

Nghiên cứu ứng dụng vật liệu carbon fiber-reinforced polymer để gia cường kết cấu bê tông cốt thép

Đào Sỹ Đán^{1*}, Bùi Văn Đức², Trịnh Đức Cường³

¹Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông Vận tải, 3 Cầu Giấy, phường Láng Thượng, quận Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam

²Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 18 phố Viên, phường Đức Thắng, quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

³Học viên cao học, Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 18 phố Viên, phường Đức Thắng, quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 12/7/2023; ngày chuyển phân biện 18/7/2023; ngày nhận phân biện 28/7/2023; ngày chấp nhận đăng 1/8/2023

Tóm tắt:

Vật liệu carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) là một vật liệu mới trong lĩnh vực xây dựng. Vật liệu này có nhiều ưu điểm vượt trội so với các vật liệu xây dựng thông thường khác như: trọng lượng riêng rất nhẹ, cường độ rất cao nên hiệu quả gia cường lớn; thi công dễ dàng và nhanh chóng; không phải đục đẽo kết cấu; đặc biệt kích thước rất nhỏ gọn nên không làm thay đổi kiến trúc ban đầu của công trình. CFRP bắt đầu được áp dụng trong lĩnh vực xây dựng ở các nước tiên tiến từ những năm 1980, nhưng còn khá mới mẻ ở Việt Nam. Bài báo này trình bày các đặc tính kỹ thuật, quy trình công nghệ thi công, cơ sở thiết kế gia cường bằng CFRP. Từ đó, ứng dụng để thiết kế gia cường khả năng chịu uốn và chịu cắt cho một công trình nhà cao tầng bằng bê tông cốt thép cụ thể. Qua những phân tích và đánh giá cụ thể cho thấy, vật liệu CFRP hoàn toàn có thể ứng dụng tốt trong xây dựng, rất phù hợp cho việc gia cường kết cấu bê tông cốt thép. Bài báo là tài liệu tham khảo hữu ích cho các nhà nghiên cứu cũng như các kỹ sư quan tâm đến việc ứng dụng vật liệu CFRP trong gia cường kết cấu bê tông cốt thép.

Từ khóa: bê tông cốt thép, carbon fiber-reinforced polymer, khả năng chịu cắt, khả năng chịu uốn.

Chỉ số phân loại: 2.1, 2.5

Application study of carbon fiber-reinforced polymer material for strengthening reinforced concrete structures

Sy Dan Dao^{1*}, Van Duc Bui², Duc Cuong Trinh³

¹Faculty of Civil Engineering, University of Transport and Communications, 3 Cau Giay Street, Lang Thuong Ward, Dong Da District, Hanoi, Vietnam

²Faculty of Civil Engineering, Hanoi University of Mining and Geology, 18 Vien Street, Duc Thang Ward, Bac Tu Liem District, Hanoi, Vietnam

³Graduate student at Faculty of Civil Engineering, Hanoi University of Mining and Geology, 18 Vien Street, Duc Thang Ward, Bac Tu Liem District, Hanoi, Vietnam

Received 12 July 2023; revised 28 July 2023; accepted 1 August 2023

Abstract:

Carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) is a new material in the field of construction. This material has many outstanding advantages compared to conventional construction materials, such as: very lightweight, extremely high strength, resulting in high reinforcement efficiency; easy and fast installation; no need for drilling the structure; especially its compact size, which ensures it does not alter the original architectural dimensions of the structure. CFRP has been applied in the construction industry in advanced countries since the 1980s, but it is still relatively new in Vietnam. This article presents the technical characteristics, construction process, reinforcement design principles, and then applies them to design reinforcement for bending and shear capacity in a specific reinforced concrete high-rise building project. Through detailed analysis and evaluation, it can be concluded that CFRP can be effectively applied in construction and is highly suitable for reinforcing concrete structures. This article is expected to be a valuable reference for researchers and engineers interested in applying CFRP materials to reinforce concrete structures.

Keywords: carbon fiber-reinforced polymer, flexural resistance, reinforced concrete, shear resistance.

Classification numbers: 2.1, 2.5

*Tác giả liên hệ: Email: sydandao@utc.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Vật liệu polymer cốt sợi carbon (CFRP) là một vật liệu mới trong xây dựng. Nó bắt đầu được áp dụng trong xây dựng vào khoảng những năm 1980 ở Hoa Kỳ, Nhật Bản và châu Âu. Tấm CFRP có rất nhiều ưu điểm so với những vật liệu xây dựng thông thường khác [1]. Các ưu điểm nổi bật có thể kể ra như trọng lượng riêng rất nhẹ (khoảng 1/4 so với thép); cường độ rất cao nên hiệu quả gia cường lớn (gấp 5 đến 10 lần so với cốt thép thường); thi công dễ dàng, nhanh chóng và không mất thời gian chờ bê tông đông cứng (sau khi thi công khoảng 24 giờ có thể bắt đầu cho khai thác công trình trở lại); không phải đục đẽo kết cấu hiện tại nên rất an toàn và tốn ít nhân công; và đặc biệt kích thước rất nhỏ gọn (chỉ dày từ 0,5 đến 2 mm) nên không làm thay đổi kích thước kiến trúc ban đầu của công trình.

