP UT70-30G

Để tăng khả năng chịu tải trọng cho các mẫu dầm, trong nghiên cứu này sử dụng loại tấm CFRP UT70-30G như trong hình 2 với các thông số trong bảng 4 để gia cường cho các mẫu dầm M1, M2, M3, M4.



Hình 2. Tấm CFRP UT70-30G

**Bảng 4. Thông số vật liệu tấm CFRP UT70-30G**

Trọng lượng sợi Carbon (g/m <sup>2</sup> )	Độ dày (mm)	Modul đàn hồi (GPa)
300	0.167	245

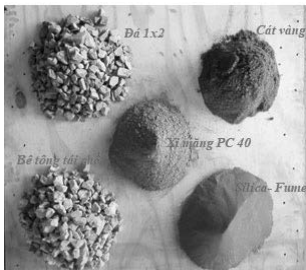
**2.2.5 Keo lót và keo phủ**

Keo dán được sử dụng bao gồm keo lót AUP40S có: lực bám dính với bê tông là 5 MPa; keo phủ AUR80S có: cường độ chịu kéo là 30 MPa, độ bền chịu uốn 40MPa và cường độ chịu nén là 70 MPa đã được sử dụng trong nghiên cứu này.

**2.3 Chuẩn bị mẫu dầm thí nghiệm**

**2.3.1 Vật liệu**

Trong hình 3 được thể hiện các loại vật liệu để chế tạo hai loại bê tông dùng cho dầm: Với dầm M1 sử dụng loại bê tông cốt liệu tự nhiên; dầm M2 sử dụng bê tông cốt liệu tự nhiên và cốt liệu tái chế 30% phụ gia Silica-Fume 10%; dầm M3 sử dụng bê tông cốt liệu tự nhiên và cốt liệu tái chế 50% phụ gia Silica-Fume 10%; dầm M4 sử dụng bê tông cốt liệu tự nhiên và cốt liệu tái chế 70% phụ gia Silica-Fume 10% và các dầm được gia cường kháng uốn bằng phương pháp dán tấm CFRP ở mặt đáy của dầm. Cường độ của bê tông đối với các mẫu dầm được thí nghiệm nén để xác định như trong hình 4.



**Hình 3.** Vật liệu sử dụng đúc các mẫu dầm



**Hình 4.** Nén mẫu bê tông

**2.3.2 Gia cường dầm bằng tấm CFRP**

Sau khi các dầm được chế tạo đúng theo thiết kế, dầm được bảo dưỡng để đảm bảo cường độ theo đúng tiêu chuẩn. Các mẫu dầm được gia cường bằng tấm CFRP của hãng Toray Nhật Bản loại UT70-30G, keo dán loại AUP40S và AUR80S được pha chế đúng theo tỷ lệ của nhà sản xuất. Tấm CFRP có kích thước rộng 200mm, dài 1800mm được dán vào đáy dầm tương ứng với vùng làm việc chịu kéo. Trước khi dán tấm CFRP, toàn bộ bề mặt của dầm được mài nhẵn bằng máy mài cầm tay (Hình 5), vệ sinh bề mặt sạch sẽ khô ráo để không làm ảnh hưởng đến chất lượng bám dính giữa keo gián và bề mặt bê tông.



**Hình 5.** Làm nhẵn mặt dầm bằng máy mài cầm tay



Keo lót AUP40S được sơn lên bề mặt dầm một lớp mỏng bằng con lăn sơn có độ dày đều trên dọc chiều dài của dầm, sau đó dán tấm CFRP lên mặt dầm đã phủ keo, tiếp theo sơn một lớp keo phủ AUR80S lên bề mặt của tấm CFRP bằng con lăn sơn (Hình 6).



