

Ứng xử sàn bê tông cốt thép gia cường bằng vật liệu dán bề mặt FRP

Behavior of reinforced concrete slab strengthened with fiber reinforced polymer (FRP) laminates

> **NGUYỄN THỊ THANH, PHẠM VIỆT HÙNG***

Khoa Cơ khí và Công nghệ, Trường Đại học Nông lâm, Đại học Huế

*Email: phamviethung@huaf.edu.vn

TÓM TẮT

Gia cường sàn bê tông cốt thép (BTCT) bằng vật liệu tổng hợp dán bề mặt FRP (Fiber Reinforced Polymer) được sử dụng phổ biến hiện nay. Tuy nhiên, do chưa có tiêu chuẩn thiết kế, thi công và nghiệm thu, đây là rào cản lớn trong việc áp dụng vật liệu đó vào thực tiễn tại Việt Nam. Bởi thực tế, ứng xử của kết cấu sau khi gia cường rất phức tạp và phụ thuộc vào nhiều yếu tố. Rất khó kiểm soát trạng thái phá hủy của kết cấu sau gia cường, đặc biệt là trạng thái phá hoại giòn do phá hoại lớp keo dính bám hoặc bóc tách lớp bê tông bảo vệ. Do đó, việc nghiên cứu ứng xử của kết cấu sàn BTCT sau khi được gia cường về cả phương diện lý thuyết lẫn thực nghiệm là rất cần thiết. Trong bài báo này, kết quả phân tích mô hình số làm rõ ứng xử của sàn BTCT được gia cường bằng vật liệu tổng hợp FRP thông qua phân tích chi tiết về ứng suất, biến dạng và chuyển vị trong sàn. Cụ thể, khi tăng bề dày tấm gia cường, ứng suất, biến dạng và chuyển vị của sàn BTCT giảm xuống, mức độ giảm lần lượt là ứng suất từ 46.70% đến 74.78%, biến dạng từ 45.59% đến 73.56% và chuyển vị từ 14.32% đến 27.1%. Khi tăng cấp tải trọng, ứng suất, biến dạng và chuyển vị của sàn BTCT tăng lên, mức độ tăng lần lượt là ứng suất từ 13.36% đến 58.27%; biến dạng từ 14.47% đến 57.89% và chuyển vị từ 11.93% đến 47.70%.

Từ khóa: Gia cường; FRP; sàn bê tông cốt thép; ứng xử cơ học.

ABSTRACT

The reinforced concrete (RC) slab strengthened with FRP sheets has been popular. The lack of design standards is a significant barrier for the extensive use of FRP for RC in Vietnam. The behavior of the structure depends on many factors. It is difficult to control the failure state of the structure after strengthening, especially brittle failure state due to destruction of the adhesive layer or removal of the protective concrete layer. It is necessary to study the behavior of reinforced concrete slab structure after being strengthened both theoretically and experimentally. In this paper, the results of numerical model analysis clarify the behavior of reinforced concrete slab with FRP slabs based on the analysis of stress, deformation and displacement of the slab. In detail, as increasing the thickness of the FRP sheets, the bending stress, deformation and displacement of the reinforced concrete floor decreased, the reduction of the bending stress from 46.70% to 74.78%, deformation from 45.59% to 73.56% and displacement from 14.32% to 27.1%, respectively. As increasing the load level of the slabs, the bending stress, deformation and displacement of the reinforced concrete floor increased, the the increase of the bending stress from 13.36% to 58.27%; deformation from 14.47% to 57.89% and displacement from 11.93% to 47.70%, respectively.

Key words: Strengthening, FRP; reinforced concrete slab; mechanical behavior.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Kết cấu sàn BTCT được sử dụng phổ biến trong các công trình xây dựng. Sau một thời gian khai thác và sử dụng khả năng chịu lực của sàn bị suy giảm do nhiều nguyên nhân như tác động của môi trường, sự thay đổi về công năng sử dụng như nâng chiều cao, mở rộng mặt bằng, lắp đặt thêm thiết bị làm gia tăng tải trọng tác dụng lên sàn. Để đảm bảo an toàn và nâng cao hiệu quả sử dụng thay vì xây mới phương pháp gia cường được áp dụng và ngày càng cấp thiết với nhiều công trình hiện nay.