Trên thế giới, ngay từ khi vật liệu CFRP xuất hiện, đã rất được quan tâm nghiên cứu để ứng dụng trong thực tế xây dựng, đặc biệt là ứng dụng trong việc tăng cường khả năng chịu lực của kết cấu bê tông cốt thép [2-8]. Những nghiên cứu này xem xét nhiều vấn đề liên quan, như hoàn thiện quy trình công nghệ thi công tấm CFRP; đánh giá hiệu quả gia cường bằng tấm CFRP trong việc nâng cao khả năng chịu uốn, chịu cắt, chịu nén dọc trục và chịu nén uốn đồng thời của những cấu kiện bê tông cốt thép. Trong nghiên cứu của E. Ahmed và cs (2011) [2], một nghiên cứu thực nghiệm được thực hiện để khảo sát ảnh hưởng của số lớp CFRP, được dán ở mặt đáy dầm bê tông cốt thép thường. Khảo sát của M. Panjehpour và cs (2016) [3] khảo sát cường độ nén của các mẫu bê tông hình trụ tròn khi nó được tăng cường bởi các tấm CFRP quấn ngang thân mẫu. Nghiên cứu của H.S.A. Nimry và cs (2019) [5] xem xét đánh giá biểu đồ tương tác M-P của những cột bê tông cốt thép sau khi được tăng cường bằng những tấm CFRP quấn xung quanh. L. Jin và cs (2022) [7] đã làm nghiên cứu thực nghiệm để khảo sát ảnh hưởng của việc gia cường chống cắt kiểu chữ U bằng công nghệ CFRP đến việc tăng cường khả năng chống cắt của dầm bê tông cốt thép.

Ở Việt Nam, vật liệu CFRP bắt đầu được nghiên cứu và sử dụng trong thực tế xây dựng vào khoảng những năm 2000, muộn hơn so với các nước phát triển khoảng 20 năm. Vật liệu này đã bắt đầu được ứng dụng trong xây dựng ở Việt Nam, đặc biệt trong việc thiết kế gia cường khả năng chịu lực của kết cấu bê tông cốt thép. Cùng với sự phát triển nhanh của kết cấu bê tông cốt thép trong xây dựng ở Việt Nam, các nghiên cứu về vật liệu CFRP cũng đã và đang được quan tâm nhiều [9-15]. Hiện nay, vật liệu polyme cốt sợi carbon vẫn chưa được sản xuất ở Việt Nam và các nghiên cứu trong nước chủ yếu mang tính chất giới thiệu đặc tính sản phẩm, quy trình công nghệ thi công và phân tích khả năng áp dụng nó ở Việt Nam. Các phân tích về việc thiết kế tăng cường kết cấu bê tông cốt thép bằng công nghệ CFRP và các nghiên cứu thực nghiệm cũng bắt đầu được

quan tâm nghiên cứu. Trong nghiên cứu của H.V. Quan (2014) [8], vật liệu CFRP đã được phân tích, đánh giá và áp dụng tăng cường các trụ cầu cũ bằng bê tông cốt thép ở Việt Nam. Các phương pháp tăng cường cột bê tông cốt thép, bao gồm phương pháp tăng tiết diện (đổ thêm bê tông cốt thép), phương pháp ốp thêm thép hình và phương pháp dán tấm CFRP, đã được so sánh và đánh giá trong nghiên cứu của T.V. Phan và cs (2017) [10]. N.T. Hieu và cs (2019) [11] đã thực hiện nghiên cứu thực nghiệm để khảo sát hiệu quả của vật liệu CFRP đến khả năng chịu uốn của dầm bê tông cốt thép. D.S. Dan và cs (2021) [12] đã thực hiện một nghiên cứu thực nghiệm để khảo sát cường độ chịu nén của bê tông khi được kiểm chế sự nở ngang bằng tấm CFRP. Trong nghiên cứu của N.C. Cong và cs (2022) [14], một số phương pháp tăng cường kết cấu bê tông cốt thép đã được giới thiệu, trong đó phương pháp dùng vật liệu CFRP được đánh giá cao.

Vì nhiều lý do mà các công trình bê tông cốt thép cần phải được tăng cường khả năng chịu lực để đảm bảo khả năng khai thác an toàn. Các lý do đó có thể được chia thành ba giai đoạn: 1) thiết kế: tính toán thiếu cốt thép, tính toán thiếu tải trọng; 2) thi công: vật liệu đầu vào kém chất lượng, đặt thiếu và đặt sai vị trí cốt thép; và 3) khai thác: xảy ra hoả hoạn trong quá trình khai thác làm giảm chất lượng của bê tông, yêu cầu tăng tải trọng khai thác của công trình. Vì vậy, việc nghiên cứu các phương pháp tăng cường kết cấu bê tông cốt thép là hết sức cần thiết. Mục tiêu của nghiên cứu này là trình bày các đặc tính kỹ thuật, quy trình công nghệ thi công, cơ sở thiết kế và ứng dụng vào thiết kế chống uốn và chống cắt bằng vật liệu CFRP cho một công trình nhà cao tầng bằng bê tông cốt thép cụ thể. Bài báo này được hy vọng sẽ là tài liệu tham khảo tốt cho các kỹ sư cũng như các chuyên gia quan tâm đến việc ứng dụng vật liệu CFRP trong việc tăng cường kết cấu bê tông cốt thép ở Việt Nam.