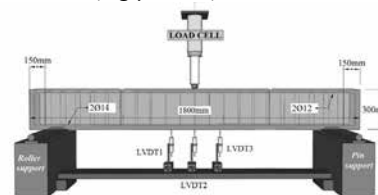
**Hình 6.** Gia cường tấm CFRP lên bề mặt dầm



**2.3.4 Thí nghiệm uốn dầm**

Thí nghiệm uốn ba điểm được thực hiện cho các mẫu dầm để có được biểu đồ quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị. Sơ đồ thí nghiệm được minh họa trên Hình 7(a). Khoảng cách từ gối tựa đến điểm đặt lực là 850 mm. Tải trọng tác dụng được tạo ra bởi kích thủy lực và hệ thống bơm dầu tự động, lực tác dụng được xác định bằng Load-Cell đo lực. Trên dầm thí nghiệm bố trí ba dụng cụ đo chuyển vị LVDT, trong đó LVDT1 và LVDT3 đặt cách LVDT2 là 200mm, LVDT2 đặt tại vị trí giữa dầm. Tất cả các dụng cụ đo được kết nối với bộ xử lý số liệu Data-Logger TDS-150, để ghi nhận số liệu tự động và liên tục.

Trong Hình 7(b) là thí nghiệm uốn thực hiện trên một dầm, quá trình gia tải với tải trọng được tăng từ từ cho đến khi dầm bị phá hoại. Thí nghiệm được kết thúc khi dầm xuất hiện những dấu hiệu bị phá hoại như bê tông vùng nén bị vỡ, lớp dán gia cường bị bong tách hoàn toàn. Từ những kết quả thí nghiệm có thể xác định các tham số đặc trưng cho khả năng chịu uốn của dầm, bao gồm: tải trọng phá hoại ( $P_{ph}$ , kN) là tải trọng lớn nhất dầm chịu được, chuyển vị của dầm tại thời điểm đạt đến tải trọng phá hoại ( $f_{ph}$ , mm) và dạng phá hoại của dầm.



**a)** Sơ đồ thí nghiệm dầm



**b)** Thí nghiệm uốn dầm

**Hình 7.** Thí nghiệm uốn ba điểm các mẫu dầm

**3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

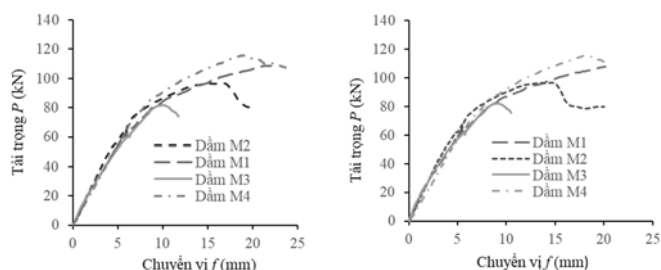
**3.1 Đặc trưng cơ học của bê tông**

Cường độ chịu nén của bê tông được xác định bằng thí nghiệm theo mẫu lập phương cho thấy với cấp phối được thiết kế, cường độ của các mẫu tương ứng với các dầm đã đạt được cường độ đặt ra của nghiên cứu này. Với các mẫu bê tông sử dụng cốt liệu tái chế có phụ gia Silica-Fume đạt được cường độ khá tương đồng khi có sự khác biệt khá lớn về cấp phối có hàm lượng cốt liệu tái chế. Điều này cho thấy rằng phụ gia Silica-Fume đã làm thay đổi đáng kể về mặt cơ học do: Một phần hạt Silica-Fume xâm nhập vào các lỗ rỗng trong cốt liệu bê tông tái chế; Các vết nứt và khuyết tật có sẵn trong cốt liệu bê tông tái chế được lấp đầy bằng các phản ứng hóa học.

