

Quy trình thi công tấm FRP để gia cố và sửa chữa dầm bê tông cốt thép sử dụng kính tái chế bị hư hỏng

FRP panel construction for repairing damaged reinforced concrete beams with recycled glass aggregate

Đặng Trung Thành¹, Lâm Thanh Quang Khải^{2,*} và Phan Thành Thao³

¹Trường Đại học Mở - Địa Chất;

²Khoa Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây; ³Công ty CP Cấp nước Vĩnh Long;

*Tác giả liên hệ: Lamkhai@mtu.edu.vn

■ Nhận bài: 11/04/2025 ■ Sửa bài: 03/05/2025 ■ Duyệt đăng: 30/05/2025

TÓM TẮT

Tấm FRP ngày càng được sử dụng rộng rãi, đặc biệt trong việc gia cố và sửa chữa các cấu kiện bê tông cốt thép bị hư hỏng một phần hoặc bị hư hỏng hoàn toàn. Việc gia cường lại các cấu kiện công trình để đảm bảo khả năng chịu lực cũng như để tiếp tục sử dụng là hết sức cần thiết. Hiện tấm FRP có nhiều thông số kỹ thuật khác nhau, quy trình thi công khác nhau, tấm FRP sử dụng trên nhiều loại vật liệu khác nhau. Trong bài báo này, các tác giả đã đề xuất chủng loại vật liệu tấm FRP, quy trình để gia cố và sửa chữa các dầm BTCT bị hư hỏng hoàn toàn cho các dầm có sử dụng hàm lượng kính tái chế để thay thế cốt liệu cát trong việc chế tạo các dầm BTCT này và bị hư hỏng. Kết quả nghiên cứu cho thấy tấm FRP N300 với keo epoxy E500 có thể phục hồi đến 85% khả năng chịu lực của dầm trước khi bị hư hỏng hoàn toàn.

Từ khóa: FRP, dầm, bê tông, keo epoxy, kết cấu.

ABSTRACT

FRP panels are becoming more commonly utilized, particularly for the reinforcement and repair of partially or fully damaged reinforced concrete structures. It is essential to reinforce construction structures to ensure their load-bearing capacity and continued usability. At present, FRP panels show a variety of technical parameters and construction processes, and they are utilized across numerous types of materials. This paper presents a suggestion for a type of FRP panel material, detailing the process for reinforcing and repairing damaged reinforced concrete beams. The focus is on beams that include recycled glass content as a substitute for sand aggregate in their manufacture. Research results indicate that FRP N300 panels bonded with E500 epoxy glue can restore as much as 85 of the load-bearing capacity of the beam prior to complete damage.

Keywords: FRP, beam, concrete, epoxy glue, structure.

1. GIỚI THIỆU

Một số công trình được đặt trong môi trường khắc nghiệt hoặc sau một thời gian sử dụng đã làm suy giảm khả năng chịu lực của kết cấu và dẫn đến hư hỏng hoàn toàn.

Có nhiều phương pháp để gia cố và sửa chữa các cấu kiện bê tông cốt thép bị hư hỏng này như phương pháp đổ bù thêm một hoặc nhiều lớp bê tông có cường độ cao hơn lên cấu kiện hư hỏng nhằm tăng kích thước cho

cấu kiện, chúng vừa liên kết với kết cấu bị hư hỏng vừa tăng khả năng chịu lực và kéo dài thời gian sử dụng. Kể từ khi các vật liệu dạng tấm như tấm FRP (Fiber Reinforced Polymer) ra đời, việc sử dụng các tấm này dán lên bề mặt của bê tông đã làm cải thiện đáng kể tình trạng hư hỏng của các kết cấu bê tông cốt thép cho công trình.

Một số kết cấu hư hỏng thường gặp trong công trình như (Hình 1):



a) Bê tông bị ăn mòn



b) Bê tông bị phá hoại

Hình 1. Một số kết cấu hư hỏng thường gặp

Một số phương pháp gia cường và sửa chữa các cấu kiện bê tông cốt thép (Hình 2):



