

# PHÂN TÍCH MỘT SỐ YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG TỚI HIỆU QUẢ GIA CƯỜNG DẦM BTCT BẰNG TẤM CHẤT ĐÈO CÓ CỐT SỢI

ThS. NGUYỄN HỮU TUÂN, ThS. ĐOÀN NHƯ HOẠT, ThS. TRẦN ĐÌNH HOÀNG

Trường Cao đẳng Giao thông Vận tải II

Tóm tắt: *Bài báo giới thiệu các kết quả nghiên cứu về một số yếu tố ảnh hưởng tới hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn của dầm BTCT bằng tấm chất dẻo có cốt sợi. Thực tế hiện nay đã có một số công trình cầu áp dụng phương pháp gia cường này và cho kết quả tốt, tuy vậy trong quá trình áp dụng chưa xét đến ảnh hưởng của các yếu tố như: Chất lượng bê tông dầm, điều kiện môi trường, không chế và hiệu chỉnh ứng suất trong vật liệu, chiều dài gia cường có hiệu quả, chiều cao mặt cắt..., trong khi các yếu tố này có tác động không nhỏ tới hiệu quả gia cường dầm.*

Từ khóa: *Gia cường cầu, cầu BTCT, vật liệu mới, FRP, tăng cường khả năng chịu uốn, Tyfo®.*

## 1. Đặt vấn đề

Trong khoảng thời gian qua ngành cầu của Việt Nam đã đạt được những thành tựu vượt bậc, nhiều công trình cầu nhịp lớn, hiện đại được thiết kế và xây dựng khắp cả nước. Song, có một thực tế dễ thấy là hệ thống hạ tầng của nước ta còn chưa đồng bộ, số lượng cầu cũ, cầu yếu vẫn còn khá nhiều mà chưa được thay thế hoặc nâng cấp. Điều đó đặt ra những đòi hỏi bức thiết đối với nước ta, là một nước đang phát triển, ngân sách đầu tư còn hạn hẹp, do đó cần phải có những giải pháp trước mắt để giải quyết vấn đề này. Đó là cải tạo, nâng cấp các bộ phận của kết cấu nhịp cầu cũ, để tăng sức chịu tải, kéo dài tuổi thọ của cây cầu.

Gần đây một giải pháp gia cường cho kết cấu BTCT đã 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 gia cường dạng tấm chất dẻo có cốt sợi (Fiber Reinforced polymer - FRP).

Vật liệu FRP là một dạng vật liệu composite, được chế tạo từ các cốt liệu sợi kết hợp với chất kết dính (chất nền), trong đó có ba loại cốt liệu sợi thường được sử dụng là sợi carbon CFRP, sợi thủy tinh GFRP và sợi aramid AFRP; chất kết dính thường là Epoxy, Polyeste hoặc vinyl ester. Sự kết hợp trên tạo thành một loại vật liệu hoàn chỉnh có cường độ chịu kéo cao, trọng lượng nhỏ, cách điện, chịu nhiệt tốt.

Theo khả năng của vật liệu, trong lĩnh vực xây dựng nói chung chúng ta có thể sử dụng vật liệu FRP để gia 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 gia 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 gia cường khả năng chịu tải [4].

Trên thực tế hiện nay đã có một số công trình cầu áp dụng phương pháp gia cường này và cho kết quả ban đầu khá tốt. Tuy vậy, trong quá trình áp dụng các kỹ sư chưa xét đến ảnh hưởng của nhiều yếu tố có thể tác động tới hiệu quả gia cường như: Đặc điểm của bê tông bề mặt, điều kiện môi trường, quan hệ ứng suất - biến dạng trong sự làm việc đồng thời của vật liệu FRP với các vật liệu của kết cấu (bê tông, cốt thép)... Dưới đây là một số kết quả nghiên cứu có xét đến ảnh hưởng của một số yếu tố tác động tới hiệu quả tăng cường khả năng kháng uốn cho dầm BTCT, từ đó áp dụng để tính toán gia cường cho một dầm cầu BTCT DƯ'L cụ thể.

## 2. Phương pháp tính toán gia cường khả năng chịu uốn của dầm bằng tấm FRP

Nguyên tắc tính toán gia cường dầm bằng tấm FRP phải được thực hiện dựa trên cơ sở các nguyên tắc tính toán kết cấu BTCT như tiêu chuẩn ACI 318, ACI 440.2R và tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN-272-05 [1], [2], [7].

### 2.1 Mô hình phá hoại

Theo [2], [3], [5] thì khả năng chịu uốn của dầm phụ thuộc vào mô hình phá hoại, khi tăng cường khả năng chịu uốn của kết cấu BTCT 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;

## KẾT CẤU – CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

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

Đặc biệt, theo [1] rất cần thiết phải xét đến 2 dạng phá hoại khác, 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.