Có nhiều phương pháp gia cường kết cấu công trình sàn BTCT

được ứng dụng thực tế ở nước ta như: phương pháp sử dụng loại vật liệu sợi tổng hợp dán bề mặt FRP (Fiber-Reinforced Polymer), phương pháp mở rộng tiết diện, phương pháp dùng dán bản thép hoặc phương pháp dùng cáp dự ứng lực căng ngoài. So sánh với các phương pháp gia cường truyền thống, phương pháp sử dụng vật liệu tổng hợp dán bề mặt FRP để gia cường sàn BTCT có nhiều ưu điểm như: thi công nhanh chóng; vừa tăng cường khả năng chịu lực của sàn vừa bảo vệ BTCT; không cần phải đập phá kết cấu; không cần sử dụng cốt pha; đảm bảo giữ nguyên hình dạng kết cấu cũ; không dùng hoạt động khi thi công; cách điện, chịu nhiệt tốt, bền theo thời gian.

Nhằm tăng cường sức kháng uốn của sàn BTCT, vật liệu FRP dán bề mặt chịu kéo sàn BTCT ngày càng được sử dụng nhiều tại Việt Nam. Tuy nhiên, ứng xử của kết cấu sau khi được gia cường rất phức tạp do sự phân phối lại nội lực khi chịu tải của kết cấu và phụ thuộc vào trạng thái làm việc trước đó của kết cấu. Sự có mặt của tấm gia cường làm thay đổi trạng thái phá hoại của tấm uốn, đặc biệt sự phá hủy có thể xuất hiện do sự không dính bám giữa bản bê tông và vật liệu dán bề mặt FRP hay do sự bong bật của lớp bê tông bảo vệ...

Các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm trước đây về hiệu quả giải pháp gia cường kết cấu sàn với các tấm composite đã được thực hiện. Theo nghiên cứu của Sheikh [1] chỉ ra tấm vật liệu sợi carbon và sợi thủy tinh tăng cường đáng kể (khoảng 150%) về độ bền uốn. Theo Ayman S. Mosallam và Khalid M. Mosalam [2] việc sử dụng tấm FRP dẫn đến tăng đáng kể khả năng chịu tải của kết cấu sàn (lên đến 500%) so với sàn không gia cường và 200% đối với sàn được gia cường bằng tấm thép.

Tác giả Ola Enochsson [3] đã nghiên cứu thực nghiệm gia cường tấm CFRP với các tấm sàn có và không có lỗ mở. Kết quả chỉ ra rằng, đối với CFRP tấm tăng cường, khả năng chịu tải tăng lên từ 24% đến 125% so với bản sàn có lỗ mở, và từ 22% đến 110% so với sàn không lỗ mở.

Theo kết quả nghiên cứu của Fahmy A. Fathelbab [4], việc sử dụng các tấm CFRP gắn vào chiều dài bản sàn làm tăng khả năng chịu tải cuối cùng từ 79.8% đến 107.7% tùy thuộc vào số lượng các tấm sử dụng. Bên cạnh đó độ dẻo sàn tăng lên đáng kể và cho thấy rằng có sự mở rộng của của các vết nứt cho đến khi bị phá hoại.

Nhóm tác giả Wissam D. Salman [5] đã nghiên cứu thực nghiệm ứng xử uốn của sàn BTCT một phương có lỗ mở bằng cách sử dụng tấm CFRP tăng cường. Kích thước, hình dạng của lỗ mở, chiều dài và chiều rộng của tấm CFRP là các thông số chính được xem xét. Ứng xử của các mẫu thí nghiệm được đánh giá bằng sự hình thành vết nứt, mô hình vết nứt, độ võng, tải trọng cuối cùng và mô hình phá hoại. Nghiên cứu chỉ ra rằng việc gia cường sàn bằng tấm CFRP làm tăng khả năng chịu tải cuối cùng từ 24% đến 92%; giảm độ võng sàn khoảng 47% đến 62%; giảm biến dạng nén bê tông 30% đến 56%; tăng tải trọng gây xuất hiện vết nứt khoảng 74% đến 88% và giảm chiều rộng vết nứt khoảng 86 đến 95% so với ô sàn một phương không gia cường.

Theo nghiên cứu của Nguyễn Thành Công [6], kết quả chỉ ra sức chịu tải của kết cấu bản được gia cường bằng lớp vật liệu composite được tăng lên khoảng 200%. Kết quả thí nghiệm cho thấy toàn bộ các bản được gia cường bị phá hoại do sự bong bật của lớp gia cường tại vị trí có mô men và lực cắt tương đối lớn.

Nghiên cứu về ứng xử của kết cấu sau khi gia cường vẫn còn nhiều thách thức, đặc biệt là về các trạng thái phá hủy của kết cấu mới thường đột ngột (phá hoại giòn do phá hoại lớp keo dính bám hoặc bóc tách lớp bê tông bảo vệ) nên việc kiểm soát ứng xử của kết cấu vẫn còn khó khăn. Cho tới nay, chỉ có rất ít nghiên cứu liên quan đến vấn đề này. Việc xác định được ứng xử này một cách đầy đủ vẫn còn là bài toán khó.