**3.2 Quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị**

Hình 8 là biểu đồ quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị của 04 dầm, quan sát kết quả thu được cho thấy khá đồng nhất giữa các mẫu dầm M1, M2, M3, M4 và dầm được gia cường có mối quan hệ phi tuyến giữa tải trọng và chuyển vị khá rõ ràng. Tại một giá trị của tải trọng từ 0 kN đến 60 kN chuyển vị của các dầm khá tương đồng với nhau và độ cứng của các dầm tương đương nhau, điều

này cho thấy ảnh hưởng rõ việc gia cường của tấm CFRP. Với tải trọng từ 60 kN đến tải trọng phá hoại của các mẫu dầm cho thấy chuyển vị khác biệt hơn giữa các mẫu dầm, điều này cho thấy ứng xử của dầm thay đổi khá rõ và phụ thuộc vào cường độ của bê tông. Mặt khác từ Hình 8 cho thấy khả năng chịu tải của dầm M4 sử dụng bê tông cốt liệu tự nhiên và cốt liệu tái chế 70% phụ gia Silica-Fume 10% có khả năng chịu tải tốt hơn các dầm còn lại điều đó cho thấy dầm bê tông cốt thép sử dụng cốt liệu tái chế tới 70% và có phụ gia Silica-Fume 10% khi được gia cường bằng tấm CFRP là rất hiệu quả.



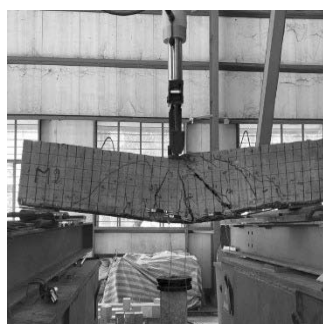
a) Biểu đồ tải trọng và chuyển vị giữa dầm (LVDT2) b) Biểu đồ tải trọng và chuyển vị bên trái dầm (LVDT1)

Hình 8. Biểu đồ tải trọng và chuyển vị của dầm

Kết quả thí nghiệm cho phép xác định, dầm gia cường M1 có tải trọng phá hoại là  $P_{ph} = 108.27$  kN, chuyển vị giữa nhịp tương ứng là  $f_{ph} = 22.07$  mm, dầm gia cường M2 có tải trọng phá hoại là  $P_{ph} = 96.4$  kN, chuyển vị giữa nhịp tương ứng là  $f_{ph} = 16.73$  mm, dầm gia cường M3 có tải trọng phá hoại là  $P_{ph} = 81.87$  kN, chuyển vị giữa nhịp tương ứng là  $f_{ph} = 10.19$  mm, dầm gia cường M4 có tải trọng phá hoại là  $P_{ph} = 115.71$  kN, chuyển vị giữa nhịp tương ứng là  $f_{ph} = 19.07$  mm. Do có sự tham gia làm việc chịu kéo của tấm dán CFRP gia cường ở đáy dầm, nên tải trọng thí nghiệm tăng đến tải trọng phá hoại do bê tông, mặt khác không có sự phá hoại giữa bề mặt lớp bê tông với tấm CFRP (Hình 9a), tiếp tục gia tải cho đến khi tải trọng không tăng nhưng chuyển vị tăng thì có sự bóc tách giữa lớp bê tông với tấm CFRP (Hình 9b).



a) Giai đoạn phá hoại dầm



b) Giai đoạn bóc tách giữa bê tông với CFRP

Hình 9. Hình ảnh phá hoại của dầm

## 5. KẾT LUẬN

Kết quả thí nghiệm của 04 dầm BTCT có các kích thước  $200 \times 300 \times 1800$  mm và được gia cường bằng phương pháp dán tấm CFRP. Trong đó 01 dầm dùng cốt liệu tự nhiên M1 và 03 dầm dùng cốt liệu tái chế tương ứng M2, M3, M4 cho các dầm. Từ kết quả nghiên cứu có thể đưa ra một số kết luận như sau:

- Cốt liệu bê tông tái chế thay thế cốt liệu tự nhiên đã thay đổi một số đặc trưng cơ học của bê tông, tuy nhiên, chất phụ gia Silica-Fume đã có khả năng cải thiện rõ các đặc trưng cơ học của bê tông tái chế khi ứng xử trong dầm.