Khi tính toán gia cường, trước tiên cần xác định mô hình phá hoại của dầm, đó là cơ sở để tính ứng suất, biến dạng trong mỗi loại vật liệu, nói chung khi thiết kế gia cường dầm cần tính toán sao cho dầm ở trạng thái phá hoại đồng thời là hợp lý nhất, tức là lúc đó cả bê tông chịu nén, cốt thép kéo và tấm FRP bị phá hoại cùng lúc.

### 2.2 Tính khả năng chịu uốn của mặt cắt dầm sau khi gia cường

Muốn tính khả năng chịu uốn của dầm sau khi được gia cường cần xác định vị trí của trục trung hòa (TTH). Giả sử xét dầm BTCT DƯ'L tiết diện chữ T được gia cường bằng tấm FRP ở đáy dầm.

Với giả thiết TTH đi qua sườn dầm. Khi đó vị trí của TTH được tính theo công thức sau:

$$c = \frac{f_s A_s + f_{ps} A_{ps} + f_{fe} A_f - \alpha_1 f_c \beta_1 (b_f - b) h_f}{\alpha_1 f_c \beta_1 b} \geq h_f \quad (1)$$

với  $h_f$  là chiều dày bản cánh dầm.

Nếu  $c < h_f$  thì chứng tỏ TTH đi qua cánh dầm, ta cần tính lại  $c$  theo dạng mặt cắt hình chữ nhật với bề rộng bằng bề rộng cánh dầm, khi đó (1) trở thành:

$$c = \frac{f_s A_s + f_{ps} A_{ps} + f_{fe} A_f}{\alpha_1 f_c \beta_1 b_f} \quad (2)$$

Khả năng chịu uốn danh định của dầm sau khi gia cường khi TTH đi qua sườn dầm ( $c \geq h_f$ ) là:

$$M_n = f_s A_s \left(d - \frac{a}{2}\right) + f_{ps} A_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2}\right) + \alpha_1 f_c \beta_1 (b_f - b) h_f \left(\frac{a}{2} - \frac{h_f}{2}\right) + \psi_f f_{fe} A_f \left(h - \frac{a}{2}\right) \quad (3)$$

Trường hợp TTH đi qua cánh dầm khả năng chịu uốn danh định của dầm sau khi gia cường là:

$$M_n = f_s A_s \left(d - \frac{a}{2}\right) + f_{ps} A_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2}\right) + \psi_f f_{fe} A_f \left(h - \frac{a}{2}\right) \quad (4)$$

Khả năng chịu uốn tính toán của tiết diện dầm:

$$M_r = \phi M_n \quad (5)$$

trong đó:

$A_f$  là diện tích của FRP trên tiết diện dầm;

$f_{ps}$ ,  $f_s$  và  $f_{fe}$  là ứng suất trong cốt thép DƯ'L, cốt thép thường chịu kéo và trong vật liệu FRP;

$h$  là chiều cao dầm;

$b$  là chiều rộng sườn dầm;

$b_f$  là chiều rộng cánh dầm;

$d_p$  là khoảng cách từ trọng tâm cốt thép DƯ'L đến đỉnh dầm;

$d$  là khoảng cách từ trọng tâm cốt thép thường đến đỉnh dầm;

$A_s$  là diện tích cốt thép thường chịu kéo;

$A_{ps}$  là diện tích cốt thép DƯ'L;

$\psi_f$  là hệ số chiết giảm cường độ của vật liệu FRP lấy bằng 0,85;

$\phi$  là hệ số chiết giảm khả năng chịu uốn của dầm.

Như vậy để tính được khả năng chịu uốn danh định  $M_n$ , cũng như khả năng chịu uốn tính toán  $M_r$  của dầm sau khi gia cường cần xác định được ứng suất (biến dạng) trong cốt thép, bê tông và vật liệu gia cường FRP, các yếu tố này có thể xác định dựa vào biểu đồ ứng suất - biến dạng của dầm sau khi gia cường.

Đối với cốt thép DƯ'L cấp 270 (có  $f_{pu}=1860\text{MPa}$ ) sau khi dầm được gia cường, ứng suất được tính theo công thức (6):

$$f_{ps} = \begin{cases} 196500 \varepsilon_{ps} & \text{khi } \varepsilon_{ps} \leq 0,0086 \\ 1860 - \frac{0,276}{\varepsilon_{ps} - 0,007} & \text{khi } \varepsilon_{ps} > 0,0086 \end{cases} \quad (6)$$

Biến dạng trong cốt thép DƯ'L sau khi gia cường sẽ được tính theo (7):

$$\varepsilon_{ps} = \varepsilon_{pe} + \frac{P_e}{E_c A_{cg}} \left(1 + \frac{e^2}{r^2}\right) + \varepsilon_{p(net)} \quad (7)$$

trong đó:

$\varepsilon_{pe}$  là biến dạng ban đầu trong cốt thép DƯ'L,

$$\varepsilon_{pe} = \frac{f_{pe}}{E_p};$$

$f_{pe}$ ,  $E_p$  là ứng suất ban đầu và mô đun đàn hồi của cốt thép DƯ'L;

$P_e$  là lực kéo ban đầu trong cốt thép DƯ'L,  $P_e = A_{ps}f_{pe}$ ;

$e$  là độ lệch tâm của lực kéo ban đầu trong cốt thép DƯ'L ( $P_e$ );

$A_{cg}$  là diện tích mặt cắt nguyên của dầm;

$r$  là bán kính quán tính của tiết diện nguyên,

$$r = \sqrt{\frac{I_g}{A_{cg}}};$$

$I_g$  là mô men quán tính nguyên của mặt cắt dầm;

$E_c$  là mô đun đàn hồi của bê tông;

$\varepsilon_{p(net)}$  là biến dạng thực trong cốt thép DƯ'L, đại lượng này phụ thuộc vào mô hình phá hoại của cấu kiện.