Trong bài báo này, tác giả nghiên cứu về ứng xử của sàn BTCT được gia cường bằng vật liệu dán bề mặt FRP cho một công trình cụ thể có sự gia tăng tải trọng tác dụng. Phạm vi nghiên cứu giới hạn với sàn BTCT trong công trình dân dụng có thay đổi công năng. Với mục đích phân tích, đánh giá ứng xử cơ học khác nhau giữa sàn không gia cường và được gia cường cùng sự đóng góp của tấm FRP trong việc gia tăng khả năng chịu tải. Từ kết quả phân tích mô hình số mô phỏng bằng phần mềm Etabs 2017, các kết quả cụ thể về ứng suất, biến dạng và chuyển vị trong sàn BTCT sẽ được phân tích để làm rõ ứng xử cơ học của bản sàn BTCT sau gia

cường bằng vật liệu dán bề mặt FRP.

2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu FRP

2.1.1. Giới thiệu về vật liệu FRP

Vật liệu FRP là một dạng vật liệu tổng hợp được chế tạo từ các vật liệu sợi, trong đó có ba loại vật liệu sợi thường được sử dụng là sợi các bon CFRP, sợi thủy tinh GFRP và sợi aramid AFRP. Đặc tính của các loại sợi này là có cường độ chịu kéo rất cao, mô đun đàn hồi rất lớn, trọng lượng nhỏ, khả năng chống mài mòn cao, cách điện, chịu nhiệt tốt, bền theo thời gian. Vật liệu FRP dùng trong xây dựng thường có dạng tấm, dạng thanh, dạng cáp, dạng vải, dạng cuộn... Trong sửa chữa và gia cố công trình xây dựng thường dùng các loại FRP dạng tấm và dạng vải. Trong số các vật liệu tổng hợp dùng để gia cường kết cấu bằng bê tông cốt thép thì vật liệu tấm sợi các bon CFRP được sử dụng rộng rãi hơn do vật liệu này có các đặc tính tốt hơn so với hai vật liệu còn lại.

2.1.2. Tính chất cơ lý của vật liệu FRP

a. Khối lượng riêng

Vật liệu FRP có khối lượng riêng trong khoảng từ 1.2 tới 2.1 g/cm³, nhỏ hơn thép từ 4 đến 6 lần tùy thuộc vào loại cốt sợi hoặc chất độn (Bảng 1). Với đặc điểm khối lượng riêng nhỏ vật liệu FRP giúp giảm giá thành vận chuyển, giảm phần tĩnh tải gia tăng của kết cấu và vật liệu có thể dễ dàng xử lý và thi công ở công trường.

Bảng 1. Khối lượng riêng của các loại vật liệu composite, (g/cm³) [7]

Cốt sợi thủy tinh	Cốt sợi các bon	Cốt sợi aramid	Thép
1.2 ÷ 2.1	1.5 ÷ 1.6	1.2 ÷ 1.5	7.9

b. Hệ số giãn nở nhiệt

Hệ số giãn nở nhiệt của vật liệu FRP khác nhau theo phương dọc và ngang tùy thuộc vào loại cốt sợi, loại nhựa nền, cách dệt và tỷ lệ cốt sợi (Bảng 3).

Bảng 2. Hệ số giãn nở nhiệt của các loại vật liệu composite [7]

Chiều	Hệ số giãn nở nhiệt (×10 ⁻⁶ /°C)		
	GFRP	CFRP	AFRP
Theo chiều dọc α _L	6÷10	-1÷0	-6 ÷ -2
Theo chiều ngang α _T	19÷23	22÷50	60÷80

Ghi chú: đây là các giá trị điển hình đối với hàm lượng thể tích cốt sợi thay đổi trong phạm vi 0.5 tới 0.7 [7].

c. Đặc tính cơ học

Vật liệu tổng hợp FRP là vật liệu dị hướng, có tính chất thay đổi theo hướng sợi. Các tính chất cơ học của vật liệu phụ thuộc vào cấu tạo hỗn hợp như hướng phân bố cốt sợi, độ dày, số lượng các lớp sợi gia cố cũng như khối lượng hỗn hợp.

* Cường độ chịu kéo: Ứng xử kéo của vật liệu này được biểu diễn bằng quan hệ tuyến tính giữa ứng suất - biến dạng đến khi bị phá hoại, và trong trường hợp này sự phá hoại là đột ngột và giòn. Cường độ chịu kéo của vật liệu cốt sợi composite phụ thuộc vào nhiều tham số như: kiểu cốt sợi, chiều sắp xếp của cốt sợi, lượng cốt sợi và phương pháp cũng như điều kiện chế tạo cốt sợi.

