

PHÂN TÍCH HIỆU QUẢ NÂNG CẤP TẢI TRỌNG KHAI THÁC CỦA CẦU BÊ TÔNG CỐT THÉP BẰNG VẬT LIỆU COMPOSITE

ANALYSIS OF EFFICIENCY IN UPGRADING SERVICE LOADS OF REINFORCED CONCRETE BRIDGES BY COMPOSITE MATERIALS

Nguyễn Hữu Tuấn, Trần Đình Hoàng

Trường Cao đẳng Giao thông Vận tải II;

nguyenhuutuancdgt2@gmail.com; hoangtd@caodanggtvt2.edu.vn

Tóm tắt - Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu nâng cấp tải trọng của các công trình cầu bê tông cốt thép (BTCT) bằng cách sử dụng tấm vật liệu composite để tăng cường sức kháng uốn của dầm và đi sâu phân tích các yếu tố ảnh hưởng tới hiệu quả gia cường. Trên cơ sở nghiên cứu phương pháp tính toán, các kết quả thực nghiệm và tình hình sử dụng các tấm vật liệu composite để nâng cấp các công trình xây dựng, nhóm tác giả đã phân tích trên các kết cấu dầm cụ thể và cho thấy khả năng chịu lực của kết cấu tăng lên đáng kể so với trước khi kết cấu được tăng cường, mặt khác chi phí của phương pháp cũng không quá lớn, điều này cho thấy hiệu quả kinh tế kỹ thuật của phương pháp gia cường này. Nghiên cứu cũng đã phân tích được các yếu tố ảnh hưởng tới hiệu quả của việc gia cường cầu bằng vật liệu composite.

Từ khóa - tăng cường cầu; cầu bê tông cốt thép; vật liệu mới; FRP; gia cường sức kháng uốn; Tyfo.

Abstract - This paper presents the results of research to upgrade the service loads of reinforced concrete bridges by using composite fiber materials to enhance bending resistance and analyses the variables affecting the effectiveness of reinforcement. Based on calculation method and using experimental results to calculate reinforced concrete by composite materials, the authors have analyzed the actual structures and the results have shown that the resistance of the structure is increased more significantly than before it was strengthened. Moreover, the cost of the method is not high; it shows the technical and economic efficiency of this method. The study also analyzes the variables affecting the efficiency in upgrading the bridge.

Key words - strengthening the bridge; reinforced concrete bridge; new materials; FRP; strengthening the flexural resistance; Tyfo®.

1. Đặt vấn đề

Trong khoảng thời gian từ năm 2000 cho đến nay ngành cầu đường của Việt Nam đã đạt được những thành tựu to lớn, nhiều công trình cầu nhịp lớn, công nghệ hiện đại được thiết kế và xây dựng khắp cả nước. Song có một thực tế dễ thấy là số lượng cầu cũ, cầu yếu vẫn còn khá nhiều và chưa được thay thế, nâng cấp, điều đó đặt ra những đòi hỏi cấp bách, cần phải có những giải pháp trước mắt và lâu dài để giải quyết vấn đề này.

Một giải pháp gia cường cho kết cấu BTCT gần đây được ứng dụng để nâng cấp tải trọng cho công trình cầu tỏ ra khá hiệu quả, cho phép cầu tiếp tục kéo dài thời gian khai thác cầu mà giá thành thi công thấp đó là dán vật liệu dạng tấm chất dẻo sợi Fiber reinforced polymer (FRP). Sử dụng công nghệ dán tấm chất dẻo sợi để sửa chữa và nâng cấp khả năng chịu lực của kết cấu đã được nghiên cứu và ứng dụng ở nhiều nước trên thế giới như Mỹ, Châu Âu, Nhật Bản. Phương pháp này tận dụng được những ưu điểm của vật liệu FRP như cường độ chịu kéo cao, mô đun đàn hồi lớn, nhẹ và có tính chống ăn mòn tốt [5], [9].

Vật liệu FRP dùng trong xây dựng có các dạng như: dạng tấm, dạng thanh, dạng cáp, dạng vải... Trong sửa chữa và gia cố công trình cầu thường dùng các loại FRP dạng tấm và dạng vải với 3 dạng CFRP, GFRP, AFRP.