$\varepsilon_{p(net)}$  được tính theo công thức (8) khi vật liệu FRP phá hoại trước hoặc phá hoại đồng thời và tính theo công thức (9) khi bê tông vùng nén bị phá hoại trước:

$$\varepsilon_{p(net)} = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) \frac{d_p - c}{h - c} \quad (8)$$

$$\varepsilon_{p(net)} = 0,003 \frac{d_p - c}{c} \quad (9)$$

Đối với vật liệu FRP, biến dạng của vật liệu là:

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \frac{h - c}{c} - \varepsilon_{bi} \quad (10)$$

Ứng suất trong tấm FRP sẽ là:  $f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe}$  (11)

trong đó:  $\varepsilon_{bi}$  là biến dạng ban đầu của bê tông ở đáy dầm, được tính theo công thức:

$$\varepsilon_{bi} = \frac{-P_e}{E_c A_{cg}} \left(1 + \frac{e y_b}{r^2}\right) + \frac{M_{DL} y_b}{E_c I_g} \quad (12)$$

trong đó:

$M_{DL}$  là mô men uốn do tải tiêu chuẩn gây ra tại mặt cắt đang xét;

$E_f$  là mô đun đàn hồi của vật liệu FRP;

$y_b$  là khoảng cách từ đáy dầm đến trọng tâm tiết diện;

$\varepsilon_{cu}$  là biến dạng cực hạn của bê tông.

Lưu ý là khi tính toán để tìm vị trí TTH, do các yếu tố ứng suất biến dạng ban đầu của các vật liệu là chưa xác định được nên cần tiến hành tính thử dần cho đến khi  $c$  hội tụ về một giá trị, có thể bắt đầu với  $c = 0,1h$ , sau đó tính lặp dần.

Khi tính  $c$  cần giả định trước mô hình phá hoại, thường là giả định bê tông vùng nén bị phá hoại trước (đạt cực hạn) khi đó sẽ có  $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu} = 0,003$ , sử dụng trị số này để xác định các trị số biến dạng khác, quá trình này sẽ cho phép kiểm tra xác định xem vật liệu nào sẽ điều khiển quá trình phá hoại (vật liệu bị phá hoại trước).

### 3. Một số yếu tố ảnh hưởng tới hiệu quả gia cường dầm

#### 3.1 Xét tới ảnh hưởng của điều kiện môi trường

Trong tính toán gia cường kết cấu BTCT bằng tấm sợi FRP, mặc dù các tấm sợi có mô đun đàn hồi tốt, song có thể sẽ bị lão hóa theo thời gian sử dụng, mức độ sẽ càng tăng khi ở điều kiện môi trường khắc nghiệt, vì vậy cũng cần phải quan tâm đến điều kiện môi trường. Có thể phân điều kiện môi trường thành 3 loại: Môi trường được bảo quản, che chắn tốt (môi trường kín); môi trường không được che chắn, song ít nguy hiểm (môi trường không kín) và loại thứ 3 là môi trường bị xâm thực mạnh (khắc nghiệt), tùy theo từng điều kiện môi trường cụ thể để tính toán gia cường cho hợp lý.

Theo khuyến nghị của [1] có thể xét tới ảnh hưởng của môi trường làm việc bằng cách chiết giảm ứng suất và biến dạng của vật liệu theo từng điều kiện môi trường cụ thể.

Thực tế hiện nay cho thấy, nhiều tính toán đã không xem xét tới vấn đề này, do đó kết quả tính toán vô tình đã có sự sai khác đáng kể.

#### 3.2 Xét tới ảnh hưởng của chất lượng bê tông bề mặt

Sự bóc tách của lớp bê tông bảo vệ bề mặt (hoặc của lớp vật liệu gia cường) xảy ra nếu ứng suất trong lớp vật liệu gia cường vượt quá khả năng chịu đựng của các vật liệu bề mặt (bê tông), khi đó bê tông bề mặt sẽ bị bong, bóc tách làm phá hoại dầm. Nhiều nghiên cứu cho thấy, khi mặt cắt được gia cường mặt ngoài bằng vật liệu FRP thì sự phá hoại dầm do sự bóc tách của vật liệu bề mặt có thể là chủ yếu (mặc dù tấm FRP chưa phá hoại).