* Mô đun đàn hồi: mô đun đàn hồi của vật liệu FRP cốt sợi thủy tinh trong các cấu kiện xây dựng thường thấp hơn so với thép hoặc nhôm. Tuy nhiên, vật liệu FRP sợi carbon nếu cần có thể được chế tạo có mô đun đàn hồi tương đương với thép hoặc nhôm. Mô đun sợi riêng, hướng sợi trong các lớp, khối lượng sợi (so với nhựa) và độ dày các lớp sẽ ảnh hưởng đến giá trị mô đun đàn hồi và trở nên quan trọng trong việc lựa chọn vật liệu cho các thiết kế.

Các đặc tính kỹ thuật của tấm CFRP có trên thị trường tổng hợp ở Bảng 3.

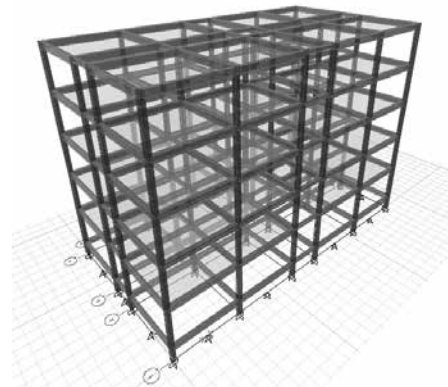
Bảng 3. Đặc tính kỹ thuật của tấm CFRP có trên thị trường [8]

Mật độ sợi (g/m)	Độ dày (mm)	Cường độ chịu kéo (MPa)	Mô đun đàn hồi (GPa)	Độ giãn dài (%)	Khổ tấm (cm)
200	0.111	3200÷ 3400	220÷240	1.6÷1.8	10,15,20,25,30,33,50,60
230	0.127	3200÷ 3400	220÷240	1.6÷1.8	
300	0.167	3200÷ 3400	220÷240	1.6÷1.8	
400	0.222	3200÷ 3400	220÷240	1.6÷1.8	
450	0.250	3200÷ 3400	220÷240	1.6÷1.8	
530	0.294	3200÷ 3400	220÷240	1.6÷1.8	
600	0.333	3200÷ 3400	220÷240	1.6÷1.8	

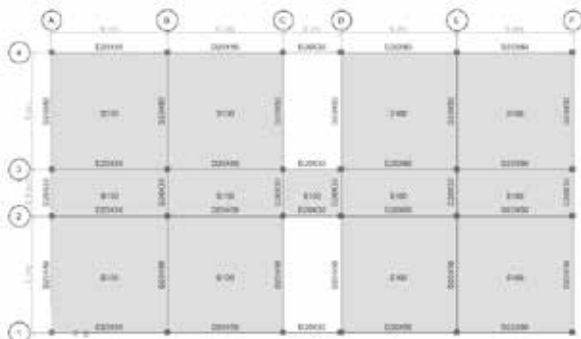
Ghi chú: Thông số ở Bảng 3 cho vật liệu CFRP nhập khẩu từ Nhật Bản hoặc Trung Quốc

2.2. Thông tin công trình

Xét công trình 5 tầng, kết cấu khung BTCT. Chiều dày sàn $h_s=100\text{mm}$. Chịu tác dụng của tĩnh tải bao gồm trọng lượng bản sàn BTCT g_{bt} , trọng lượng các lớp cấu tạo sàn $g_s=200\text{ daN/m}^2$, hoạt tải sử dụng $q_1=600\text{ daN/m}^2$ (tầng 2, do thay đổi công năng sử dụng), các tầng còn lại $q_1=200\text{ daN/m}^2$. Vật liệu sử dụng là bê tông B25, cốt thép sàn CB300-V.



a) Phối cảnh kết cấu công trình bằng phần mềm Etabs 2017



b) Mặt bằng sàn tầng 2

Hình 1. Mô hình sàn BTCT bằng phần mềm phân tích kết cấu Etabs v.17

2.3. Các trường hợp mô phỏng

Trong nghiên cứu này, hai mô hình kết cấu sàn không gia cường và có gia cường được xem xét với các đặc điểm cụ thể như sau:

- Trường hợp kết cấu sàn không gia cường (KGC)
- Trường hợp kết cấu sàn gia cường:
 - + Thay đổi chiều dày tấm FRP gia cường lần lượt 0.165 mm; 0.33 mm; 0.66 mm; 1.02 mm
 - + Gia cường 01 lớp FRP dày 0.33 mm cho sàn tầng 2 trong đó xét đến các trường hợp thay đổi tải trọng tác dụng

Trong đó, điều kiện chịu tải cơ bản là tổ hợp tải trọng gồm tĩnh tải và hoạt tải phân bố đều trên diện tích.

