

# Ứng xử của dầm bê tông cốt thép tái chế có sử dụng phụ gia tro bay được gia cường bằng CFRP

Nguyễn Thanh Hưng<sup>1\*</sup>, Nguyễn Sỹ Hùng<sup>1</sup>, Vương Hoàng Thạch<sup>2</sup>, Lê Phạm Thanh Khương<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Sở Xây dựng, Tỉnh An Giang

<sup>3</sup> Sinh viên Khoa Đào tạo Chất lượng cao, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh

## TỪ KHÓA

Bê tông tái chế  
Tro bay  
Dầm bê tông cốt thép  
Tấm CFRP  
Gia cường

## TÓM TẮT

Trước tình trạng nguồn cốt liệu tự nhiên ngày càng cạn kiệt, các bãi chôn lấp chất thải xây dựng dần bị thu hẹp, việc tái chế rác thải xây dựng đã thu hút sự quan tâm nghiên cứu của các nhà khoa học trong và ngoài nước. Bê tông cốt thép (BTCT) sử dụng cốt liệu tái chế được xem là giải pháp hữu hiệu và khả thi để giải quyết vấn đề chất thải xây dựng. Bài báo thể hiện và phân tích kết quả thí nghiệm thu được từ 4 mẫu dầm BTCT có kích thước 200×300×1800 mm. Trong đó, 03 dầm sử dụng cốt liệu tái chế và 01 dầm sử dụng cốt liệu tự nhiên. Các dầm dùng cốt liệu tái chế tương ứng 30 %, 50 %, 70 % và tro bay 30 % cho các dầm. Gia cường dầm bằng tấm CFRP, thực hiện thí nghiệm uốn ba điểm để xác định mối quan hệ giữa tải trọng và độ võng của mẫu thí nghiệm. 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 tro bay được gia cường kháng uốn bằng phương pháp dán tấm sợi CFRP.

## KEYWORDS

Recycled concrete  
Fly ash  
Reinforced concrete beams  
CFRP sheet  
Reinforcement

## ABSTRACT

In the face of the situation that natural aggregate sources are increasingly depleted, construction waste landfills are gradually narrowed, the recycling of construction waste has attracted the research attention of domestic and foreign scientists. Reinforced concrete using recycled aggregate is considered an effective and feasible solution to solve the problem of construction waste. This paper presents and analyzes the experimental results obtained from 4 samples of reinforced concrete beams with dimensions of 200×300×1800 mm. In which, 03 beams use recycled aggregate and 01 beam uses natural aggregate. The beams use 30 %, 50 %, 70 % recycled aggregate, and 30 % fly ash, respectively. Reinforce beam with CFRP sheet, perform three-point bending test to determine the relationship between load and deflection of the test specimen. Experimental results allow analysis and evaluation of flexural behavior of reinforced concrete beams using recycled concrete aggregates with fly ash admixture reinforced with CFRP fiber panels.

## 1. Đặt vấn đề

Việc quá tải chất thải rắn, đa số từ các công trình xây dựng, đang là mối lo ngại lớn. Các vật liệu được tìm thấy trong chất thải xây dựng và phá dỡ là bê tông, đá, cốt liệu, thủy tinh, gỗ và cặn gốm, vv. Những chất này chiếm 25 % đến 45 % chất thải rắn trên thế giới mỗi năm. Song song đó, cốt liệu thô (cát, đá) đang bị cạn kiệt do tốc độ xây dựng tăng cao. Rác thải xây dựng và phá dỡ đã trở thành một vấn đề toàn cầu cần phải có giải pháp ngay lập tức. Một trong số những giải pháp khả thi nhất là tái chế cốt liệu từ rác thải xây dựng.