2. Vật liệu polymer cốt sợi carbon và quy trình thi công

2.1. Vật liệu

Vật liệu polymer cốt sợi carbon là một loại vật liệu tổng hợp được cấu thành từ chất kết dính là keo epoxy và vải sợi carbon cường độ cao. Hiện nay, ở Việt Nam vẫn chưa tự sản xuất được cả hai vật liệu thành phần này, mà phải đặt mua từ các nước tiên tiến như Hoa Kỳ, Nhật Bản và châu Âu. Hiện nay, có nhiều nhà cung cấp sản phẩm CFRP ở nước ta như Tyfo, Mitsubishi, Horse, Maedakosen, QuakeWrap và Toray. Theo catalogue của các nhà cung cấp này, vải sợi carbon cường độ cao thường có 4 loại chiều dày khác nhau, từ dày đến mỏng như sau: 0,333 mm (600 g/m²); 0,222 mm (400 g/m²); 0,167 mm (300 g/m²); 0,111 mm (200 g/m²). Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu dùng vật liệu của Hãng Toray (Nhật Bản), một hãng lâu năm và uy tín để giới thiệu chi tiết. Đặc tính kỹ thuật của vải sợi carbon cường độ cao và keo epoxy đi kèm, theo Hãng Toray (Nhật Bản) được trình bày chi tiết trong các bảng 1 và 2.

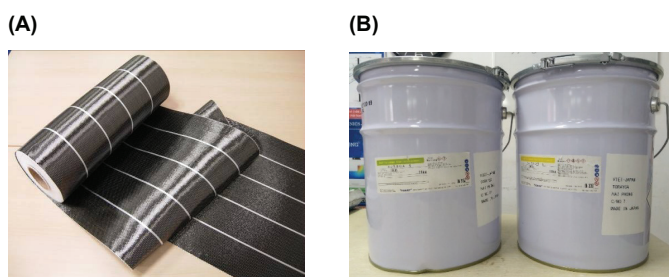
Bảng 1. Đặc tính kỹ thuật của vải sợi carbon cường độ cao.

Tên sản phẩm	Cường độ chịu kéo tối thiểu (MPa)	Mô đun đàn hồi kéo (GPa)	Độ dày (mm)	Trọng lượng (g/m ²)	Tỷ trọng (g/m ³)	Độ giãn dài kéo cực hạn (%)
UT70-20G	≥3400	230	0,111	200	1,8	≤2,0
UT70-30G	≥3400	230	0,167	300	1,8	≤2,0
UT70-40G	≥3400	230	0,222	400	1,8	≤2,0
UT70-60G	≥3400	230	0,333	600	1,8	≤2,0

Bảng 2. Đặc tính kỹ thuật của keo epoxy đi kèm.

Thông số kỹ thuật	Phương pháp thí nghiệm	Tên sản phẩm	
		Keo AUP40S	Keo AUR80S
Công dụng		Làm keo lót	Làm keo tẩm
Cường độ bám dính (MPa)	JIS K5600	≥2,0	≥2,0
Cường độ chịu kéo (MPa)	JIS K7161	-	≥3,0
Cường độ chịu cắt (MPa)	JIS K6850	-	≥10
Tỷ trọng	JIS K7112	1,20±0,1	1,70±0,1
Độ nhớt hỗn hợp (MPa.s)	JIS K7117	1200±600	≤10000
Màu hỗn hợp		Màu vàng	Màu xanh

Tấm vải sợi carbon cường độ cao thường được sản xuất thành từng cuộn có chiều rộng là 0,5 và chiều dài từ 50 m đến 100 m như hình 1A. Keo epoxy thường là keo hai thành phần A và B, với tỷ lệ trộn là A:B=2:1 và thường được đựng trong thùng kín như hình 1B dưới đây.

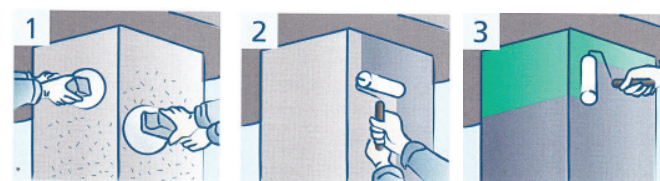


Hình 1. Sản phẩm vải sợi carbon cường độ cao (A) và keo epoxy của Hãng Toray (B).