2.4. Mô hình vật liệu gia cường FRP

Vật liệu FRP được định nghĩa là vật liệu dị hướng, có mô hình vật liệu được mô tả bằng đường đặc tính quan hệ ứng suất - biến dạng là tuyến tính. Các thông số vật liệu và tiết diện tấm vật liệu FRP được lấy từ kết quả tổng hợp các đặc tính của vật liệu FRP [7] và được khai báo như Bảng 4.

Bảng 4. Thông số vật liệu FRP gia cường [7]

1	Tên vật liệu	FRP
2	Dạng vật liệu	Dị hướng
3	Khối lượng riêng	16 kN/m ³
4	Mô đun đàn hồi	
	E1	227527 MPa
	E2	23000 MPa
	E3	23000 MPa
5	Mô đun cắt	
	G12	6900 MPa
	G13	6900 MPa
	G23	4200 MPa
6	Hệ số giãn nở nhiệt	
	A1	0.0000099 1/°C
	A2	0.0000099 1/°C
	A3	0.0000099 1/°C
7	Hệ số Poatxong	
	U12	0.3
	U13	0.25
	U23	0.25

2.5. Phương pháp mô phỏng tiết diện sàn BTCT gia cường

Tiết diện sàn gia cường FRP được mô phỏng dạng layered (bao gồm 2 lớp), cụ thể:

Lớp 1: Sàn BTCT dày 100mm

Lớp 2: Tấm FRP có bề dày theo các trường hợp xem xét.

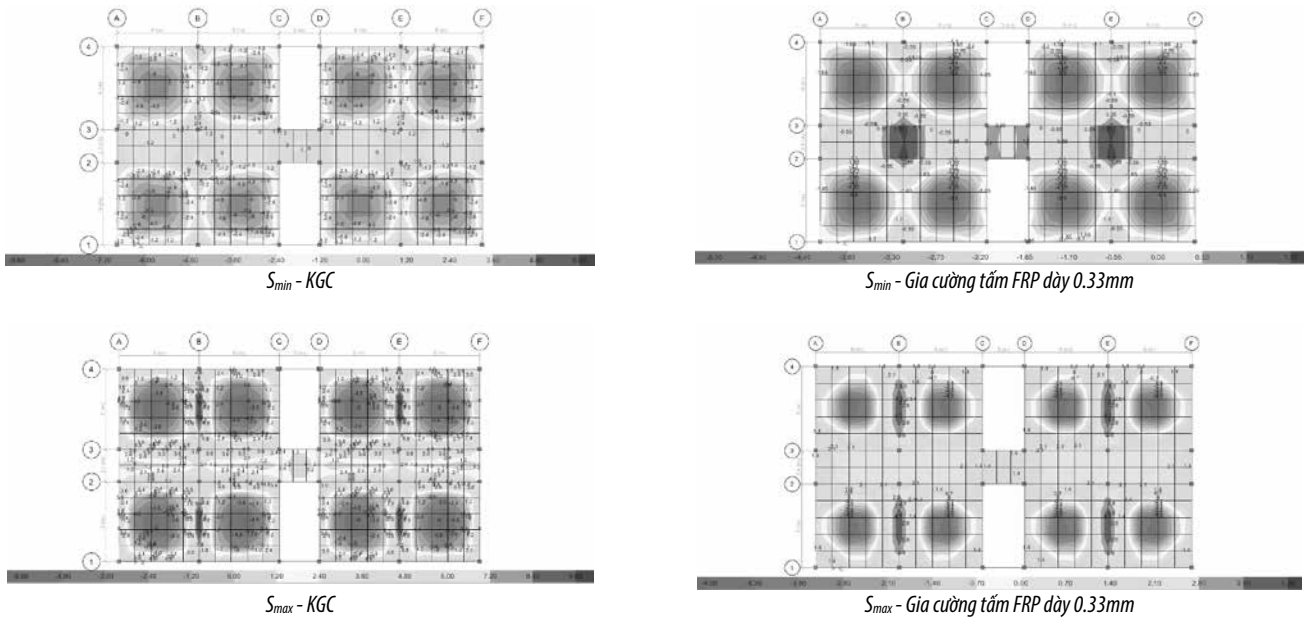
Bảng 5. Khai báo thông số tiết diện sàn gia cường FRP trong phần mềm Etabs 2017

Tên lớp	Khoảng cách (mm)	Chiều dày (mm)	Dạng mô phỏng	Vật liệu	Tính chất	Tiết diện mô phỏng
BTCT	0	100	Tấm	B25	Tuyến tính	
FRP	-50.165	0.33	Tấm	FRP	Tuyến tính	