Đặt tiền đề và cơ sở khoa học cho việc sử dụng bê tông tái chế, các nghiên cứu thực nghiệm về cường độ uốn và độ bền của bê tông tái chế với các tỉ lệ khác nhau được diễn ra [1], kết quả cho thấy không có sự khác biệt đáng kể giữa momen đàn hồi, tuy nhiên độ cứng của dầm bê tông tái chế thấp hơn các dầm bê tông tự nhiên thể hiện ở

giá trị độ võng cuối của dầm bê tông tái chế lớn hơn dầm bê tông cốt thép tự nhiên [2]. Cùng với đó, các nghiên cứu về việc sử dụng phụ gia tro bay cho thấy bê tông chứa 32 % tro bay thể hiện các đặc tính độ bền vượt trội hơn so với bê tông thông thường chứa 100 % xi măng [3], nhờ vào chất hoạt hóa aquis  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  là chất hoạt hóa vượt trội đối với tro bay theo quan điểm tăng cường độ bền nén, kéo đứt và độ uốn của bê tông [4]. Với mục tiêu tăng cường khả năng chịu uốn và giảm thiểu khả năng hình thành vết nứt, phương án gia cường dầm bằng tấm CFRP được các nhà nghiên cứu quan tâm bởi tính khả thi và hiệu quả kinh tế. [5] Kết quả thực nghiệm thể hiện thép tính khả thi của phương pháp này là khá lớn. [6]

Ở trong nước, các nhà nghiên cứu tập trung nghiên cứu về ứng xử của kết cấu bê tông cốt liệu tái chế và gia cường cho bê tông cốt liệu tái chế để đảm bảo chất lượng so với bê tông thông thường [7]. Kết quả cho thấy chế tạo bê tông thường sử dụng cốt liệu bê tông tái chế

\*Liên hệ tác giả: nthung@hcmute.edu.vn

Nhận ngày 17/11/2022, sửa xong ngày 05/12/2022, chấp nhận đăng 10/01/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.01.2023.439>

đạt tính năng tương đương sử dụng cốt liệu đá tự nhiên [8]. Tuy vậy, các nghiên cứu về bê tông tái chế có phụ gia tro bay được gia cường bằng CFRP trong nước vẫn còn rất khiêm tốn và rời rạc. Để đi sâu hơn vào vấn đề này, bày báo trình bày kết quả thí nghiệm của các mẫu đầm bê tông cốt thép có cốt liệu tái chế với tỉ lệ lần lượt là 30 %, 50 %, 70 % cốt liệu tái chế có 30 % phụ gia tro bay và so sánh với mẫu đầm sử dụng cốt liệu tự nhiên, được gia cường bằng CFRP.

## 2. Vật liệu và quy trình thí nghiệm

### 2.1 Vật liệu

- Xi măng (Cement): là loại xi măng PCB40 đạt cường độ chịu nén 40 Mpa sau 28 ngày.
- Thép (Rebar): sử dụng thép Việt - Nhật, nhóm thép CB300-V đường kính  $\phi 14$  cho vùng chịu kéo, đường kính  $\phi 12$  cho vùng chịu nén, đường kính  $\phi 6a$  dùng làm cốt đai với khoảng cách 150 mm đoạn đầu đầm và 200 mm đoạn giữa đầm, thông số theo tiêu chuẩn TCVN 1651-2:2018 [9].
- Cốt liệu tự nhiên (Natural Aggregates): sử dụng loại đá xây dựng kích thước 1x2 cm.
- Cốt liệu tái chế (Recycle Concrete Aggregates): sử dụng phế thải bê tông từ phòng thí nghiệm vật liệu.
- Tấm CFRP UT70-30: Sử dụng loại tấm CFRP UT70-30G của hãng Toray Nhật Bản có trọng lượng sợi Carbon 300 (g/m<sup>2</sup>), độ dày 0,167 (mm), modul đàn hồi 245 (GPa).
- Keo lót và keo phủ: Nghiên cứu sử dụng các loại keo, bao gồm:
  - + Keo lót: AUP40S, lực bám dính 5 MPa;
  - + Keo phủ: AUR80S, cường độ chịu kéo 36 MPa, cường độ chịu nén 76 MPa.
- Tro bay (Fly Ash): Tro bay được biết đến như là một loại “puzzolan nhân tạo”, do đặc tính của nó tro bay được sử dụng để thay thế xi măng Pooc lăng trong bê tông. Trong thí nghiệm này, sử dụng tỷ lệ 30 % thay thế cho tất cả các đầm bê tông tái chế.