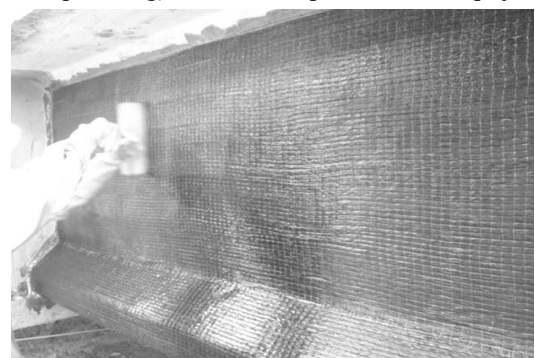
Trong lĩnh vực xây dựng nói chung và xây dựng cầu đường nói riêng, chúng ta có thể sử dụng vật liệu FRP để tăng cường cho kết cấu trong những trường hợp sau:

- Tăng cường khả năng chịu uốn và chịu cắt của dầm BTCT để sửa chữa và tăng cường khả năng chịu tải.

- Tăng cường khả năng chịu uốn của sàn BTCT tại vùng có mô men dương và mô men âm.

- Tăng cường khả năng chịu uốn và chịu nén ở cột BTCT để tăng cường khả năng chịu tải [6].

Dưới đây là một số kết quả nghiên cứu lý thuyết để tính toán tăng cường sức kháng uốn cho dầm BTCT, áp dụng để tính toán tăng cường cho các dầm cầu BTCT, từ đó đánh giá hiệu quả của biện pháp gia cường. Trong nghiên cứu này nhóm tác giả đã đi sâu phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả gia cường dầm trong sự làm việc đồng thời của vật liệu FRP với các vật liệu của kết cấu (bê tông, thép DUL, thép thường) để tránh các phá hoại bất hợp lý.



Hình 1. Tăng cường dầm cầu bằng tấm FRP

2. Mô hình tính toán tăng cường sức kháng uốn của dầm bằng tấm FRP

2.1. Mô hình phá hoại và giới hạn ứng suất - biến dạng

Các nghiên cứu gần đây cho thấy sức kháng uốn của dầm phụ thuộc vào mô hình phá hoại, khi tăng cường sức kháng uốn bằng tấm FRP có thể có các dạng phá hoại sau:

- Sự phá hoại của bê tông trong vùng nén trước khi cốt thép chịu kéo bị chảy.

- Sự chảy dẻo của thép chịu kéo ngay sau khi xảy ra sự phá hoại của tấm vật liệu FRP.

- Sự chảy dẻo của thép trong vùng chịu kéo sau khi có sự phá hoại của bê tông vùng chịu nén.

Theo các nghiên cứu mới nhất bắt buộc phải xét đến 2 dạng phá hoại khác nữa đó là:

- Sự bóc tách do lực cắt hoặc kéo tác động lên lớp bê tông bảo vệ.

- Sự bóc tách của lớp vật liệu gia cường khỏi bề mặt bê tông.

Sự bóc tách của lớp bê tông bảo vệ hoặc của lớp vật liệu gia cường xảy ra nếu lực trong lớp vật liệu gia cường vượt quá khả năng chịu đựng của vật liệu liên kết bề mặt. Do đó hiện nay với mặt cắt được gia cường ở mặt ngoài bằng vật liệu FRP, sự phá hủy do sự bóc tách có thể là chủ yếu. Để tránh những dạng phá hủy do bóc tách bởi các vết nứt xiên, biến dạng trong vật liệu FRP cần nhỏ hơn giới hạn biến dạng mà sự bóc tách có thể xảy ra. Theo [1], [4], [6] thì giá trị này được xác định theo công thức (1).

$$\varepsilon_{fd} = 0,41 \sqrt{\frac{f'_c}{n_f E_f t_f}} \leq 0,9 \varepsilon_{fu} \quad (1)$$

Trong đó: f'_c - Cường độ chịu nén bê tông; ε_{fu} - Biến dạng cực hạn của tấm vật liệu FRP lấy bằng $0,01 \div 0,025$; ε_{fd} - Biến dạng cho phép trong tấm vật liệu FRP; n_f , E_f , t_f - Số lớp FRP, mô đun đàn hồi và chiều dày của tấm FRP.

2.2. Ảnh hưởng của điều kiện môi trường

Trong tính toán nâng cấp kết cấu BTCT bằng vật liệu FRP cần xét tới điều kiện môi trường làm việc của kết cấu, tùy theo từng điều kiện cụ thể ứng suất và biến dạng của vật liệu FRP có thể lấy như công thức (2).

$$f_{fu} = C_E \times f_{fu}^* \text{ và } \varepsilon_{fu} = C_E \times \varepsilon_{fu}^* \quad (2)$$

Với f_{fu}^* và ε_{fu}^* cường độ chịu kéo và biến dạng cực hạn của vật liệu FRP do nhà sản xuất cung cấp; C_E - hệ số chiết giảm do điều kiện môi trường, tùy thuộc vào loại vật liệu và điều kiện môi trường [1], [4].