a) phương pháp đổ bù thêm bê tông



b) phương pháp dán tấm bề mặt bê tông

Hình 2. Một số phương pháp gia cường và sửa chữa cấu kiện bê tông

Tác giả [1] đã nghiên cứu về gia cường đỡ bù bê tông tăng tiết diện dầm bê tông cốt thép với một số phương án phổ biến như: đổ bù tăng tiết diện bê tông bằng một lớp bê tông bao ngoài bốn mặt, đổ bù tăng tiết diện bê tông bằng một lớp bê tông bao ngoài mặt đáy dầm và hông dầm, mặt trên dầm xử lý bằng một lớp tăng cường mỏng chống ăn mòn cốt thép, cho phép xử lý bề mặt trên của dầm sàn được tốt hơn, đổ bù thêm một lớp bê tông dưới đáy dầm. Tác giả đưa ra kết luận, trong khu vực tiếp giáp bê tông mới và bê tông cũ việc kiểm tra ứng suất tiếp giữa hai lớp vật liệu là rất cần thiết để đánh giá được hiệu quả của việc liên kết giữa bê tông mới và bê tông cũ qua đó đánh giá khả năng làm việc đồng nhất giữa cấu kiện cũ và phần được gia cường.

Gia cường bằng tấm thép bên ngoài đã được nghiên cứu thực nghiệm và đề xuất giải pháp lý thuyết để dự đoán các chế độ phá hủy dẻo/giòn của dầm bê tông cốt thép được gia cố bằng tấm thép. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm tại sáu dầm bê tông cốt thép gia cường bằng tấm thép và một dầm bê tông cốt thép không gia cường được chế tạo và thử nghiệm dưới tải uốn bốn điểm. Sau đó mô hình lý thuyết mới được phát triển để dự đoán cơ chế đứt gãy của dầm được gia cường bằng tấm thép bên ngoài [2].

Gia cường bằng tấm bên ngoài đã có nghiên cứu thực nghiệm gia cường sức kháng uốn cho dầm bê tông cốt thép bằng tấm CFRP ứng suất trước, kết quả nghiên cứu cho thấy sức kháng uốn của dầm gia cường CFRP có

ứng suất trước tăng hơn 2 lần so với dầm đối chứng và sức kháng uốn của dầm gia cường tấm CFRP không tạo ứng suất trước tăng 1,2 lần so với dầm đối chứng.

Ngoài ra còn có các nghiên cứu về sử dụng tấm BFRP để gia cường. Như vậy chứng tỏ rằng việc gia cường cấu kiện bê tông cốt thép bằng tấm CFRP, BFRP rất hiệu quả [3-7].

Nghiên cứu [8] đã sử dụng tấm FRP gia cường cho chín mẫu sàn bê tông cốt thép để phục hồi khả năng chịu tải của sàn bê tông cốt thép bị cháy. Một mẫu không bị cháy dùng làm mẫu đối chứng. Tám mẫu còn lại được chia làm hai nhóm, thời gian cháy của mỗi nhóm lần lượt là 45 phút và 75 phút. Sau khi cháy, hai mẫu của mỗi nhóm được gia cường bằng FRP, sau đó mang các mẫu đi thí nghiệm. Kết quả cho thấy bề mặt các mẫu sàn sau khi thí nghiệm cháy xuất hiện vết nứt chân chim.

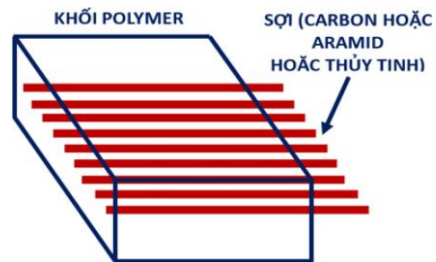
Kính tái chế được sử dụng thay thế cát trong bê tông để giảm phụ thuộc vào tài nguyên tự nhiên. Tuy nhiên, các dầm BTCT chứa kính tái chế thường có độ xốp cao hơn, dẫn đến nguy cơ nứt và giảm độ bền khi chịu tải, đòi hỏi các phương pháp gia cường hiệu quả như sử dụng tấm FRP. Nghiên cứu này đã sử dụng tấm FRP N300 (Hàn Quốc) kết hợp với keo epoxy E500 để gia cố và sửa chữa các dầm BTCT đã bị hư hỏng hoàn toàn bằng cách

dán tấm FRP lên 3 mặt của dầm BTCT, mà các dầm bị hư hỏng này có sử dụng cốt liệu kính tái chế thay thế cát trong các dầm.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu FRP (Fiber Reinforced Polymer)

Vật liệu FRP là một loại vật liệu nhẹ có cường độ chịu kéo cao, được tạo thành từ sợi carbon hoặc sợi thủy tinh, aramid với vật liệu gốc polyme, được minh họa như sau (Hình 3):