### 2.2. Cấp phối nghiên cứu

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

**Bảng 1.** Cấp phối các mẫu đầm.

Mẫu đầm	Thành phần tái chế (%)	Xi măng PCB40 (kg/m <sup>3</sup> )	Cát (kg/m <sup>3</sup> )	Đá (kg/m <sup>3</sup> )	Nước (l/m <sup>3</sup> )	Thành phần tái chế (kg/m <sup>3</sup> )	Tro bay (kg/m <sup>3</sup> )
D1	-	28,395	60,48	129,6	16,65	-	-
D2	30	19,875	60,48	90,72	16,65	38,88	8,52
D3	50	19,875	60,48	64,8	16,65	64,8	8,52
D4	70	19,875	60,48	38,88	16,65	90,72	8,52

### 2.3. Quy trình thí nghiệm

#### 2.3.1. Chuẩn bị mẫu đầm thí nghiệm

##### a. Mẫu đầm thí nghiệm

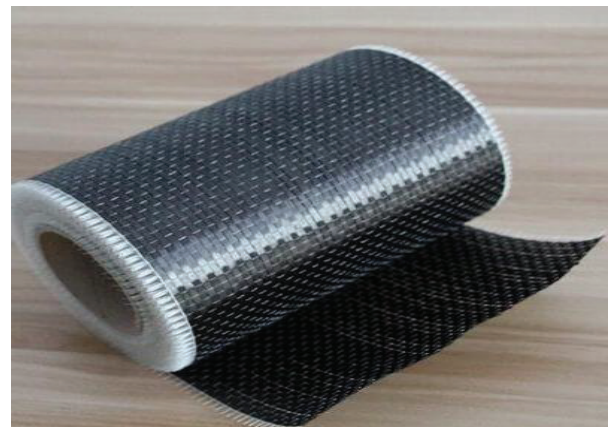
nén trung bình trong 28 ngày là 22 MPa theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3118:1993[9].



**Hình 1.** Cốt liệu tái chế sau xử lý.

**Bảng 1.** Thành phần hoá học của tro bay.

Thành phần hoá học	Hàm lượng (%)
SiO <sub>2</sub>	65,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,87
CaO	1,59
K <sub>2</sub> O	1,44
...	...

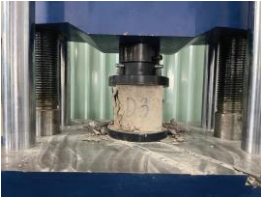


**Hình 2.** Tấm CFRP UT70-30G.

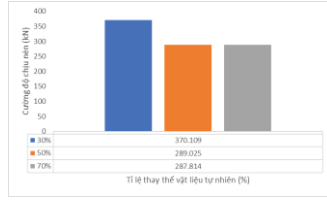
Quá trình nghiên cứu được thực hiện trên 4 mẫu đầm, được đặt tên là: D1, D2, D3, D4. Với cùng cấp phối, được thay thế cốt liệu tái chế theo tỷ lệ mỗi đầm lần lượt là:

- + Dầm D1: Cốt liệu tự nhiên;
- + Dầm D2: sử dụng 30 % phụ gia tro bay, 30 % cốt liệu tái chế, 70 % cốt liệu tự nhiên;
- + Dầm D3: sử dụng 30 % phụ gia tro bay, 50 % cốt liệu tái chế, 50 % cốt liệu tự nhiên;
- + Dầm D4: sử dụng 30 % phụ gia tro bay, 70 % cốt liệu tái chế, 30 % cốt liệu tự nhiên.

Tăng khả năng kháng uốn của dầm bằng phương pháp gia cường tấm CFRP ở mặt đáy dầm.



Hình 3a. Nén mẫu dầm.