2.3. Điều chỉnh ứng suất trong bê tông vùng chịu nén

Ứng suất trong bê tông vùng chịu nén được xác định trên một phạm vi hình chữ nhật có độ lớn là $\alpha_1 f'_c$ trên một chiều cao là $a = \beta_1 c$, với c là chiều cao của trục trung hòa (TTH). Hệ số ứng suất α_1 lấy trung bình là 0,85. Biến dạng cực hạn của bê tông là $\varepsilon_{cu} = 0,003$ [2], [3], [4], [8].

Tuy nhiên thực tế sẽ có trường hợp bê tông chưa đạt tới trạng thái cực hạn mà cốt thép chịu kéo đã chảy dẻo (mô hình phá hoại thứ 2), lúc này biến dạng của bê tông vùng nén chưa đạt đến giá trị cho phép lớn nhất (ε_{cu}) nên các hệ số β_1 và α_1 nên được hiệu chỉnh theo các công thức (3) và (4).

$$\beta_1 = \frac{4\varepsilon'_c - \varepsilon_c}{6\varepsilon'_c - 2\varepsilon_c} \text{ và } \alpha_1 = \frac{3\varepsilon'_c \varepsilon_c - \varepsilon_c^2}{3\beta_1 \varepsilon_c'^2} \quad (3)$$

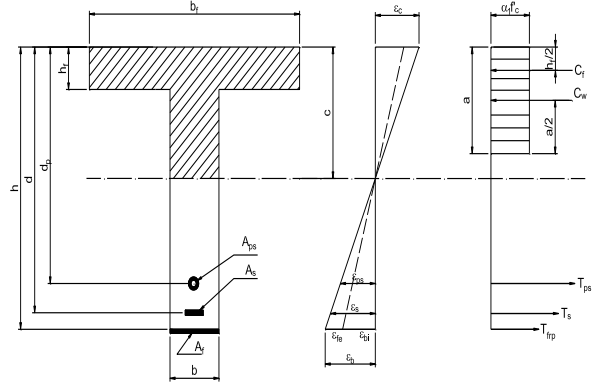
$$\text{Với: } \varepsilon'_c = \frac{1,7 f'_c}{E_c} \quad (4)$$

E_c - Mô đun đàn hồi của bê tông dầm, f'_c - Cường độ chịu nén của bê tông dầm, ε_c - Biến dạng của bê tông ở vùng chịu nén [1], [4].

2.4. Phương pháp tính toán sức kháng uốn của dầm được gia cường bằng tấm FRP

Xét dầm BTCT DƯL tiết diện chữ T được tăng cường tấm FRP ở đáy dầm như Hình 2.

Giả sử trục trung hòa đi qua sườn dầm ($c \geq h_f$).



Hình 2. Sơ đồ ứng suất - biến dạng của dầm

Vị trí của trục trung hòa sẽ được tính theo công thức sau:

$$c = \frac{f_s A_s + f_{ps} A_{ps} + f_{fe} A_f - \alpha_1 f'_c \beta_1 (b_f - b) h_f}{\alpha_1 f'_c \beta_1 b} \geq h_f \quad (5)$$

Nếu $c < h_f$ thì chúng ta TTH đi qua cánh dầm, ta cần tính lại c theo dạng mặt cắt HCN với bề rộng bằng bề rộng cánh dầm (thay b bằng b_f), khi đó (5) trở thành:

$$c = \frac{f_s A_s + f_{ps} A_{ps} + f_{fe} A_f}{\alpha_1 f'_c \beta_1 b_f} \quad (6)$$

Sức kháng uốn danh định của dầm khi TTH đi qua sườn dầm ($c \geq h_f$) là:

$$M_n = f_s A_s \left(d - \frac{a}{2}\right) + f_{ps} A_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2}\right) + \alpha_1 f'_c \beta_1 (b_f - b) h_f \left(\frac{a}{2} - \frac{h_f}{2}\right) + \psi_f f_{fe} A_f \left(h - \frac{a}{2}\right) \quad (7)$$

Sức kháng uốn danh định của dầm khi TTH đi qua cánh dầm ($c < h_f$) là:

$$M_n = f_s A_s \left(d - \frac{a}{2}\right) + f_{ps} A_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2}\right) + \psi_f f_{fe} A_f \left(h - \frac{a}{2}\right) \quad (8)$$

Trong đó: A_f - Diện tích của FRP trên tiết diện dầm; f_s , f_{fe} - Ứng suất cốt thép chịu kéo và trong vật liệu FRP; h - chiều cao dầm; h_f - chiều dày bán cánh dầm; b - chiều rộng sườn dầm; b_f - chiều rộng cánh dầm; d_p - khoảng cách từ trọng tâm cốt thép DƯL đến đỉnh dầm; d - khoảng cách từ trọng tâm cốt thép thường đến đỉnh dầm; A_s - diện tích cốt thép thường chịu kéo; A_{ps} - diện tích cốt thép DƯL; ψ_f - hệ số chiết giảm sức kháng đối với hệ thống vật liệu FRP lấy bằng 0,85.