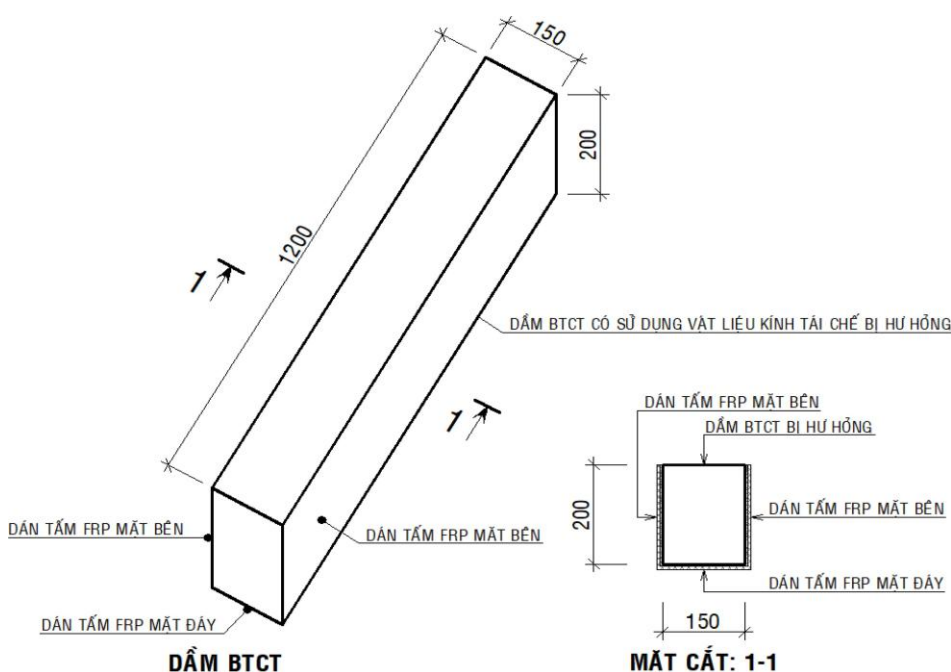


Hình 3. Thành phần cấu tạo vật liệu FRP [9]

2.2. Thiết kế gia cường các dầm BTCT bị hư hỏng bằng tấm FRP

Dầm được thu nhận từ đề tài nghiên cứu của tác giả [10]. Tác giả đã nghiên cứu thực nghiệm ứng xử của 7 dầm bê tông cốt thép khi sử dụng vật liệu kính tái chế thay thế cát trong bê tông. Các dầm được thí nghiệm nén uốn cho đến khi các dầm bị phá hoại.

Chi tiết thiết kế dán tấm FRP trên các dầm được trình bày ở (Hình 4).



Hình 4. Thiết kế gia cường các dầm BTCT bị hư hỏng bằng tấm FRP

2.3. Các thông số kỹ thuật của vật liệu gia cường (theo khuyến cáo của nhà sản xuất và mang tính tham khảo trong nghiên cứu)

2.3.1. Thông số kỹ thuật của các loại keo Epoxy:

* Keo epoxy E500 (Hình 5):

- Xuất xứ: Hàn Quốc
- Gốc hóa học: Epoxy hai thành phần
- Ngoại quan: Chất lỏng không màu (thành phần A), chất lỏng màu nâu (thành phần B)
- Thời gian thi công: 60 ± 10 phút
- Thời gian khô mặt: 14 ± 5 giờ
- Thời gian đông cứng: $24 \div 36$ giờ
- Tỷ lệ pha trộn: thành phần A: thành phần B = 1kg : 0,5kg
- Cường độ bám dính: 8 N/mm^2
- Cường độ chịu kéo: 35 N/mm^2
- Cường độ chịu nén: 65 N/mm^2



a) Keo epoxy E500(A) b) Keo epoxy E500(B)

Hình 5. Thùng chứa keo epoxy E500

* Keo epoxy TCK 510P (Hình 6)

- Xuất xứ: Hàn Quốc
- Gốc hóa học: Epoxy hai thành phần
- Ngoại quan: Chất lỏng màu trắng (thành phần A), chất lỏng màu nâu (thành phần B)
- Thời gian thi công: 60 ± 10 phút
- Thời gian khô mặt: 10 ± 2 giờ
- Thời gian đông cứng: $24 \div 36$ giờ
- Định mức: $0,2 \div 0,3 \text{ kg/m}^2$
- Tỷ lệ pha trộn: thành phần A: thành phần B = 1kg : 0,5kg