Để tránh những dạng phá hoại do hiện tượng bóc tách vật liệu bề mặt, biến dạng trong vật liệu FRP cần nhỏ hơn giới hạn biến dạng mà sự bóc tách có thể xảy ra, nghĩa là người kỹ sư cần phải khống chế ứng suất, biến dạng trong lớp vật liệu FRP, chứ không thể đơn giản là lấy ứng suất và biến dạng của vật liệu này bằng với ứng suất cực hạn của nó, điều này cũng đã được đề cập đến trong tiêu chuẩn ACI 440.2R.

**3.3 Xét tới ứng suất trong bê tông vùng chịu nén**

Theo ACI 318 thì ứng suất trong bê tông vùng chịu nén được xác định trên một phạm vi hình chữ nhật có bề rộng là  $\alpha_1 f'_c$  và chiều cao là  $a = \beta_1 c$ . Trong đó, hệ số  $\alpha_1$  lấy trung bình là 0,85 và  $c$  là vị trí của TTH (xác định theo công thức (1) hoặc (2)). Hệ số của khối ứng suất hình chữ nhật  $\beta_1$  khi bê tông bị nén vỡ (đạt cực hạn) được xác định như sau:

$$\beta_1 = \begin{cases} 0,85 \text{ khi } f'_c \leq 28\text{MPa} \\ 0,85 - 0,05 \frac{f'_c - 28}{7} \text{ khi } 28\text{MPa} < f'_c \leq 56\text{MPa} \\ 0,65 \text{ khi } f'_c > 56\text{MPa} \end{cases} \quad (13)$$

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, lúc này biến dạng của bê tông vùng nén chưa đạt đến giá trị cực hạn ( $\epsilon_{cu}$ ) nên ứng suất chịu

Hoặc theo quan điểm của tác giả Todeschini (1964) thì:

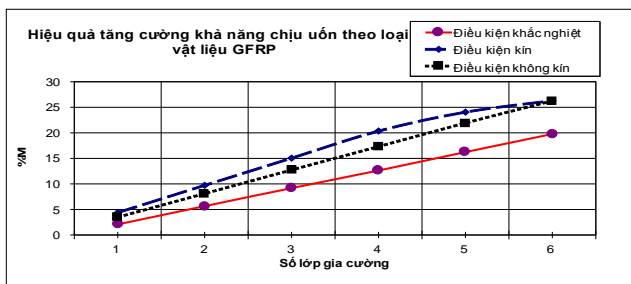
$$\beta_1 = 2 - \frac{4[(\epsilon'_c / \epsilon_c) - \tan^{-1}(\epsilon'_c / \epsilon_c)]}{(\epsilon_c / \epsilon'_c) \ln[1 + (\epsilon_c / \epsilon'_c)^2]} \quad \text{và} \quad \alpha_1 = \frac{0,9 \ln[1 + (\epsilon_c / \epsilon'_c)^2]}{\beta_1 (\epsilon_c / \epsilon'_c)} \quad (16)$$

Thực tế cho thấy, để đơn giản nhiều tác giả đã không hiệu chỉnh hai giá trị  $\alpha_1$  và  $\beta_1$  mà thường cố định chúng trong tính toán gia cường, điều này đã vô tình làm cho khả năng chịu uốn của dầm gia cường có sự sai lệch đáng kể.

Để làm sáng tỏ các vấn đề trên, mục dưới đây sẽ đi phân tích trên một số kết cấu dầm và thu được các kết quả khá thú vị.

**3.4 Phân tích ảnh hưởng của một số yếu tố tới hiệu quả gia cường dầm**

Để xét tới ảnh hưởng của điều kiện môi trường tới hiệu quả gia cường dầm ta tiến hành phân tích trên mẫu dầm chữ T có chiều dài  $L=33\text{m}$ , chiều cao  $H=1,5\text{m}$  (dầm TH1) được gia cường vật liệu FRP rộng 500mm, dày 0,5mm/lớp với số lớp gia cường biến đổi từ 1 đến 6 lớp, theo 3 loại vật liệu gia cường là GFRP, CFRP và AFRP, hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn (%M) thể hiện trên hình 1 đến hình 3.



Hình 1. Hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn theo điều kiện môi trường với loại vật liệu GFRP

nén của bê tông với hệ số  $\beta_1$  theo công thức (13) là không thích hợp. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra điều đó, chẳng hạn theo Viện Bê tông Hoa kỳ các hệ số  $\beta_1$  và  $\alpha_1$  cần được tính toán hiệu chỉnh lại theo công thức sau:

$$\beta_1 = \frac{4\epsilon'_c - \epsilon_c}{6\epsilon'_c - 2\epsilon_c} \quad \text{và} \quad \alpha_1 = \frac{3\epsilon'_c \epsilon_c - \epsilon_c^2}{3\beta_1 \epsilon_c^2} \quad (14)$$