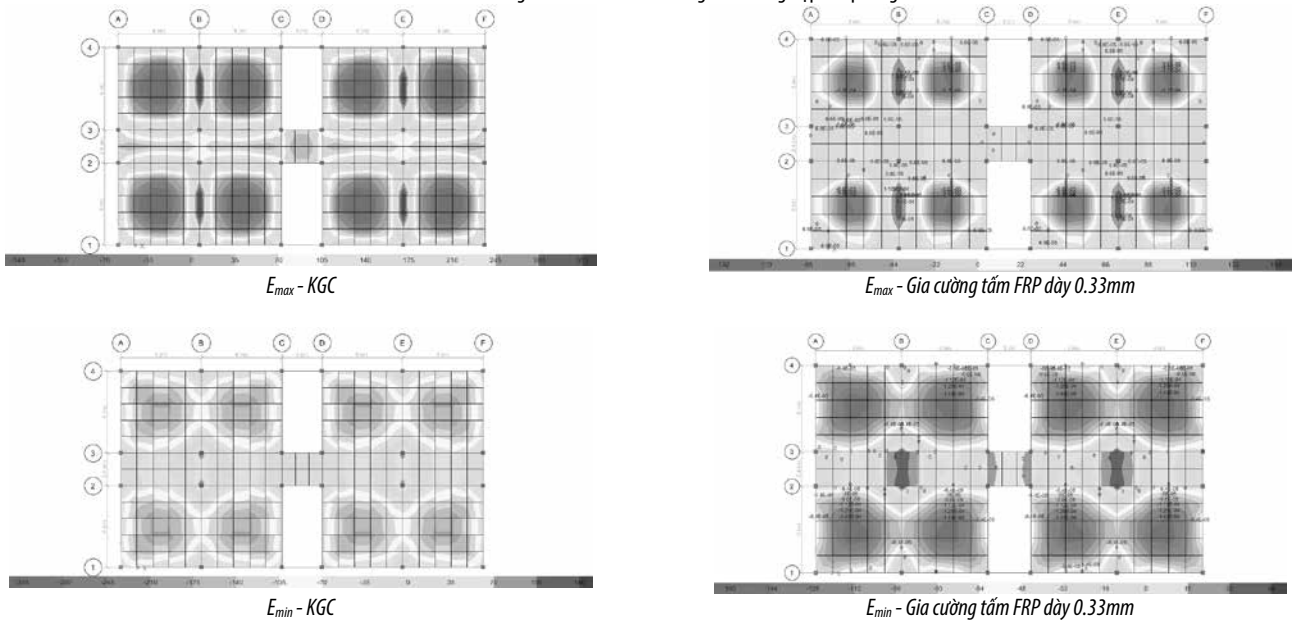
3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.2. Ứng suất, biến dạng trong bê tông sàn

Kết quả phân tích ứng suất và biến dạng kết cấu sàn BTCT trong các trường hợp không gia cường và trường hợp gia cường với các giá trị tải trọng thay đổi, các trường hợp gia cường với chiều dày tấm FRP khác nhau thể hiện ở Hình 2 và Hình 3. Để đánh giá hiệu quả của gia cường vật liệu FRP, kết quả so sánh ứng suất, biến dạng bản sàn trong các trường hợp mô phỏng được thể hiện trên Bảng 6.



Hình 2. Phổ ứng suất bản sàn BTCT trong hai trường hợp mô phỏng



Hình 3. Phổ biến dạng trong sàn trong hai trường hợp mô phỏng

Bảng 6. Giá trị ứng suất, biến dạng sàn BTCT trong các trường hợp tải trọng tác dụng khác nhau

Tầng xét	Trường hợp tải q (daN/m ²)	S _{max}	S _{min}	E _{max}	E _{min}	ΔS _{max} (%)	ΔS _{min} (%)	ΔE _{max} (%)	ΔE _{min} (%)
Tầng 2	q=900	3.36	202.67	0.000108	0.00012	54.84	58.27	56.52	57.89
Tầng 2	q=800	3.06	184.01	0.000098	0.000109	41.01	43.70	42.03	43.42
Tầng 2	q=700	2.76	156.36	0.000088	0.000098	27.19	22.11	27.54	28.95
Tầng 2	q=600	2.46	146.71	0.000079	0.000087	13.36	14.57	14.49	14.47
Tầng 2	q=500	2.17	128.05	0.000069	0.000076				

Bảng 7. Giá trị ứng suất, biến dạng trong sàn BTCT trong các trường hợp gia cường với chiều dày khác nhau