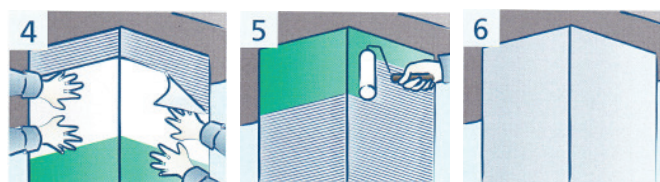
2.2. Quy trình công nghệ thi công vật liệu

Để cho tấm CFRP bám chắc vào bề mặt bê tông kết cấu, đảm bảo sự làm việc đồng bộ giữa các vật liệu, cần tuân thủ quy trình công nghệ thi công nghiêm ngặt. Theo kinh nghiệm đã thi công thực tế ở Việt Nam và hướng dẫn của hãng phân phối sản phẩm CFRP [1], quy trình thi công vật liệu CFRP thường bao gồm 6 giai đoạn như hình 2. Chi tiết các giai đoạn thi công và các chú ý trong quá trình thi công cụ thể như sau:

Giai đoạn 1: Chuẩn bị bề mặt bê tông kết cấu trước khi dán sợi
 Giai đoạn 2: Quét lớp keo lót lên bề mặt vừa chuẩn bị theo quy định
 Giai đoạn 3: Quét lớp keo tẩm lên trên lớp keo lót theo quy định



Giai đoạn 4: Dán lớp vải sợi carbon cường độ cao lên trên
 Giai đoạn 5: Quét lớp keo tẩm lên bề mặt vải sợi theo quy định
 Giai đoạn 6: Kiểm tra và hoàn thiện bề mặt



Hình 2. Quy trình công nghệ thi công vật liệu CFRP.

Giai đoạn 1: Việc chuẩn bị bề mặt bê tông kết cấu trước khi dán sợi là đặc biệt quan trọng; nó đảm bảo sự dính bám chắc chắn giữa bề mặt bê tông kết cấu hiện tại và tấm CFRP gia cường thêm. Trong bước này, bề mặt bê tông kết cấu hiện tại cần được mài phẳng để loại bỏ bụi bẩn và lớp bê tông kém chất lượng ở bề mặt kết cấu hiện tại. Nếu bề mặt bê tông kết cấu hiện tại có các khuyết tật, như có vết nứt, rỗ hoặc kém chất lượng thì chúng ta phải bơm keo không co ngót lấp đầy vết nứt, đục bỏ chỗ bê tông kém chất lượng và trám vá lại bằng vữa bê tông đông cứng nhanh và không co ngót trước khi mài phẳng. Trong bước này, việc cắt vải sợi carbon cường độ cao theo hồ sơ thiết kế, việc cân đo keo và việc pha trộn keo theo thiết kế cũng được thực hiện.

Giai đoạn 2: Lớp keo lót có khả năng thẩm thấu rất cao nên sẽ thẩm thấu sâu vào bề mặt bê tông, tạo thành vô số các đầu neo nhỏ, neo chắc vào kết cấu bê tông hiện tại. Lớp này sẽ đảm bảo sự dính bám tốt giữa tấm CFRP và bê tông kết cấu hiện tại.

Giai đoạn 3: Sau khi thi công lớp keo lót khoảng 30 đến 60 phút chúng ta mới thi công lớp keo tẩm (đợi cho lớp keo lót đông cứng một phần).

Giai đoạn 4: Sau khi thi công lớp keo tẩm ở giai đoạn 3 (lớp keo tẩm dưới) thì chúng ta cần tiến hành dán vải sợi carbon cường độ cao ngay để cho keo tẩm có thể dễ dàng thẩm thấu đều vào lớp vải sợi vừa được dán.

Giai đoạn 5: Quét tiếp lớp keo tẩm tiếp theo (lớp keo tẩm trên) lên bề mặt vải sợi vừa được dán. Lượng lớp keo tẩm dưới và trên tùy thuộc vào chiều dày lớp sợi carbon được dán. Chiều dày lớp vải sợi carbon được dán càng lớn thì lượng keo tẩm càng nhiều.

Giai đoạn 6: Sau khi lớp keo tẩm đã ngấm đều vào lớp vải sợi carbon và đông cứng lại sẽ tạo thành tấm CFRP dính bám chắc chắn với bề mặt bê tông kết cấu hiện tại thông qua lớp keo lót. Bề mặt kết cấu sau khi được tăng cường bằng tấm CFRP có thể được hoàn thiện bằng nhiều cách như quét sơn, trát vữa hoặc ốp gạch.

3. Cơ sở tính toán thiết kế

Phần này sẽ trình bày cơ sở thiết kế tăng cường khả năng chịu uốn và chịu cắt cho cấu kiện dầm bê tông cốt thép bằng công nghệ CFRP. Việc thiết kế tăng cường kết cấu bê tông cốt thép bằng công nghệ CFRP có thể tham khảo ACI 440.2R-2017 [4] và ACI 318M-2019 [15]. Theo đó, cấu kiện bê tông cốt thép được tăng cường phải thỏa mãn những quy định cụ thể như được trình bày dưới đây.