Sức kháng uốn tính toán:

$$M_r = \phi M_n \quad (9)$$

Sau khi dầm được tăng cường, biến dạng trong cốt thép DƯL sẽ được tính như sau:

$$\varepsilon_{ps} = \varepsilon_{pe} + \frac{P_e}{E_c A_{eg}} \left(1 + \frac{e^2}{r^2}\right) + \varepsilon_{p(net)} \quad (10)$$

Ứng suất trong cốt thép DƯL sau khi dầm được tăng cường đối với thép Cấp 270 thì tính theo công thức sau:

$$f_{ps} = \begin{cases} 196500\varepsilon_{ps} & \text{ khi } \varepsilon_{ps} \leq 0,0086 \\ 1860 - \frac{0,276}{\varepsilon_{ps} - 0,007} & \text{ khi } \varepsilon_{ps} \leq 0,0086 \end{cases} \quad (11)$$

Trong đó: ε_{pe} - Biến dạng có hiệu ban đầu trong cốt thép DƯL; f_{pe} , E_p - Ứng suất có hiệu và mô đun đàn hồi của cốt thép DƯL; P_e - Lực kéo ban đầu trong cốt thép DƯL; e - Độ lệch tâm của lực kéo ban đầu trong cốt thép DƯL; A_{cg} - diện tích mặt cắt nguyên của dầm; I_g - Mô men quán tính nguyên của mặt cắt dầm; $\varepsilon_{p(net)}$ là biến dạng thực trong cốt thép DƯL, đại lượng này phụ thuộc vào mô hình phá hoại của cầu kiện.

Bằng cách phân tích biểu đồ ứng suất, biến dạng sẽ xác định được ứng suất biến dạng trong vật liệu FRP, trong cốt thép và trong bê tông chịu nén [4].

2.5. Kết quả gia cường bằng vật liệu FRP cho dầm cầu Hòa Xuân

2.5.1. Số liệu phân tích

Cầu Hoà Xuân có sơ đồ 7x42m, mặt cắt ngang gồm 5 dầm chủ dạng chữ I, đặt cách nhau 2,50m. Chiều cao dầm chủ 1.90m, cường độ bê tông dầm 40Mpa, bản mặt cầu dày trung bình 0.2m. Trọng lượng tính đổi của bản mặt cầu, các lớp phủ mặt cầu, hệ dầm mặt cầu trên 1m dài dầm cứng theo phương dọc cầu là $q = 50,25\text{kN/m}$. Diện tích mặt cắt liên hợp $A_{cg} = 1436500\text{mm}^2$, mômen quán tính $I_g = 6,73 \times 10^{11}\text{mm}^4$, dầm sẽ được gia cường bằng 2 lớp CFRP với chiều dày $t_f = 2 \times 1,4\text{mm}$, $E_f = 210000\text{Mpa}$, $f^*_{fu} = 2400\text{Mpa}$, $\varepsilon^*_{fu} = 0,018$.

2.5.2. Kết quả phân tích trên cầu Hòa Xuân

Phân tích nội lực của dầm biên và dầm trong, kết quả cho thấy dầm biên làm việc bất lợi hơn, do đó trong tính toán này chỉ cần xét tới sự làm việc của dầm biên.

Sau khi được gia cường bằng dán các lớp FRP dạng sợi các bon ở đáy dầm thì quá trình xác định sức kháng uốn của dầm được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Sức kháng uốn của dầm biên sau khi tăng cường

TT	Đại lượng tính toán	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
I	SỐ LIỆU			
1	Cường độ bê tông dầm	f_c	40	Mpa
2	Diện tích cốt thép DƯL	A_{ps}	6300	mm^2
3	Giới hạn bền thép DƯL	f_{pu}	1860	Mpa
4	Mô đun đàn hồi thép DƯL	E_{ps}	197000	Mpa
5	Khoảng cách từ trọng tâm cốt thép DƯL tới thớ nén	d_p	1924	mm
6	Diện tích cốt thép thường	A_s	2840	mm^2
7	Mô đun đàn hồi thép thường	E_s	200000	Mpa
8	Khoảng cách từ trọng tâm cốt thép thường tới thớ nén	d	1995	mm
9	Giới hạn chảy của cốt thép thường	f_y	400	Mpa
10	Số lớp vật liệu FRP gia cường	n_f	2	lớp
11	Chiều dày một lớp FRP	t_f	1	mm
12	Bề rộng gia cường ở đáy dầm	b	600	mm
13	Chiều cao dán gia cường ở 2 bên bầu dầm	h_b	250	mm
14	Diện tích FRP gia cường	A_f	2996,67	mm^2
15	Cường độ chịu kéo danh định của FRP	f^*_{fu}	2400	Mpa