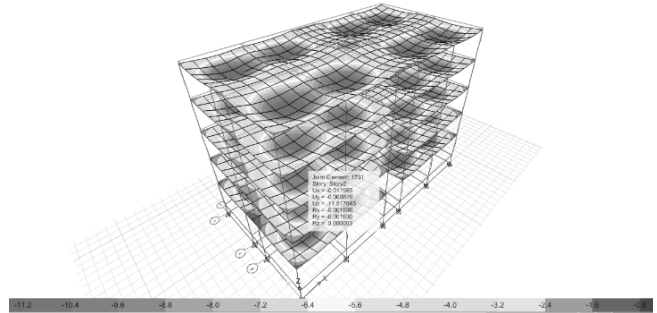
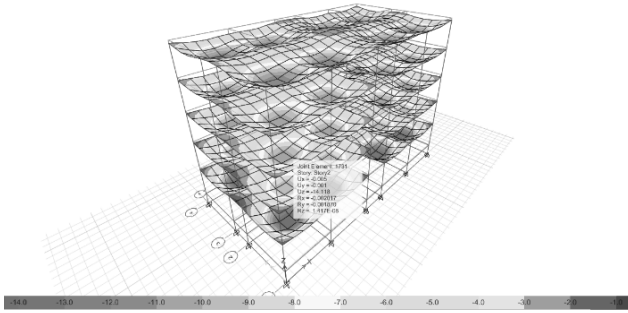
Tầng xét	Trường hợp	S _{max}	S _{min}	E _{max}	E _{min}	ΔS _{max} (%)	ΔS _{min} (%)	ΔE _{max} (%)	ΔE _{min} (%)
Tầng 2	KGC	10.35	7.28	0.000348	0.000204				
Tầng 2	0.165mm	3.38	3.77	0.0001	0.000106	-67.34	-48.21	-71.26	-48.04
Tầng 2	0.33mm	3.06	3.8	0.000098	0.000107	-73.91	-47.80	-71.84	-47.55
Tầng 2	0.66mm	2.7	3.84	0.000095	0.000109	-73.91	-47.25	-72.70	-46.57
Tầng 2	1.02mm	2.61	3.88	0.000092	0.000111	-74.78	-46.70	-73.56	-45.59

Kết quả cho thấy, ứng suất và biến dạng cuối cùng của sàn BTCT được gia cường đều nhỏ hơn so với trường hợp không gia cường, mức độ giảm ứng suất lên tới 74.78%, mức độ giảm biến dạng lên tới 73.56%. Khi tăng bề dày tấm gia cường ứng suất và biến dạng của sàn BTCT giảm xuống, mức độ giảm ứng suất từ 46.70% đến 74.78%, mức độ giảm biến dạng từ 45.59% đến 73.56%. Đồng thời kết quả phân tích cũng cho thấy, ứng suất và biến dạng của bản sàn được gia cường tăng theo sự gia tăng cấp tải trọng, mức tăng ứng suất từ 13.36% đến 58.27%; mức tăng biến

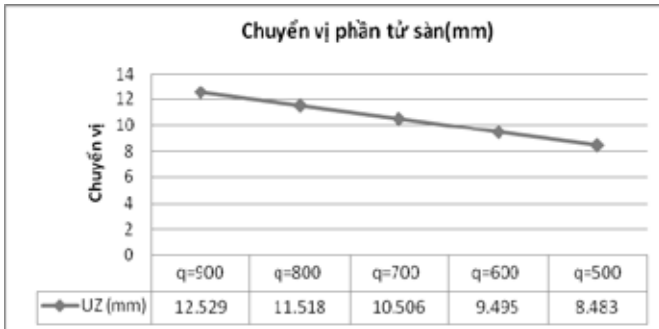
dạng từ 14.47% đến 57.89%.

3.3. Chuyển vị sàn

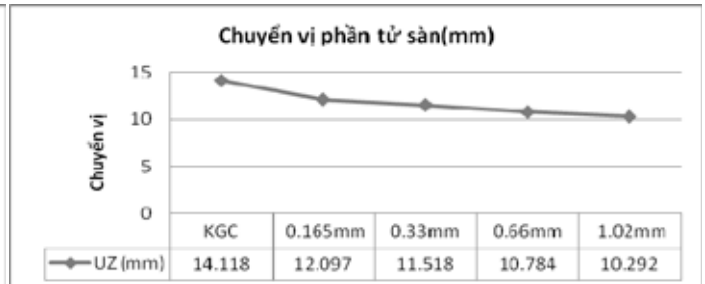
Xét chuyển vị thẳng đứng theo phương Z của sàn trong các trường hợp không gia cường và trường hợp gia cường với các giá trị tải trọng thay đổi, các trường hợp gia cường với chiều dày tấm FRP khác nhau, giá trị chuyển vị của phần tử 1731 (thuộc sàn tầng 2) trong các trường hợp được xác định như trên Bảng 8 và Bảng 9.