- Cường độ bám dính: 93 kgf/cm^2



a) Keo TCK 510P(A) b) Keo TCK 510P(B)

Hình 6. Thùng chứa keo epoxy TCK 510P

* Keo epoxy TCK 1401 (Hình 7)

- Xuất xứ: Hàn Quốc
- Gốc hóa học: Epoxy hai thành phần
- Ngoại quan: Chất lỏng màu trắng (thành phần A), chất lỏng màu đen (thành phần B)
- Thời gian thi công: 40 ± 10 phút
- Thời gian khô mặt: 14 ± 5 giờ
- Thời gian đông cứng: $24 \div 36$ giờ
- Tỷ lệ pha trộn: thành phần A: thành phần B = 1kg : 1kg
- Cường độ bám dính: $9,2 \text{ N/mm}^2$
- Cường độ chịu kéo: $39,2 \text{ N/mm}^2$
- Cường độ chịu nén: $85,3 \text{ N/mm}^2$



a) Keo TCK 1401(A) b) Keo TCK 1401(B)

Hình 7. Thùng chứa keo epoxy TCK 1401

* Keo epoxy TCK 510R (Hình 8)

- Xuất xứ: Hàn Quốc
- Gốc hóa học: Epoxy hai thành phần

- Ngoại quan: Chất lỏng màu trắng (thành phần A), chất lỏng màu xanh (thành phần B)

- Thời gian thi công: 60 ± 10 phút
- Thời gian khô mặt: 8 giờ
- Thời gian đông cứng: $24 \div 36$ giờ
- Định mức: $0,3 \div 0,5$ kg/m²
- Tỷ lệ pha trộn: thành phần A: thành phần B = 1kg : 0,5kg

- Cường độ bám dính: 113 kgf/cm²
- Cường độ chịu kéo: 450 kgf/cm²
- Cường độ chịu nén: 859 kgf/cm²



a) Keo TCK 510R(A) b) Keo TCK 510R (B)

Hình 8. Thùng chứa keo epoxy TCK 510R

2.3.2. Thông số kỹ thuật của tấm FRP

- Tên gọi: Tấm FRP N300 (Hình 9)
- Xuất xứ: Hàn Quốc
- Trọng lượng: 300 g/m²
- Độ dày tấm: 0,167 mm
- Cường độ chịu kéo: 3.400 N/mm²
- Mô đun đàn hồi kéo: 245.000 N/mm²
- Đóng gói: 50m x 0,5m



Hình 9. Tấm FRP N300

2.3.3. Dụng cụ sử dụng cho gia cường (Hình 10)



a) Máy mài

b) Máy khoan



c) Máy bơm keo bằng xy lanh



d) Kim bơm keo



e) Con lăn keo

Hình 10. Dụng cụ sử dụng cho gia cường

2.4. Quy trình thi công gia cường dầm

Đối với dầm chứa kính tái chế, bước vệ sinh bề mặt cần sử dụng máy mài với đĩa kim cương để tạo độ nhám, đảm bảo keo epoxy TCK 510P thấm sâu vào cấu trúc xốp của bê tông.

2.4.1. Vệ sinh bề mặt và xử lý vết nứt

Dùng máy mài làm phẳng mặt bê tông của các dầm và vệ sinh bề mặt bê tông dầm thật sạch bụi bẩn bằng máy thổi khí, dùng máy khoan cầm tay, khoan lỗ và lắp các kim bơm keo, để bơm keo epoxy E500 bằng máy bơm xy lanh vào các vết nứt của các dầm bê tông cốt thép có sử dụng vật liệu kính tái chế bị hư hỏng, để liên kết hai mặt bê tông lại với nhau, nhằm phục hồi lại khả năng chịu tải của dầm. Khi keo epoxy E500 đã đông cứng, tiến hành tháo bỏ các kim bơm keo và thực hiện việc tiếp theo (Hình 11).



a) Vệ sinh làm sạch bề mặt các dầm



b) Bơm keo epoxy E500 xử lý vết nứt cho dầm
Hình 11. Vệ sinh bề mặt và xử lý vết nứt dầm

2.4.2. Phủ lớp keo epoxy TCK 510P

Dùng cọ lăn keo epoxy TCK 510P lên bề mặt bê tông của các dầm để tạo liên kết chắc chắn của các lớp keo tiếp theo và tấm FRP vào bê tông của dầm (Hình 12).