TT	Đại lượng tính toán	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
16	Mô đun đàn hồi của FRP	E_f	210000	Mpa
17	Biến dạng cực hạn danh định của FRP	ε^*_{fu}	0,018	
II	TÍNH TOÁN			
18	Biến dạng cực hạn của FRP theo điều kiện môi trường	ε_{fu}	0,0171	
19	Ứng suất cực hạn của FRP theo điều kiện môi trường	f_{fu}	2280	Mpa
20	Hệ số khối ứng suất hình chữ nhật ban đầu	β_1	0,76	
21	Biến dạng ban đầu của bê tông đáy dầm	ε_{bi}	0,00012	
22	Vật liệu quyết định quá trình phá hoại dầm		FRP	
23	Vị trí trục trung hòa	c	657,70	mm
24	Biến dạng trong vật liệu FRP	ε_{fe}	0,0034	
25	Biến dạng cốt thép DƯL	ε_{ps}	0,0099	
26	Biến dạng trong bê tông chịu nén	ε_c	0,00160	
27	Ứng suất trong cốt thép DƯL	f_{ps}	1765,88	Mpa
28	Hệ số khối ứng suất hình chữ nhật hiệu chỉnh	β_1	0,73	
29	Hệ số ứng suất hiệu chỉnh	α_1	0,81	
30	Sức kháng uốn tính toán của dầm trước tăng cường	M_n	20297,00	kN.m
31	Sức kháng uốn tính toán của dầm sau tăng cường	M_r	25571,31	kN.m
32	Hiệu quả tăng cường	%M	26,0	%

Kết quả trên Bảng 1 cho thấy sức kháng uốn của dầm cầu Hòa Xuân sau khi được nâng cấp đã tăng lên đáng kể (26%) so với trước khi dầm được tăng cường.

2.6. Các yếu tố ảnh hưởng tới hiệu quả gia cường dầm

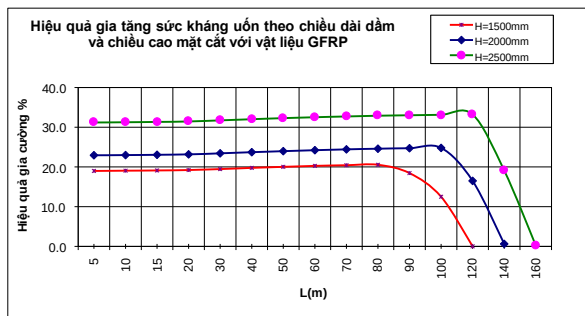
Trong phần này sẽ trình bày các kết quả phân tích một số yếu tố ảnh hưởng tới hiệu quả gia cường dầm cầu như: chiều dài nhịp, chiều cao dầm, chất lượng bê tông...

2.6.1. Chiều dài nhịp gia cường và chiều cao dầm

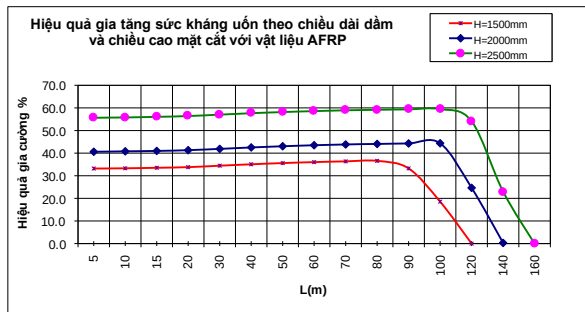
Để phân tích ảnh hưởng của chiều dài nhịp gia cường và chiều cao mặt cắt ta tiến hành phân tích mức độ gia tăng sức kháng uốn theo 3 nhóm mặt cắt với chiều cao lần lượt là $H = 1,5\text{m}$, 2m , $2,5\text{m}$ và chiều dài nhịp biến đổi từ 5 đến 160m, với vật liệu gia cường là 2 lớp FRP, kết quả phân tích được thể hiện trên Hình 3 đến Hình 5.

Biểu đồ trên Hình 3 đến Hình 5 đã cho thấy hiệu quả của việc gia cường dầm cầu bằng vật liệu FRP có sự phụ thuộc vào chiều dài nhịp và việc gia cường chỉ có hiệu quả đối với một giới hạn chiều dài nhịp nhất định. Trong nghiên cứu này, phạm vi nhịp hiệu quả có thể đạt tới 80m (100m). Nếu nhịp lớn hơn nữa thì hiệu quả gia cường có chiều hướng giảm dần và sẽ không có hiệu quả khi chiều dài nhịp lớn hơn 120m (160m).