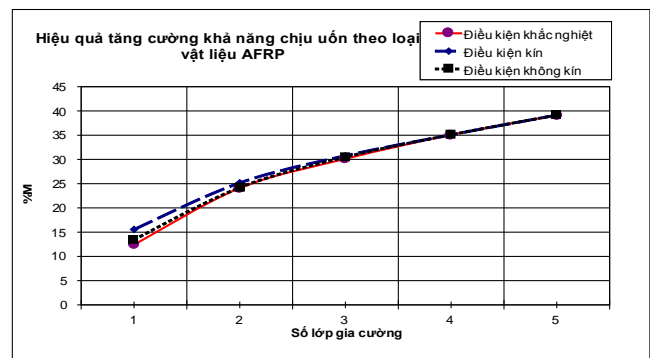
trong đó:

$$\epsilon'_c = \frac{1,7f'_c}{E_c}; \quad (15)$$

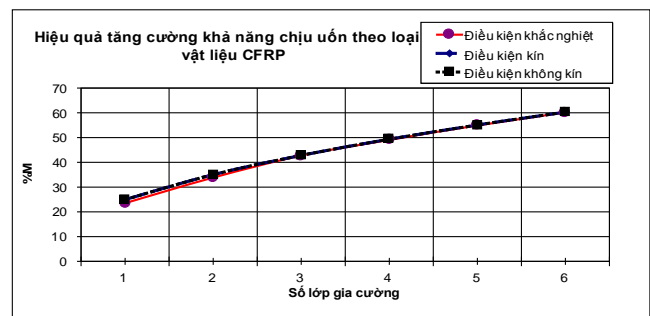
$E_c$  là mô đun đàn hồi của bê tông dầm;

$f'_c$  là cường độ chịu nén của bê tông dầm;

$\epsilon_c$  là biến dạng của bê tông ở vùng chịu nén.



Hình 2. Hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn theo điều kiện môi trường với loại vật liệu AFRP

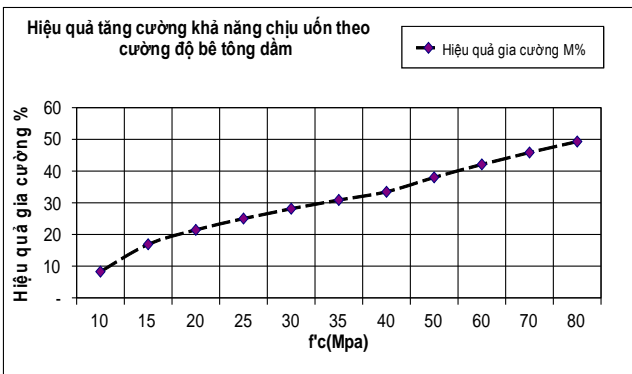


Hình 3. Hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn theo điều kiện môi trường với loại vật liệu CFRP

Các biểu đồ trên hình 1 đến hình 3 cho thấy điều kiện môi trường có ảnh hưởng tới hiệu quả gia cường, đặc biệt là đối với 2 nhóm GFRP và AFRP. Tuy nhiên khi số lớp gia cường tăng lên thì sẽ khắc phục được các ảnh hưởng này do các lớp nằm phía ngoài sẽ góp phần bảo vệ các lớp bên trong, riêng với

nhóm tấm sợi CFRP thì hiệu quả gia cường ít bị ảnh hưởng bởi điều kiện môi trường hơn cả do có mô đun đàn hồi rất cao và trong khi chế tạo đã được xử lý nhiệt theo nhiều quá trình, tuy nhiên giá thành cũng rất cao.

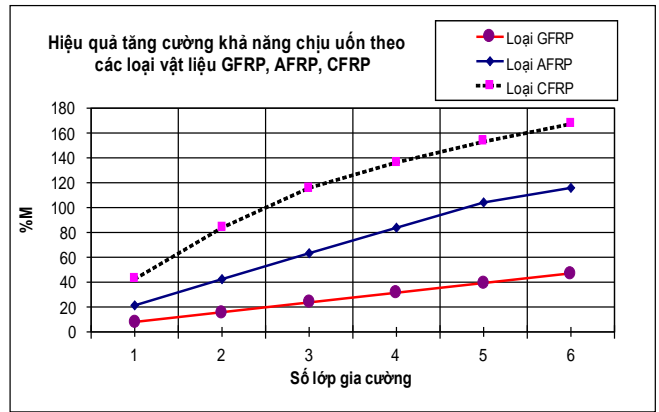
Để phân tích ảnh hưởng chất lượng bê tông, đặc biệt là bê tông bề mặt tới hiệu quả gia cường dầm, ta tiến hành khảo sát trên kết cấu dầm có H=1,5m, L=33m (dầm TH2) ở điều kiện môi trường kín và được gia cường bằng 2 lớp vật AFRP rộng 500mm, dày 0,28mm/lớp, kết quả tăng cường khả năng chịu uốn (%M) thể hiện trên hình 4.