Hình 3b. Biểu đồ tải trọng phá hủy của mẫu lập phương.

#### b. Gia cường tấm CFRP

Sau khi các mẫu thí nghiệm được chế tạo theo yêu cầu, tiến hành bảo dưỡng dầm trong vòng 3 tháng để đạt được cường độ theo đúng tiêu chuẩn. Khi đã đạt được cường độ, tiến hành gia cường CFRP và mặt đáy của dầm theo các bước sau:

- Bước 1: Chà nhám bề mặt đáy dầm;
- Bước 2: Phủ keo lót lên bề mặt đã được làm nhẵn bằng cọ lăn;
- Bước 3: Dán tấm CFRP gia cố kết cấu;
- Bước 4: Phủ lớp keo thứ 2;
- Bước 5: Bảo dưỡng dầm vừa gia cường.



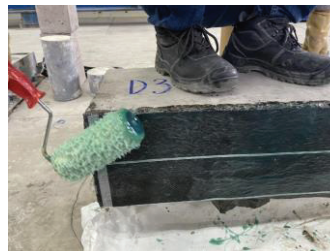
Hình 4. Làm nhẵn bề mặt dầm.



Hình 5. Phủ keo lót lên bề mặt đã làm nhẵn.



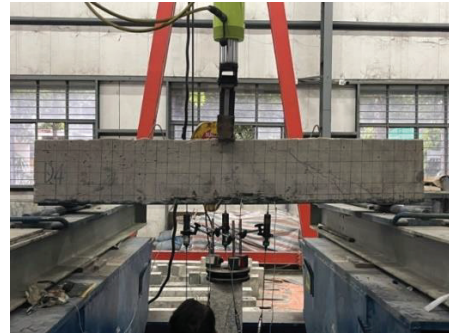
Hình 6. Dán tấm carbon lên bề mặt đã phủ keo.



Hình 7. Phủ tiếp lớp keo thứ 2.

#### 2.3.2. Tiến hành thí nghiệm

Tiến hành thí nghiệm uốn 3 điểm để có được biểu đồ thể hiện mối quan hệ P-Δ. Khoảng cách từ gối tựa đến điểm đặt lực là 0,80 (m). Bố trí 3 dụng cụ đo chuyển vị LVDT tại 3 điểm dưới đáy dầm. Lắp các thiết bị đo bề rộng vết nứt lên mặt bên của dầm. Tất cả các dụng cụ đo được kết nối với bộ xử lý số liệu data - logger TDS-530, để ghi nhận số liệu tự động và liên tục. Sử dụng kích thủy lực để gia tải cho dầm, tải trọng được thể hiện trên “Load Cell đo lực”.



Hình 8. Thí nghiệm uốn dầm.



Hình 9. Dầm bị phá hủy.