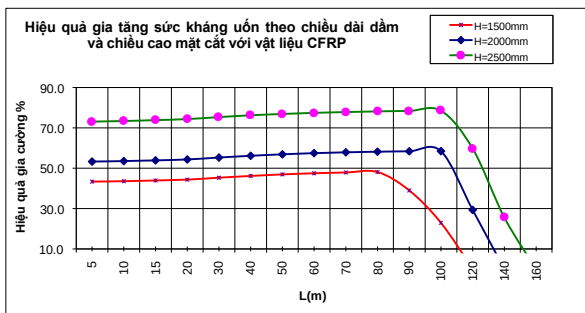
Biểu đồ trên Hình 3 đến Hình 5 cũng cho thấy khi chiều cao mặt cắt lớn thì hiệu quả gia cường bằng vật liệu FRP càng cao. Trong nghiên cứu này với $H = 2,5\text{m}$ thì hiệu quả gia cường có thể đạt tới 78%.



Hình 3. Biểu đồ mức tăng sức kháng uốn theo chiều dài nhịp và chiều cao mặt cắt (với dạng GFRP)



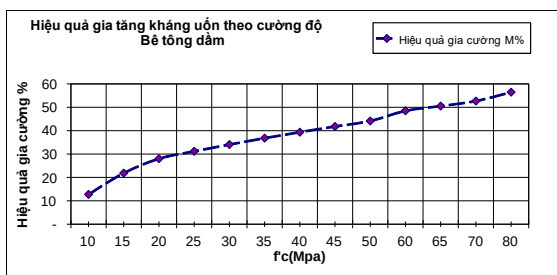
Hình 4. Biểu đồ mức tăng sức kháng uốn theo chiều dài nhịp và chiều cao mặt cắt (với dạng AFRP)



Hình 5. Biểu đồ mức tăng sức kháng uốn theo chiều dài nhịp và chiều cao mặt cắt (với dạng CFRP)

2.6.2. Chất lượng của bê tông dầm

Để phân tích ảnh hưởng của chất lượng bê tông dầm đến hiệu quả gia cường ta tiến hành phân tích trên một mẫu dầm cắt có chiều cao là $H = 1,2\text{m}$, dài 18m bằng 2 lớp vật liệu CFRP với cường độ bê tông biến đổi từ 10Mpa đến 80Mpa, kết quả phân tích được thể hiện trên Hình 6.



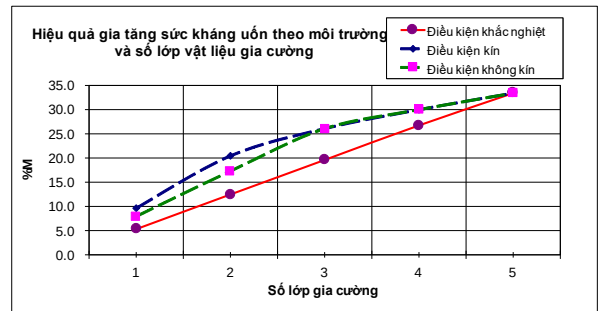
Hình 6. Biểu đồ mức tăng sức kháng uốn theo cường độ bê tông dầm gia cường

Biểu đồ trên Hình 6 cho thấy hiệu quả gia cường càng cao khi bê tông dầm có cường độ cao. Trong nghiên cứu này, khi bê tông có mác thấp dưới 15Mpa thì hiệu quả khá thấp chỉ là 12%. Đối với các cầu BTCT cũ, nếu bê tông có cường độ từ 25Mpa trở lên thì hiệu quả gia cường có thể

đạt trên 25%. Do vậy, với các dầm mà bê tông bề mặt có cường độ quá thấp thì nên thay thế bằng lớp bê tông mới.

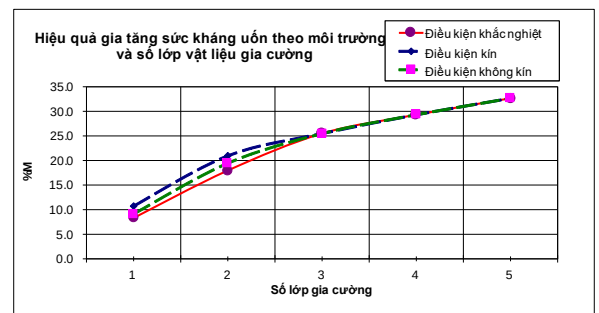
2.6.3. Điều kiện môi trường

Để xét tới ảnh hưởng của môi trường ta phân tích dầm theo 3 điều kiện môi trường là: khắc nghiệt, môi trường không kín và môi trường kín. Dầm có chiều cao $H=1.2\text{m}$, $L=18\text{m}$, vật liệu gia cường là GFRP với số lớp gia cường tăng dần từ 1 đến 5 lớp. Kết quả phân tích như Hình 7.