Hình 4. Hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn theo chất lượng bê tông dầm

Đồ thị trên hình 4 đã cho thấy hiệu quả gia cường sẽ tốt hơn khi bê tông dầm có cường độ cao và ngược lại nếu bê tông có cường độ thấp dưới 15MPa thì hiệu quả là không cao (<16%), vì vậy khi bề mặt kết cấu có chất lượng bê tông quá kém (nứt nhiều, suy giảm cường độ..) thì nên thay thế bằng bê tông có chất lượng tốt hơn, sau đó mới dán các lớp vật liệu gia cường vào dầm (tức là cần xử lý bề mặt trước). Đối với các dầm với bê tông có cường độ từ 20 MPa đến 35MPa thì hiệu quả gia cường có thể đạt trên 30% tùy theo vật liệu gia cường.

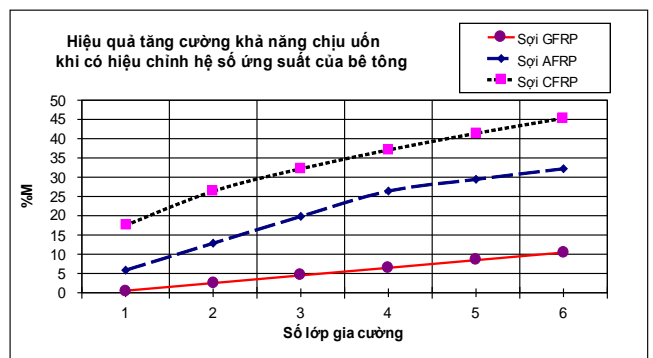
Nếu không xét tới ảnh hưởng của điều kiện môi trường và không xét tới việc khống chế ứng suất trong vật liệu FRP nhằm tránh phá hoại do bóc tách bê tông bề mặt thì kết quả gia cường sẽ cao hơn nhiều. Cụ thể khi phân tích trên dầm TH1, với các loại vật liệu gia cường như trên, hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn (%M) thể hiện hình 5.



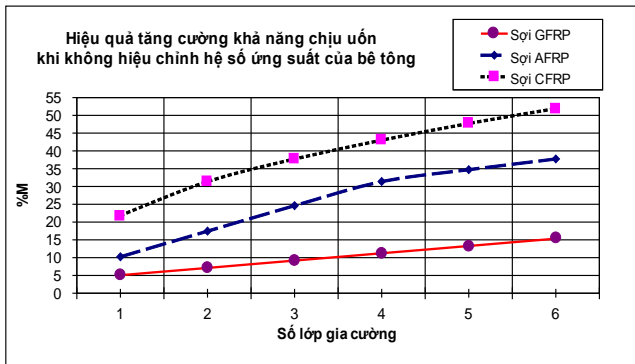
Hình 5. Hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn dầm khi không xét ảnh hưởng của chất lượng bê tông bề mặt và điều kiện môi trường

Kết quả trên hình 5 cho thấy, hiệu quả gia cường sẽ tăng rất cao khi bỏ qua yếu tố môi trường và khống chế ứng suất kéo trong tấm sợi, chẳng hạn nếu chỉ xét trường hợp gia cường dầm bằng 2 lớp FRP thì đối với loại vật liệu CFRP có thể đạt tới 83,85%, trong khi nếu có xét tới các yếu tố trên thì chỉ đạt 35,07% (ở điều kiện môi trường kín). Hoặc đối với loại sợi AFRP tương ứng sẽ là: 42,46% và 25,19%. Do đó, khi tính toán gia cường dầm bằng vật liệu FRP thì rất cần thiết phải xét đến điều kiện môi trường và điều kiện khống chế ứng suất trong tấm sợi nhằm đảm bảo việc thiết kế có đủ an toàn và tin cậy.

Để xét tới ảnh hưởng của việc hiệu chỉnh hệ số ứng suất trong bê tông chịu nén ( $\alpha_1, \beta_1$ ), ta tiến hành khảo sát trên dầm TH2 với các vật liệu gia cường như trên và ở điều kiện môi trường khắc nghiệt nhất, kết quả khảo sát được thể hiện trên hình 6 và hình 7.



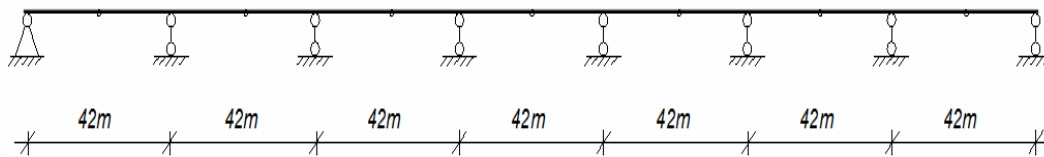
Hình 6. Hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn dầm khi hiệu chỉnh hệ số ứng suất