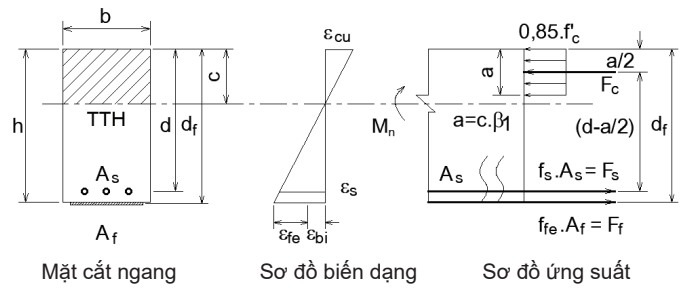
Đầu tiên, kết cấu bê tông cốt thép hiện tại muốn được tăng cường bằng vật liệu CFRP phải được kiểm tra khả năng chịu lực ban đầu (khi chưa được tăng cường bằng vật liệu CFRP). Sức kháng của kết cấu hiện tại phải đủ lớn để có thể chịu được một phần tải trọng mới như công thức (1) dưới đây. Trong đó, đại lượng $(\phi R_n)_{existing}$ là sức kháng của kết cấu hiện tại khi chưa được tăng cường bằng vật liệu CFRP; S_{DL} và S_{LL} là hiệu ứng của kết cấu do tĩnh tải mới và hoạt tải mới tương ứng gây ra trên kết cấu sau khi đã được gia cường bằng vật liệu CFRP. Quy định này nhằm đảm bảo cho kết cấu vẫn an toàn ngay cả khi lớp vật liệu CFRP bị bong bật, mất dính bám với bề mặt bê tông kết cấu hiện tại hoặc bị phá hoại do các lý do khác ngoài tải trọng. Như vậy, nếu tại trọng mới là quá lớn so với sức kháng của kết cấu hiện tại thì phương án gia cường bằng công nghệ CFRP sẽ không khả thi. Khi đó, chúng ta phải giảm độ lớn của tải trọng mới hoặc chọn giải pháp tăng cường khác.

$$(\phi R_n)_{existing} \geq (1,1S_{DL} + 0,75S_{LL})_{new} \quad (1)$$

Cấu kiện bê tông cốt thép sau khi được tăng cường khả năng chịu uốn bằng công nghệ CFRP thì sức kháng uốn của nó phải thỏa mãn công thức (2) dưới đây.

$$\phi M_n \geq M_u \quad (2)$$

trong đó, M_u là mô men uốn đã nhân hệ số tải trọng tác dụng lên cấu kiện do tải trọng mới gây ra; ϕ là hệ số sức kháng uốn (tra tiêu chuẩn); M_n là sức kháng uốn danh định của cấu kiện sau khi đã được gia cường bằng vật liệu CFRP. Để xác định sức kháng uốn danh định của cấu kiện đã được tăng cường CFRP, chúng ta cần xác định sơ đồ ứng suất - biến dạng của mặt cắt ngang cấu kiện khi chịu uốn ở trạng thái giới hạn cường độ. Ví dụ, với dầm bê tông cốt thép, tiết diện hình chữ nhật, đặt cốt thép đơn, thì sơ đồ ứng suất - biến dạng khi tiết diện chịu uốn ở trạng thái giới hạn cường độ như hình 3. Trong đó, β_1 là hệ số quy đổi từ khối ứng suất nén thực tế (dạng parabol) thành khối ứng suất nén hình chữ nhật tương đương (tra tiêu chuẩn).



Hình 3. Sơ đồ ứng suất - biến dạng khi tiết diện chịu uốn ở trạng thái giới hạn cường độ.

Từ sơ đồ ứng suất - biến dạng, chúng ta có thể xác định được chiều cao vùng bê tông chịu nén, biến dạng của cốt thép chịu kéo và biến dạng có của lớp vật liệu CFRP. Từ sơ đồ ứng suất, viết phương trình cân bằng mô men uốn, ta sẽ tính được sức kháng uốn danh định của tiết diện sau khi đã được tăng cường bằng vật liệu CFRP như công thức (3) dưới đây.

$$M_n = A_s f_s (d - a/2) + \psi_f A_f f_{fe} (d_f - a/2) \quad (3)$$

trong đó: A_s là diện tích cốt thép dọc chịu kéo; f_s là ứng suất trong cốt thép dọc chịu kéo ở trạng thái giới hạn; d là khoảng cách từ trọng tâm cốt thép chịu kéo tới thớ bê tông chịu nén ngoài cùng; a là chiều cao khối ứng suất nén hình chữ nhật tương đương; A_f diện tích của lớp vật liệu CFRP gia cường; ψ_f là hệ số triết giảm sức kháng uốn bổ sung cho lớp vật liệu CFRP, được đề xuất bằng 0,85; f_{fe} là ứng suất có hiệu của lớp vật liệu CFRP ở trạng thái giới hạn; d_f là khoảng cách từ trọng tâm của lớp vật liệu CFRP đến thớ bê tông chịu nén ngoài cùng.

Cấu kiện bê tông cốt thép sau khi được gia cường khả năng chịu cắt bằng vật liệu CFRP thì sức kháng cắt của nó phải thỏa mãn công thức (4) dưới đây.