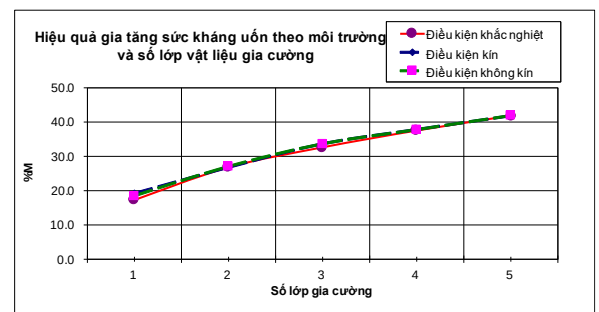


Hình 7. Biểu đồ mức tăng sức kháng uốn theo điều kiện môi trường và theo số lớp gia cường (loại GFRP)

Tiếp tục đi phân tích với mặt cắt dầm trên nhưng sử dụng vật liệu gia cường là AFRP và CFRP với số lớp gia cường tăng dần từ 1 đến 5 lớp. Kết quả phân tích như Hình 8 và 9.



Hình 8. Biểu đồ mức tăng sức kháng uốn theo điều kiện môi trường và theo số lớp gia cường (loại AFRP)



Hình 9. Biểu đồ mức tăng sức kháng uốn theo điều kiện môi trường và theo số lớp gia cường (loại CFRP)

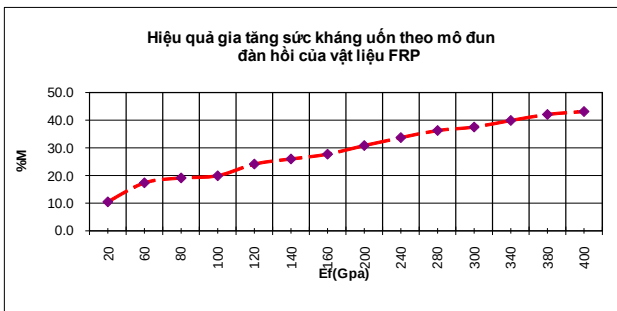
Từ biểu đồ trên Hình 7 đến Hình 9 cho thấy hiệu quả gia cường tốt nhất nếu ở điều kiện kín. Trên thực tế, các dầm cầu thường ở điều kiện không được che chắn bảo vệ (không kín hoặc khắc nghiệt), khi đó hiệu quả tăng cường sẽ thấp hơn, song khi số lớp gia cường tăng lên thì có thể giảm bớt các tác động của môi trường và hiệu quả gia cường có xu hướng gần bằng với hiệu quả ở điều kiện kín. Đặc biệt đối với loại tấm sợi CFRP thì các đồ thị nằm gần sát nhau, chứng tỏ hiệu quả gia cường khi dùng loại này ít bị tác động bởi điều kiện môi trường, do nó được xử lý nhiệt theo nhiều quá trình.

2.6.4. Số lớp gia cường FRP

Biểu đồ trên Hình 7 đến Hình 9 cũng cho thấy hiệu quả gia cường sẽ tăng cao khi số lớp gia cường tăng lên, vì lúc này sẽ kéo theo diện tích FRP chịu kéo tăng lên. Tuy nhiên cũng không nên sử dụng quá nhiều lớp (>5), vì sẽ không kinh tế nữa so với các giải pháp gia cường khác, hơn nữa sẽ phụ thuộc rất nhiều vào chất lượng của keo kết dính. Do đó, xác định số lớp (diện tích) tấm vật liệu gia cường hợp lý để phát huy hết khả năng làm việc của vật liệu này là vấn đề cần được tính toán kiểm tra kỹ lưỡng.

2.6.5. Mô đun đàn hồi của tấm sợi FRP

Để xét tới ảnh hưởng của mô đun đàn hồi tấm sợi tới hiệu quả gia cường ta phân tích đầm có chiều cao $H=1,2m$, $L=18m$, vật liệu gia cường gồm 1 lớp, có mô đun đàn hồi E_f biến đổi từ 20GPa đến 400GPa. Kết quả phân tích như Hình 10.



Hình 10. Biểu đồ mức tăng sức kháng uốn theo mô đun đàn hồi của vật liệu FRP

Biểu đồ trên Hình 10 cho thấy hiệu quả gia cường sẽ cao hơn, nếu chọn lựa các vật liệu gia cường có mô đun đàn hồi cao. Khi thiết kế tăng cường cần căn cứ vào yêu cầu gia tăng sức chịu tải của đầm lên bao nhiêu phần trăm, để lựa chọn loại vật liệu và mô đun đàn hồi hợp lý. Đối với tấm sợi gốc carbon, aramid có mô đun đàn hồi cao trên 100GPa thì theo nghiên cứu này hiệu quả gia cường có thể đạt trên 20%.