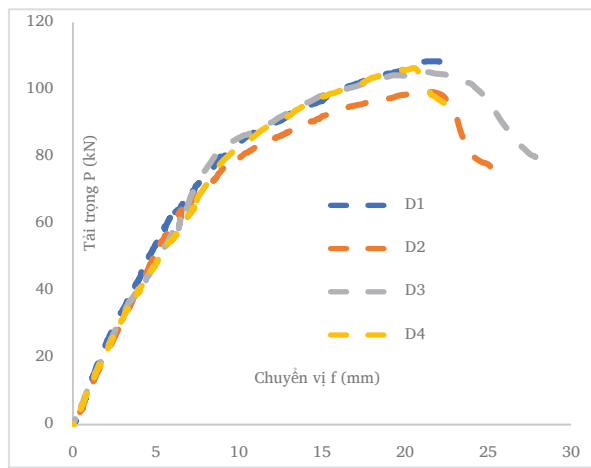
### 3. Kết quả thí nghiệm

#### 3.1. Ảnh hưởng của tro bay đến tính chất của bê tông

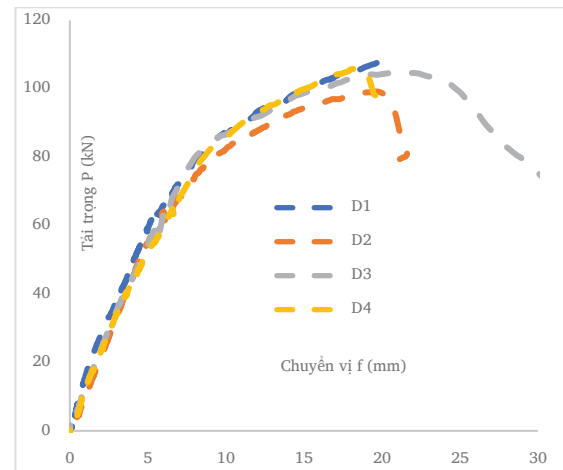
Phụ gia tro bay đã tác động và làm thay đổi đáng kể về mặt cơ học của bê tông nhờ vào chất hoạt hóa aquis  $Na_2SiO_3$  là chất hoạt hóa vượt trội đối với tro bay, do cấu trúc mịn, tro có thể làm tăng độ nhớt của vữa và giúp khử vôi  $CaO$  trong xi măng (thành phần vốn gây "nở", làm giảm chất lượng bê tông). Ngoài ra tro bay tăng hàm lượng kiềm trong bê tông giúp hòa tan các thành phần Silicat và Aluminat có trong tro bay. Tro bay góp phần giảm sự chênh lệch nhiệt độ của bê tông với môi trường, nhưng vẫn giữ được cường độ thiết kế phù hợp yêu cầu ban đầu.

Phân tích cho thấy rằng việc đưa tro bay vào bê tông đã lấp đầy các khoảng trống giữa các cốt liệu bằng cách hình thành các liên kết giúp nâng cao hiệu suất cơ học và độ bền bằng cách tạo ra một cấu trúc vi mô dày đặc hơn.

### 3.2. Mối quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị



a) Biểu đồ tải trọng và chuyển vị giữa dầm (LVDT2).



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

Hình 10. Biểu đồ tải trọng và chuyển vị của dầm.

Kết quả thí nghiệm được thể hiện trong Hình 10, kết quả thu được khá đồng nhất giữa các dầm. Ảnh hưởng của tấm CFRP được thể hiện rõ ràng dưới hình dạng vết nứt và chuyển vị. Kết quả thí nghiệm cho phép xác định, dầm gia cường D1 có tải trọng phá hoại là  $P_{ph} = 108,27$  kN; chuyển vị giữa nhịp tương ứng là  $f_{ph} = 20,11$  mm; dầm gia cường D2 có tải trọng phá hoại là  $P_{ph} = 99,2$  kN; chuyển vị giữa nhịp tương ứng là  $f_{ph} = 19,71$  mm, dầm gia cường D3 có tải trọng phá hoại là  $P_{ph} = 105,13$  kN; chuyển vị giữa nhịp tương ứng là  $f_{ph} = 21,38$  mm; dầm gia cường D4 có tải trọng phá hoại là  $P_{ph} = 106,41$  kN; chuyển vị giữa nhịp tương ứng là  $f_{ph} = 18,81$  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 9), 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.

Các kết quả thu được cho thấy dầm bê tông cốt liệu tái chế 70 % (D4) có khả năng chịu lực tốt nhất, chỉ ra rằng phương án đang nghiên cứu là hoàn toàn khả thi.

### 4. Kết luận

Bài báo thể hiện kết quả nghiên cứu khả năng chịu lực của dầm bê tông tái chế có phụ gia tro bay được gia cường bằng tấm CFRP, kết quả cho thấy:

- Tấm CFRP cho thấy hiệu quả rõ rệt, thể hiện ở khả năng chịu uốn và sự hình thành vết nứt của các mẫu dầm.
- Khả năng chịu lực của các mẫu dầm không quá chênh lệch, cho thấy tro bay có khả năng cân bằng cường độ bê tông một cách khá hiệu quả.
- Cường độ của dầm bê tông tái chế tăng dần theo tỉ lệ thay thế cốt liệu tái chế, khi thay thế lên đến 70 %, dầm có ứng xử khá tương tự dầm bê tông tự nhiên.