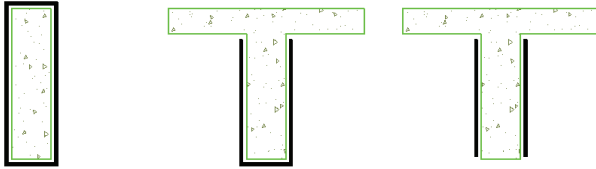
$$\phi V_n = \phi(V_c + V_s + V_f) \geq V_u \quad (4)$$

trong đó: V_u là lực cắt đã có hệ số tải trọng tác dụng lên cấu kiện do tải trọng mới gây ra; ϕ là hệ số sức kháng cắt (tra tiêu chuẩn); và V_n là khả năng chịu cắt danh định của cấu kiện sau khi đã được gia cường bằng vật liệu CFRP; nó bao gồm sức kháng cắt của phần bê tông V_c , sức kháng cắt của phần cốt thép đai V_s và sức kháng cắt của lớp vật liệu CFRP V_f . Khả năng chịu cắt của phần bê tông và cốt thép đai được tính toán như đối với cấu kiện bê tông cốt thép thông thường. Sức kháng cắt do vật liệu CFRP đóng góp được xác định theo công thức (5) dưới đây.

$$V_f = \frac{A_{fv} \cdot f_{fe} (\sin \alpha + \cos \alpha) d_{fv}}{s_f} \quad (5)$$

trong đó: A_{fv} là diện tích của lớp CFRP trong phạm vi s_f (bước bố trí các lớp CFRP chống cắt); α là góc nghiêng của lớp CFRP so với phương nằm ngang (thường dán thẳng đứng để dễ thi công, nên $\alpha=90^\circ$); d_{fv} là khoảng cách từ trọng tâm của cốt thép chịu kéo đến điểm cao nhất của lớp CFRP; f_{fe} là ứng suất có hiệu trong lớp CFRP gia cường ở trạng thái

giới hạn cường độ; nó tùy thuộc vào kiểu tăng cường chống cắt. Có 3 kiểu gia cường chống cắt bằng vật liệu CFRP là kiểu dán kín, kiểu dán ba mặt (chữ U) và kiểu dán hai mặt, như hình 4. Trong đó, kiểu dán chữ U được lựa chọn phổ biến hơn cả do phù hợp với thực tế thi công.



1. Tăng cường kín 2. Tăng cường ba mặt 3. Tăng cường hai mặt

Hình 4. Ba kiểu gia cường chống cắt bằng vật liệu polymer cốt sợi carbon.

4. Kết quả ứng dụng thiết kế gia cường chống uốn và cắt bằng vật liệu polymer cốt sợi carbon

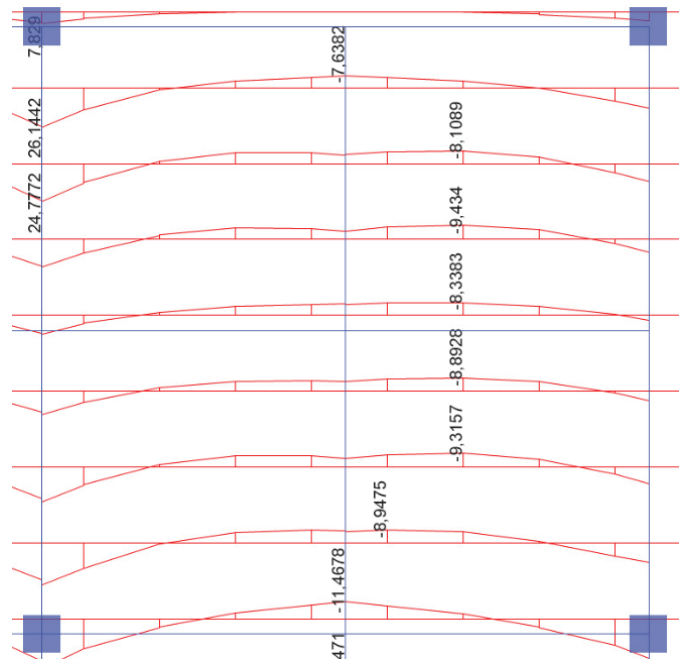
Phần này sẽ thể hiện một ví dụ cụ thể về việc thiết kế gia cường chống uốn và cắt bằng vật liệu CFRP. Công trình phải thiết kế gia cường là một toà nhà bằng bê tông cốt thép, cao 7 tầng của Tập đoàn Viettel (hình 5). Theo thiết ban đầu, từ tầng 1 đến tầng 4 được thiết kế là sàn chứa các thiết bị viễn thông, có hoạt tải tiêu chuẩn là 600 kg/m²; từ tầng 5 đến tầng 7 được thiết kế là sàn văn phòng làm việc, có hoạt tải tiêu chuẩn là 200 kg/m². Sau thời gian khai thác khoảng 10 năm, tập đoàn Viettel muốn chuyển chuyển đổi công năng làm việc của tầng 5 và 6 thành sàn chứa các thiết bị viễn thông như tầng 1 đến tầng 4. Nghĩa là, hoàn tải sàn từ tầng 5 đến tầng 6 được thay đổi từ 200 kg/m² lên thành 600 kg/m², nên hệ kết cấu dầm sàn tầng 5 và 6 phải được thiết kế gia cường. Vì vật liệu CFRP có nhiều tính năng tốt như đã mô tả ở trên, đặc biệt là ưu điểm không làm thay đổi kích thước kiến trúc ban đầu của công trình, nên phương án tăng cường bằng vật liệu CFRP đã được lựa chọn.