Hình 12. Lăn phủ lớp keo epoxy TCK 510P lên bề mặt các dầm

2.4.3. Làm phẳng bề mặt bằng keo TCK 1401

Dùng cọ lăn keo epoxy TCK 1401 lên bề mặt bê tông của các dầm để vá các vết khuyết tạo phẳng bề mặt bê tông của dầm, nhằm liên kết chắc chắn của lớp keo epoxy TCK 510R và tấm FRP vào bê tông của dầm (Hình 13).



Hình 13. Lăn phủ lớp keo epoxy TCK 1401 lên bề mặt các dầm

2.4.4. Phủ lớp keo epoxy TCK 510R lần 1

Dùng cọ lăn keo epoxy TCK 510R lên bề mặt bê tông của các dầm để tạo liên kết chắc chắn của tấm FRP vào bê tông của dầm (Hình 14).



Hình 14. Lăn phủ lớp keo epoxy TCK 510R lên bề mặt các dầm

2.4.5. Dán tấm FRP

Dán tấm FRP vào bề mặt bê tông của các dầm, dùng cọ lăn lăn nhiều lần lên tấm FRP để tạo liên kết chắc chắn của tấm FRP vào mặt bê tông của dầm (Hình 15).



Hình 15. Dán tấm FRP lên bề mặt các dầm

2.4.6. Phủ lớp keo epoxy TCK 510R lần 2

Tiếp tục dùng cọ lăn keo epoxy TCK 510R lên tấm FRP để tăng khả năng chịu lực của tấm FRP và của dầm (Hình 16).



Hình 16. Lăn phủ lớp keo epoxy TCK 510R lần 2 lên bề mặt các dầm

2.4.7. Hoàn thiện

Sau 24 giờ khi công tác gia cường hoàn tất, tiến hành kiểm tra các khuyết tật như: sự xuất hiện bọt khí giữa tấm FRP và bề mặt bê tông, sự tách lớp giữa tấm FRP và bề mặt bê tông, nếp gấp của tấm FRP, độ bo sát của các cạnh dầm, vết nứt của lớp keo epoxy ngoài cùng, ... nhằm kịp thời sửa chữa các khuyết tật nếu có (Hình 17).



Hình 17. Các dầm được gia cường hoàn thiện

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả thí nghiệm

Các dầm thí nghiệm sử dụng kính tái chế (kích thước hạt 0.5–2 mm, thay thế 20% cát) có cường độ nén giảm 8% (28 MPa so với 30 MPa của dầm đối chứng), dẫn đến nứt sớm dưới tải trọng uốn. Điều này đòi hỏi quy trình gia cường FRP phải đảm bảo độ bám dính cao.

Bảy dầm BTCT (150×200×1200mm)

chứa 20% kính tái chế thay thế cát được thử nghiệm nén uốn theo TCVN 11823:2017. Các dầm được tải đến khi phá hủy hoàn toàn, sau đó gia cường bằng tấm FRP N300 và kiểm tra lại khả năng chịu lực.

Dầm được gia cố bằng tấm FRP trên bề mặt thí nghiệm (Hình 18a)



a) Thí nghiệm nén uốn các dầm dán tấm FRP

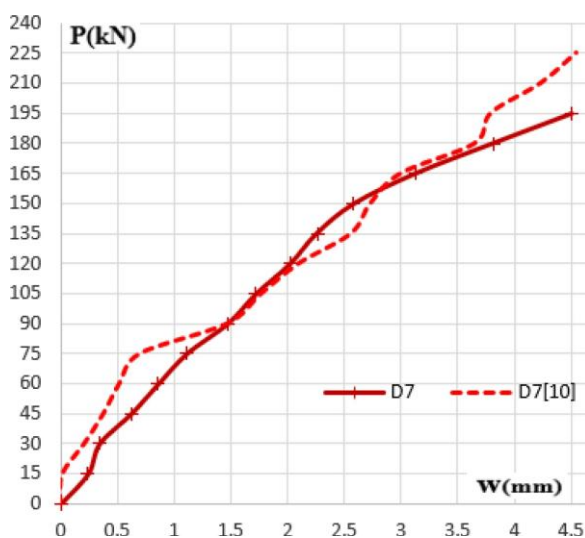


b) Thí nghiệm dầm [10]

Hình 18. Kết quả thí nghiệm dầm gia cố tấm FRP và dầm đối chứng [10]

3.2. Thảo luận

Chuyển vị trong dầm BTCT được gia cường bằng tấm FRP đạt đến 85% khả năng chịu lực (195/225 kN) so với dầm BTCT chưa bị hư hỏng (Hình 19).