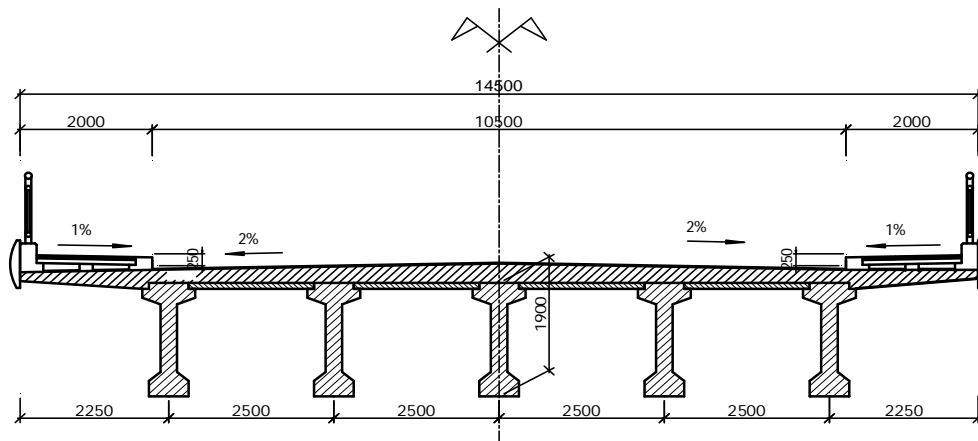
**Hình 7.** Hiệu quả tăng cường khả năng chịu uốn dầm khi không hiệu chỉnh hệ số ứng suất

Kết quả ở hình 6 và hình 7 đã cho thấy, nếu có sự hiệu chỉnh hệ số ứng suất của bê tông chịu nén thì hiệu quả gia cường sẽ thấp hơn so với việc không hiệu chỉnh, mức độ sai lệch giữa hai trường hợp là khá lớn, chẳng hạn nếu gia cường bằng 2 lớp CFRP thì khi có hiệu chỉnh kết quả khả năng chịu uốn tăng được 26%, trong khi đó nếu không hiệu chỉnh thì đạt tới 32%.

Sơ đồ tính toán cầu và mặt cắt ngang cầu thể hiện như hình 8 và hình 9.



**Hình 8.** Sơ đồ tính toán cầu Hòa Xuân



**Hình 9.** Mặt cắt ngang cầu Hòa Xuân

**4.2 Kết quả tính toán**

Qua phân tích nội lực của dầm biên và dầm trong, kết quả cho thấy dầm biên làm việc bất lợi hơn so với các dầm nằm trong, do đó trong tính toán này chỉ xét tới sự làm việc của dầm biên.

Căn cứ vào hồ sơ thiết kế dầm và các đặc trưng cơ học của vật liệu: Bê tông dầm, bản mặt cầu, cốt thép DU'L, cốt thép thường, tính toán khả năng chịu uốn của dầm biên sau khi gia cường được thể hiện ở bảng 1.

**4. Áp dụng tính toán nâng cấp dầm cầu Hòa Xuân**

**4.1 Các số liệu cơ bản về kết cấu và tải trọng**

Cầu Hoà Xuân gồm 7 nhịp dầm BTCT DU'L, sơ đồ 7x42m, kết cấu nhịp được toàn khối hoá. Tổng chiều dài toàn cầu 303,55m, mặt cắt ngang gồm 5 dầm chủ BTCT DU'L, bê tông có cường độ 40MPa, mặt cắt dạng chữ I, khoảng cách giữa các dầm là 2,5m. Chiều cao dầm chủ H = 1,9m, bản mặt cầu bằng BTCT 35MPa, dày trung bình 0,2m.

Trọng lượng tính đổi của bản mặt cầu, các lớp phủ mặt cầu, hệ dầm ngang trên 1m dài dầm 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 được xét ở điều kiện không được che chắn bảo vệ. Vật liệu gia cường là loại AFRP, chiều dày  $t_f = 0,5\text{mm}$ , chiều rộng  $b_f = 600\text{mm}$ , mô đun đàn hồi  $E_f = 1,2 \cdot 10^5\text{MPa}$ , ứng suất cực hạn  $f_{fu}^* = 2400\text{MPa}$ , biến dạng cực hạn  $\epsilon_{fu}^* = 0,015$ .