Hình 5. Hình ảnh công trình Viettel được gia cường bằng công nghệ vật liệu polymer cốt sợi carbon.

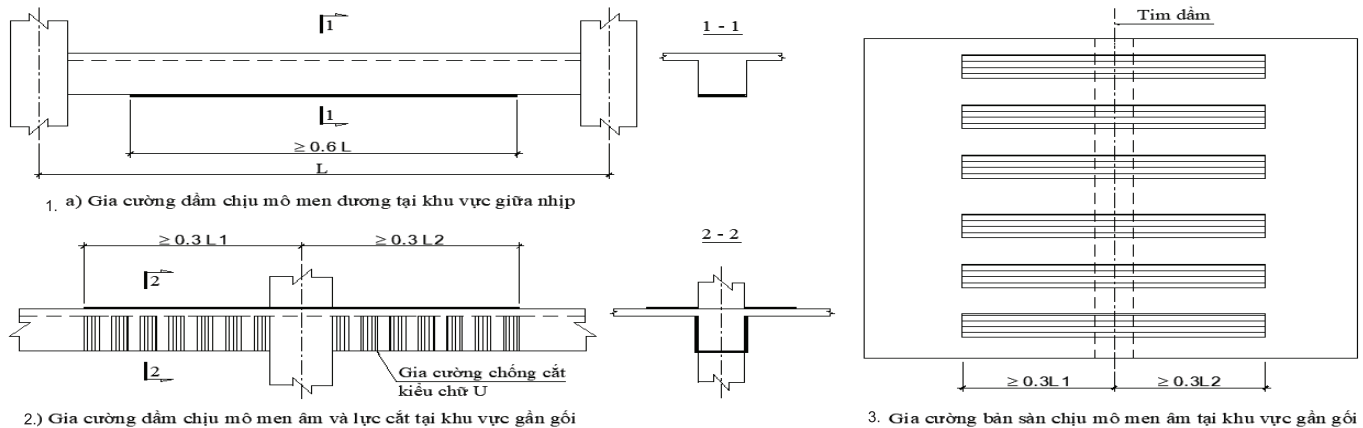
Để phân tích nội lực trong kết cấu công trình, phần mềm phân tích phần tử hữu hạn ETABS, Version 17, được dùng cho việc phân tích. Để đơn giản cho việc tính toán, chỉ những cấu kiện kết cấu (bao gồm cột, dầm, sàn và phần tường bằng bê tông cốt thép) được mô hình hóa; những phần tử phi kết cấu (như tường gạch, vách kính, gạch lát nền) được coi như tĩnh tải lên kết cấu công trình. Khi mô hình hoá kết cấu công trình, những cấu kiện bê tông cốt thép được giả thiết như những cấu kiện bê tông không cốt thép và bê tông là vật liệu đàn hồi tuyến tính.

Kết quả tính toán thiết kế cho thấy, các dầm chính (các dầm đặt trực tiếp lên các cột) phải được gia cường khả năng chịu mô men âm (căng thớ trên) ở khu vực gần gối, mô men dương (căng thớ dưới) ở đoạn gần giữa nhịp và lực cắt ở đoạn gần gối; các dầm phụ (các dầm đặt lên các dầm chính) chỉ cần phải gia cường khả năng chịu mô men âm tại khu vực gần gối (gối là các dầm chính) theo cả hai phương x và y. Hình 6 là kết quả phân tích mô men uốn tác dụng lên một ô sàn điển hình quanh trục y. Như có thể thấy từ hình 6, giá trị mô men uốn dương tại giữa nhịp sàn là khá nhỏ, không cần phải gia cường, nhưng giá trị mô men uốn âm tại gối là khá lớn, cần phải gia cường thêm bằng tấm CFRP.



Hình 6. Kết quả phân tích mô men uốn tác dụng lên một ô sàn điển hình.

Hình 7 là bản vẽ thiết kế gia cường bằng công nghệ CFRP điển hình cho hệ dầm sàn tầng 6 của công trình Viettel. Các bản vẽ thiết kế điển hình này dựa trên kinh nghiệm thi công thực tế, đảm bảo cho quá trình thi công được thuận tiện và chiều dài dính bám giữa tấm CFRP và bề mặt bê tông hiện tại là đủ lớn.



Hình 7. Bản vẽ thiết kế gia cường điển hình cho hệ dầm sàn tầng 6.

5. Kết luận

Từ những thảo luận trên, một vài kết luận được rút ra từ nghiên cứu này như sau:

- Vật liệu CFRP là một vật liệu xây dựng mới có nhiều tính năng tốt và rất phù hợp cho việc tăng cường kết cấu bê tông cốt thép.

- Có nhiều lý do mà các công trình bê tông cốt thép cần phải được tăng cường khả năng chịu lực để đảm bảo khai thác được an toàn. Các lý do đó có thể chia thành ba giai đoạn: 1) giai đoạn thiết kế; 2) giai đoạn thi công; và 3) giai đoạn khai thác.