Hình 19. So sánh quan hệ tải trọng và chuyển vị đứng trong các dầm

Do kính tái chế tạo bề mặt bê tông mịn hơn, độ bám dính của keo epoxy E500 đạt 8 N/mm², đủ để liên kết FRP. Tuy nhiên, độ xốp cao của bê tông kính tái chế làm giảm 5–10% khả năng chịu lực so với dầm thông thường. Có thể cải thiện bằng cách sử dụng keo TCK 510R hoặc tăng số lớp FRP.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đề xuất quy trình thi công tấm FRP N300 kết hợp keo epoxy E500, phục hồi 85% khả năng chịu lực của dầm BTCT chứa kính tái chế. Kết quả này mở ra tiềm năng ứng dụng cho các công trình bền vững. Hướng nghiên cứu tiếp theo bao gồm đánh giá độ bền dài hạn của hệ FRP trong môi trường khắc nghiệt và mở rộng ứng dụng cho cột, sàn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] C.D. Bách (2020), Tính toán gia cường đổ bù tăng tiết diện bê tông cốt thép có kể đến sự hư hỏng của dầm do nứt theo tài liệu của viện nghiên cứu nhà và công trình công nghiệp - Liên Bang Nga. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, số 1/2020, tr.9-15, 2020.
- [2]. Nguyen Van, H., Bui Tien, T., Pham Van, P., Nguyen-ngoc, L. (2022). An experimental study and a proposed theoretical solution for the prediction of the ductile/brittle failure modes of reinforced concrete beams strengthened with external steel plates. *Fracture and Structural Integrity*, 16(61), 198–213. DOI: 10.3221/IGF-ESIS.61.13
- [3]. Hùng, H. M., Phương, P. N. và Nam, P. H. (2021). Nghiên cứu thực nghiệm gia cường sức kháng uốn cho dầm bê tông cốt thép bằng tấm CFRP ứng suất trước, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng - ĐHXDHN*, 15(7V), tr 109-118. DOI: 10.31814/stce.huce(nuce)2021-15(7V)-10.
- [4]. N. T. Thanh, N. Q. Tùng (2019). Nghiên cứu hiệu quả gia cường cột trong công trình cao tầng bê tông cốt thép bằng tấm CFRP. *Tạp chí Xây dựng*, 11/2019, tr. 52-57
- [5]. Tín, H. X., Cường, N. H., & Long, N. M. (2022). Hiệu quả gia cường của tấm BFRP cho cột bê tông cốt thép bị ăn mòn chịu nén lệch

- tâm. *Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng - ĐHXDHN*, 16(5V), 10-24. DOI: 10.31814/stce.huce(nuce)2022-16(5V)-02
- [6]. H. X. Tín (2023). Ứng xử nén của cột bê tông cốt thép bị hư hỏng được gia cường bằng tấm CFRP và BFRP. *Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường đại học Bách Khoa, TP.HCM*
- [7]. N. M. Hùng, L. P. Lành và N. T. Hiếu (2021). Nghiên cứu thực nghiệm hiệu quả gia cường vai cột bằng tấm sợi composite gốc các bon CFRP. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng - ĐHXDHN*, 2021, 15 (5V), tr.146-156. DOI: 10.31814/stce.huce(nuce)2021-15(5V)-12
- [8]. V. B. Huy, Đ. V. Đệ và C. V. Vui (2021). Sử dụng FRP để phục hồi khả năng chịu tải của sàn bê tông cốt thép bị cháy. *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng*, 11(5), tr.86-91.
- [9]. N. A. Dũng (2024). *Vật liệu FRP trong sửa chữa gia cường kết cấu*. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://minhduccorp.com.vn/vat-lieu-frp-trong-sua-chua-gia-cuong-ket-cau>.
- [10]. H. H. Em (2024). Nghiên cứu thực nghiệm ứng xử của dầm bê tông cốt thép khi sử dụng vật liệu kính tái chế thay thế cát trong bê tông. *Đề án thạc sĩ kỹ thuật xây dựng, Trường ĐHXD Miền Tây*.