- Không như các phụ gia khác, tác dụng của tro bay được thể hiện rõ hơn trong thời gian bảo dưỡng dài ngày. Điều này phù hợp với nghiên cứu [10-12] được xem là do nước phản ứng với các hạt xi măng trước khi phản ứng với tro bay trong quá trình hydrat để tạo ra chất kết dính dẫn đến cường độ bê tông có tro bay phát triển chậm hơn.

- Từ kết quả thí nghiệm cho thấy, các mẫu dầm với các tỉ lệ tái chế khác nhau đều khá hiệu quả. Trong đó việc sử dụng bê tông tái chế với tỉ lệ 70 % cốt liệu tái chế, 30 % cốt liệu tự nhiên có 30 % phụ gia tro bay được gia cường bằng CFRP để thay thế dầm bê tông sử dụng cốt liệu tự nhiên là hoàn toàn khả thi.

### Tài liệu tham khảo

- [1]. Salomon M. Levy và Paulo Helene (2004). Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development, Cement and Concrete Research, Volume 34, Issue 11, November 2004, Pages 1975-1980.
- [2]. Mahdi Arezoumandi, Adam Smith, Jeffery S. Volz, Kamal H. Khayat (2015). An experimental study on flexural strength of reinforced concrete beams with 100 % recycled concrete aggregate, Engineering Structures, Volume 88, April 2015, Pages 154-162.
- [3]. Faiz U.A. Shaikh, Steve W.M. Supit (2015). Compressive strength and durability properties of high volume fly ash (HVFA) concretes containing ultrafine fly ash (UFFA), Construction and Building Materials, Volume 82, May 2015, Pages 192-205.
- [4]. Yasmin Hefni, Yehia Abd El Zaher, Mona Abdel Wahab (2018). Influence of activation of fly ash on the mechanical properties of concrete, Construction and Building Materials, Volume 172, May 2018, Pages 728-734.
- [5]. M Sai Krishna, G.A.V.S Sandeep Kumar, A Cyril Thomas (2021). Behaviour of reinforced concrete beams bonded with side bonded FRP sheets, materialstoday: PROCEEDINGS, Volume 43, Part 2, 2021, Pages 2404-2410.
- [6]. Ayman N. Ababneh, Rajai Z. Al-Rousan, Issam M.N. Ghaith (2020). Experimental study on anchoring of FRP-strengthened concrete beams, Structures, Volume 23, February 2020, Pages 26-33.
- [7]. Lê Anh Thắng, Nguyễn Thanh Hưng, Lê Ngọc Phương Thanh (2018). Thử

nghiệm cường độ chịu nén của bê tông có thành phần cốt liệu là bê tông tái chế, Tạp chí Xây dựng, 7/2018, tr.34-36.

- [8]. Tống Tôn Kiên, Lê Trung Thành (2017). Ứng xử cơ học của bê tông cốt liệu tái chế sử dụng xỉ măng và chất kết dính xi kiềm. Tạp chí KHCN xây dựng-Trường Đại học Xây dựng, ISSN 1859-2996, tập 11 số 5 (09/2017), tr.30-36.
- [9]. TCVN 1651-2:2018 Thép cốt bê tông – Phần 2: Thép thanh vằn.
- [10]. Upadhyay, R., et al., Effect of Fly Ash on Flexural Strength of Portland Pozzolona Cement Concrete. Journal of Academia and Industrial Research (JAIR), 2014. 3: p. 218-220.
- [11]. Akid, A., et al., Assessing the influence of fly ash and polypropylene fiber on fresh, mechanical and durability properties of concrete. Journal of King Saud University, 2021.
- [12]. Soares, D., et al., In situ materials characterization of full-scale recycled aggregates concrete structures. Construction and Building Materials, 2014. 71: p. 237-24.