- Lớp gia cường bằng tấm CFRP cho dầm làm tăng khả năng chịu kéo của dầm, nhưng không có sự phá hoại giữa bề mặt lớp bê tông với tấm CFRP (Hình 9) khi dầm đạt tới tải trọng phá hoại, cho thấy hiệu quả của việc gia cường đối với dầm bê tông cốt thép dùng cốt liệu tái chế có phụ gia Silica-Fume.

- Dầm bê tông cốt thép sử dụng cốt liệu tái chế có phụ gia Silica-Fume ứng xử uốn tương tự như dầm bê tông cốt liệu tự nhiên khi được gia cường bằng tấm CFRP và khi dầm được sử dụng cốt liệu tái chế tới 70% và có phụ gia Silica-Fume 10% được gia cường bằng tấm CFRP cho thấy rất hiệu quả.

## LỜI CẢM ƠN

Các tác giả xin chân thành cảm ơn phòng thí nghiệm Kết cấu Công trình, khoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM đã tạo mọi điều kiện thuận lợi để chúng tôi hoàn thành giai đoạn 1 của nghiên cứu này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bibhuti Bhusan Mukharjee and Sudhirkumar V Barai (2015), Development of construction materials using nano-silica and aggregates recycled from construction and demolition waste, Waste management & research, pp. 1-9.
- [2]. M. Rezania, M. Panahadeh, S.M.J. Razavi, F. Berto (2019), Experimental study of the simultaneous effect of nano- silica and nano- carbon black on permeability and mechanical properties of the concrete, Theoretical and applied fracture mechanics- 104 (2019).
- [3]. Ankit Agarwal, Shreya Bhusnur, T.Shanmuga Priya (2020), Experimental investigation on recycled aggregate with laboratory concrete waste and nano- silica, Materials today : Proceedings- 22(2020), pp. 1433-1442.
- [4]. M.S.I. Choudhury, A.F.M.S. Amin, M.M. Islam, A. Hasnat ( 2016), Effect of confining pressure distribution on the dilation behavior in FRP- confined plain concrete columns using stone, brick and recycled aggregates, Construction and building materials- 102(2016), pp.541-551.
- [5]. D. Vivek, K.S Elango, R. Saravanakumar, B. Mohamed Rafek, P. Ragavendra, S. Kaviarasan, E. Raguram, Effect of nano-silica in high performance concrete, Materials today : Proceedings.
- [6]. Bibhuti Bhusan Mukharjee, Sudhirkumar V. Barai (2014), Influence of nano-silica on the properties of recycled aggregate concrete, Construction and building materials- 55(2014), pp.29-37
- [7]. A.O. Adetukasi, O.G. Fadugba, I.H. Adebakin, O. Omokungbe (2020), Strength characteristics of fibre- reinforced concrete containing nano-silica, Materials today: Proceedings.
- [8]. Tống Tôn Kiên, CS. (2014), "Nghiên cứu chế tạo vữa xi kiềm sử dụng cốt liệu tái chế từ phế thải xây dựng", Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây dựng, (6), tr. 69-72.
- [9]. Tống Tôn Kiên, Lê Trung Thành (2017), Ứng xử cơ học của bê tông cốt liệu tái chế sử dụng xi măng và chất kết dính xi kiềm, Tạp chí khoa học công nghệ Xây dựng, số 5/09-2017, tr 30-36.
- [10]. Nguyễn Trung Hiếu, Lý Trần Cường (2018), Nghiên cứu thực nghiệm hiệu quả gia cường dầm bê tông cốt thép chịu xoắn bằng vật liệu tấm sợi các – bon CFRP, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam 3/2018, tr. 29-35.
- [11]. TCVN 3118:1993. Bê tông nặng – Phương pháp xác định cường độ nén của bê tông.
- [12]. TCVN 1651-2:2018. Thép cốt bê tông – Phần 2: Thép thanh vằn.