- Để cho tấm CFRP có thể bám dính chắc chắn với bề mặt bê tông kết cấu cần gia cường, đảm bảo sự làm việc đồng thời giữa bê tông kết cấu hiện tại và tấm CFRP tăng cường thêm, thì một quy trình thi công chi tiết cần phải được tuân thủ nghiêm ngặt.

- Sức kháng của kết cấu bê tông cốt thép hiện tại phải đủ lớn để có thể chịu được một phần tải trọng mới tăng thêm theo quy định. Nếu tải trọng mới quá lớn so với sức kháng của kết cấu hiện tại thì phương án gia cường bằng công nghệ CFRP sẽ không khả thi. Khi đó chúng ta phải nghiên cứu giảm độ lớn của tải trọng mới hoặc chọn giải pháp khác.

- Để dễ dàng cho việc phân tích nội lực trong kết cấu cần tăng cường, chúng ta có thể giả thiết các cấu kiện bê tông cốt thép là các cấu kiện bê tông không cốt thép và bê tông là vật liệu đàn hồi tuyến tính.

- Để đảm bảo đủ chiều dài dính bám giữa bề mặt bê tông và tấm CFRP và thuận tiện cho quá trình thi công, các bản vẽ thiết kế gia cường điển hình theo kinh nghiệm thực tế ở trên cần được tham khảo. Chú ý, phạm vi gia cường mô men dương cần lớn hơn 0,6 lần chiều dài nhịp tính toán, phạm vi gia cường mô men âm cần lớn hơn 0,3 lần chiều dài nhịp tính toán về mỗi phía tính từ tim gối (tim cột).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] JVTEK (2019), *Introduction to Toray Technology*, Japan, Viet-Japan Advanced Technology Joint Stock Company (in Vietnamese).
- [2] E. Ahmed, H.R. Subuz, N.M. Sutan (2011), "Flexural performance of CFRP strengthened RC beams with different degrees of strengthening schemes", *International Journal of Physical Sciences*, **6(9)**, pp.2229-2238.
- [3] M. Panjehpour, N. Farzadnia, R. Demirboga, et al. (2016), "Behavior of high-strength concrete cylinders repaired with CFRP sheets", *Journal of Civil Engineering and Management*, **22(1)**, pp.56-64, DOI: 10.3846/13923730.2014.897965.
- [4] ACI 440.2R-17 (2017), *Guide for The Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*, American Concrete Institute.
- [5] H.S.A. Nimry, R.A.A. Rabadi (2019), "Axial-flexural interaction in FRP-wrapped RC columns", *International Journal of Concrete Structures and Materials*, **13(53)**, DOI: 10.1186/s40069-019-0366-8.
- [6] S. Barour, Z. Abdesselam, F. Bouziadi, et al. (2019), "Finite element analysis of CFRP-externally strengthened reinforced concrete beams subjected to three-point bending", *World Journal of Engineering*, **17(2)**, pp.183-202, DOI: 10.1108/WJE-04-2019-0121.
- [7] L. Jin, X. Jiang, K. Lu, et al. (2022), "Test on shear failure and size effect of CFRP-wrapped RC beams without stirrups: Influence of CFRP ratio", *Composite Structures*, **291(1)**, DOI: 10.1016/j.compstruct.2022.115613.
- [8] H.V. Quan (2014), *Study on Strengthening of Old Bridge Piers Using FRP Materials*, Master's Thesis, University of Transport and Communications (in Vietnamese).
- [9] N.Q. Chuong (2016), *Research on Evaluating the Performance of Adhesives Used to Strengthen and Repair Reinforced Concrete Beams with Externally Bonded Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) Sheets in Vietnamese Environmental Condition*, Master's Thesis, University of Transport and Communications (in Vietnamese).
- [10] T.V. Phan, N.V. Sang (2017), "Some methods for strengthening reinforced concrete column structures", *Journal of Water Resources & Environmental Engineering*, **57**, pp.33-39 (in Vietnamese).
- [11] N.T. Hieu, L.T. Cuong (2019), "Experimental study on the effectiveness of strengthening cracked reinforced concrete beams using CFRP sheets", *Vietnam Journal of Science and Technology*, **61(3)**, pp.32-35 (in Vietnamese).
- [12] D.S. Dan, P.H. Kien, P.V. Phe (2021), "Experimental study to estimate compressive strength of concrete confined by CFRP sheet", *Transport and Communications Science Journal*, **72(9)**, pp.1010-1022, DOI: 10.47869/tcsj.72.9.1 (in Vietnamese).
- [13] H.M. Hung, P.N. Phuong, P.H. Nam (2021), "Experimental study on flexural strengthening of reinforced concrete beams using prestressed CFRP sheets", *Journal of Science and Technology in Civil Engineering*, **15(7V)**, pp.109-118, DOI: 10.31814/stce.huce(nuce)2021-15(7V)-10 (in Vietnamese).
- [14] N.C. Cong, N.V. Long (2022), "Introduction to some methods for strengthening reinforced concrete beams", *Journal of Transport and Communications*, **2022(1+2)**, pp.68-71 (in Vietnamese).
- [15] ACI 318M-19 (2019), *Building Code Requirements for Structural Concrete*, American Concrete Institute.