3. Kết luận

Kết quả nghiên cứu nêu trên cho thấy:

- Việc sử dụng các tấm FRP để gia cường đầm chịu uốn là phương pháp đơn giản, nhanh chóng, đem lại hiệu quả kinh tế, kỹ thuật tốt cho công trình.

- Hiệu quả gia cường đầm bằng vật liệu FRP có sự phụ thuộc vào chiều dài nhịp gia cường và chiều cao tiết diện. Việc gia cường bằng loại vật liệu này có hiệu quả tốt trong một giới hạn chiều dài nhịp nhất định. Khi chiều dài nhịp quá lớn thì sẽ không có hiệu quả.

- Hiệu quả gia cường phụ thuộc rất lớn vào đặc tính cơ học của vật liệu gia cường và chất lượng bề tổng bề mặt của cấu kiện được gia cường. Điều này cho thấy, trong công tác gia cường đầm bằng vật liệu FRP, cần lưu ý việc xử lý bề mặt liên kết cũng như lựa chọn loại vật liệu FRP và keo dán phù hợp. Nói chung, khi gia cường đầm bằng vật liệu FRP thì cường độ bề tổng phải nên lớn hơn 15Mpa mới có hiệu quả.

Kết quả cũng cho thấy điều kiện môi trường có tác động tới hiệu quả gia cường, đặc biệt là khi sử dụng loại sợi thủy tinh và sợi aramid. Vì vậy, khi thiết kế nâng cấp cầu bằng vật liệu FRP cần lưu ý từng điều kiện môi trường cụ thể, cấu trúc và chất lượng của kết cấu, nhu cầu gia cường, khả năng phối hợp làm việc đồng thời của các loại vật liệu để có phương án gia cường hợp lý nhất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ACI, "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures", Report by ACI Committee 440, American Concrete Institute, July 2008.
- [2] ACI, "Building code requirements for structural concrete and commentary (ACI 318M-05)", American Concrete Institute, 2008.
- [3] Ngô Đăng Quang, Nguyễn Duy Tiến (2009), "Kết cấu bê tông cốt thép", Nhà xuất bản Giao thông Vận tải.
- [4] Nguyễn Hữu Tuân, Trần Đình Hoàng (2014), "Nâng cấp tải trọng công trình cầu bằng vật liệu composite", *Đề tài KH và CN cấp Trường*, mã số ĐT14-05.
- [5] Nguyễn Văn Mọi, Nguyễn Tấn Dũng, Hoàng Phương Hoa (2011), "Nghiên cứu giải pháp gia cường đầm bê tông cốt thép bằng các tấm vật liệu composite sợi carbon", *Tạp chí Khoa học Công nghệ, Đại học Đà Nẵng*.
- [6] Nguyễn Chí Thanh, Lê Mạnh Hùng, Phạm Ngọc Khánh (2011), "Phân tích hiệu quả kỹ thuật giải pháp gia cường kết cấu bê tông cốt thép bằng vật liệu cốt sợi tổng hợp", *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, Số Đặc biệt (11/2011), trang 12-17.
- [7] Ngô Quang Tường (2007), "Sửa chữa và gia cố công trình Bê tông cốt thép bằng phương pháp dán nhờ sử dụng vật liệu FRP", *Tạp chí Phát triển Khoa học Công nghệ*, Số 10/2007, trang 39-51.
- [8] Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN 272-05, Bộ Giao thông Vận tải.
- [9] Hoàng Phương Hoa (2013), "Ứng dụng vật liệu Composite trong lĩnh vực cải tạo, sửa chữa các công trình xây dựng", *Tài liệu giảng dạy cao học*, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng.
- [10] Nguyễn Đình Khanh (2011), "Nghiên cứu tăng cường kết cấu bê tông cốt thép bằng tấm dán fiber reinforced polymer", *Luận văn thạc sỹ kỹ thuật*, Đại học Đà Nẵng.
- [11] Chakrapan (2005), "Use of fiber reinforced polymer composite in bridge structures", Masters Thesis of engineering in civil and environmental engineering at the massachusetts institute of technology.
- [12] Lưu Bích Huy, Ngô Xuân Hưng, Đặng Văn Sỹ (2011), "Kết cấu công trình", Giáo trình lưu hành nội bộ Trường Cao đẳng Giao thông Vận tải II.

(BBT nhận bài: 05/05/2015, phản biện xong: 14/05/2015)