Bảng 1. Bảng tính khả năng chịu uốn của dầm sau khi gia cường

TT	Đại lượng tính toán	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
<b>I</b>	<b>SỐ LIỆU ĐẦU VÀO</b>			
1	Cường độ bê tông của dầm	$f_c$	40	MPa
2	Cường độ bê tông của bản	$f_c$	35	MPa
3	Diện tích cốt thép DƯ'L	$A_{ps}$	6300	mm <sup>2</sup>
4	Giới hạn bền của thép DƯ'L	$f_{pu}$	1860	MPa
5	Mô đun đàn hồi của thép DƯ'L	$E_{ps}$	197000	MPa
6	Khoảng cách từ trọng tâm cốt thép DƯ'L tới biên chịu nén	$d_p$	1924	mm
7	Diện tích cốt thép thường	$A_s$	2840	mm <sup>2</sup>
8	Mô đun đàn hồi của thép thường	$E_s$	200000	MPa
9	Khoảng cách từ trọng tâm cốt thép thường tới biên chịu nén	$d$	1995	mm
10	Giới hạn chảy của cốt thép thường	$f_y$	400	MPa
11	Loại vật liệu gia cường		AFRP	
12	Số lớp vật liệu FRP gia cường	$n_f$	2	lớp
13	Chiều dày một lớp FRP	$t_f$	0,5	mm
15	Bề rộng gia cường ở đáy dầm	$b$	600	mm
16	Diện tích FRP gia cường	$A_f$	600	mm <sup>2</sup>
17	Cường độ chịu kéo danh định của FRP	$f_{tu}^*$	2400	MPa
18	Mô đun đàn hồi của FRP	$E_f$	100000	MPa
19	Biến dạng cực hạn danh định của FRP	$e_{tu}^*$	0,015	-
<b>II</b>	<b>KẾT QUẢ TÍNH TOÁN</b>			
20	Hệ số của khối ứng suất hình chữ nhật ban đầu	$\beta_1$	0,76	-
21	Biến dạng ban đầu của bê tông đáy dầm	$\varepsilon_{bi}$	0,00012	-
22	Vật liệu quyết định quá trình phá hoại dầm		FRP	-
23	Khả năng chịu uốn tính toán của dầm trước khi được gia cường	$M_{r0}$	20297	kN.m
24	Khả năng chịu uốn tính toán của dầm sau khi gia cường (có xét tới các yếu tố ảnh hưởng)	$M_{r1}$	23884	kN.m
25	Hiệu quả gia cường theo $M_{r1}$	$\%M_1$	17,67	%
26	Khả năng chịu uốn tính toán của dầm sau khi gia cường (bỏ qua các yếu tố ảnh hưởng)	$M_{r2}$	253400	kN.m
27	Hiệu quả gia cường theo $M_{r2}$	$\%M_2$	25,14	%

Kết quả trên được tính toán theo hai trường hợp và đã cho thấy khả năng chịu uốn của dầm tăng lên đáng kể so với trước khi dầm được gia cường, nếu bỏ qua các yếu tố ảnh hưởng đã trình bày ở phần 3 thì hiệu quả gia cường sẽ là  $%M_2 = 25,14\%$ , nếu xét tới các yếu tố đó thì hiệu quả gia cường thực tế chỉ đạt  $%M_2 = 17,67\%$ , như vậy đã có sự sai khác đáng kể giữa hai kết quả.

### 5. Kết luận

Qua nghiên cứu này nhóm nghiên cứu có một số kết luận sau:

Việc sử dụng các tấm FRP để tăng cường khả năng chịu uốn, kháng cắt cho các kết cấu dầm sẽ đem lại hiệu quả kinh tế - kỹ thuật tốt cho công trình.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, điều kiện môi trường có tác động đáng kể 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 để có tính toán cho phù hợp.

Hiệu quả gia cường phụ thuộc rất lớn vào đặc tính cơ học của vật liệu gia cường và chất lượng bê tông bề mặt của cầu kiện được gia cường. Điều này cho thấy, trong công tác gia cường dầm bằng vật liệu FRP, cần lưu ý việc xử lý bề mặt liên kết, nói chung khi gia cường dầm bằng vật liệu FRP thì cường độ bê tông nên lớn hơn 15MPa thì mới có hiệu quả. Mặt khác cũng cần phải lựa chọn loại vật liệu FRP phù hợp với đặc điểm chịu lực của dầm.

Khi sử dụng vật liệu FRP để gia cường kết cấu BTCT, cần lưu ý sự làm việc đồng thời của các loại vật liệu để xác định hiệu quả gia cường hợp lý. Việc xem xét đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng sẽ cho kết quả tính toán gia cường đảm bảo đủ độ tin cậy và đảm

bảo hiệu quả sử dụng công trình, tránh tình trạng phải gia cố lại nhiều lần sau này.

### 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 318-05 by American Concrete Institute, 2005.
- [3]. Nguyễn Văn Mọi, Nguyễn Tấn Dũng, Hoàng Phương Hoa (2011), "Nghiên cứu giải pháp gia cường dầm bê tông cốt thép bằng các tấm vật liệu composite sợi carbon", *Tạp chí khoa học công nghệ, Đại học Đà Nẵng*.
- [4]. Hoàng Phương Hoa (2012), "*Khai thác, sửa chữa-gia cố công trình cầu*", Nhà xuất bản Xây dựng.
- [5]. 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.
- [6]. Nguyễn Hữu Tuân, Trần Đình Hoàng (2014), "*Nghiên cứu phương pháp tính toán tăng cường khả năng chịu tải của kết cấu nhịp cầu BTCT giản đơn bằng cách dán tấm vật liệu composite*", Đề tài KH và CN cấp Trường, mã số ĐT14-05, Trường Cao Đẳng Giao thông Vận tải II.
- [7]. Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN 272-05 (2005), Bộ Giao thông Vận tải.

**Ngày nhận bài: 07/5/2015.**

**Ngày nhận bài sửa lần cuối: 17/11/2015.**