Hình 4. Phổ chuyển vị theo phương thẳng đứng trong sàn



a) Đồ thị biểu diễn chuyển vị của sàn theo cấp tải trọng



b) Đồ thị biểu diễn chuyển vị của sàn theo bề dày tấm FRP

Hình 5. Đồ thị biểu diễn chuyển vị của sàn trong các trường hợp mô phỏng

Bảng 8. Chuyển vị sàn trong các trường hợp tải trọng thay đổi

Tầng xét	Phần tử xem xét	Trường hợp tải q (daN/m ²)	U _z (mm)	ΔU _z (%)
Tầng 2	1731	q=900	-12.529	47.70
Tầng 2	1731	q=800	-11.518	35.78
Tầng 2	1731	q=700	-10.506	23.85
Tầng 2	1731	q=600	-9.495	11.93
Tầng 2	1731	q=500	-8.483	

Từ kết quả tổng hợp ở Bảng 8 và Bảng 9, đồ thị biểu diễn chuyển vị của sàn theo cấp tải trọng và bề dày tấm FRP như sau (hình 5):

Kết quả cho thấy, chuyển vị thẳng đứng của sàn trong trường hợp sàn được gia cường FRP nhỏ hơn so với trường hợp không gia cường, mức giảm từ 14.32% đến 27.1% tùy thuộc vào độ dày tấm FRP sử dụng. Đồng thời kết quả phân tích cũng cho thấy, chuyển vị của sàn được gia cường tăng theo sự gia tăng cấp tải trọng, mức

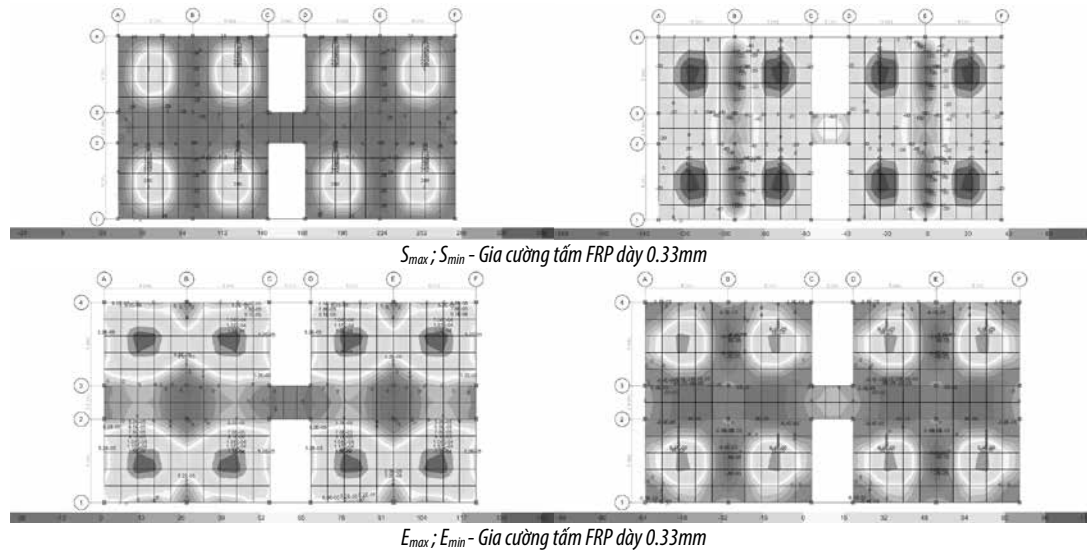
tăng từ 11.93% đến 47.70%.

Bảng 9. Chuyển vị sàn các trường hợp không gia cường và gia cường với chiều dày tấm FRP khác nhau

Tầng xét	Phần tử xem xét	Chiều dày tấm FRP	U _z (mm)	ΔU _z (%)
Tầng 2	1731	Không gia cường (KGC)	-14.118	
Tầng 2	1731	0.165mm	-12.097	-14.32
Tầng 2	1731	0.33mm	-11.518	-18.42
Tầng 2	1731	0.66mm	-10.784	-23.62
Tầng 2	1731	1.02mm	-10.292	-27.10

3.4. Ứng suất - biến dạng trong FRP

Kết quả phân tích phổ ứng suất và phổ biến dạng của tấm FRP trong các trường hợp tải trọng tác dụng và chiều dày gia cường khác nhau được thể hiện lần lượt trên Hình 6. Chi tiết kết quả giá trị ứng suất và biến dạng trong vật liệu FRP được thể hiện trên Bảng 10 và Bảng 11.



Hình 6. Phổ ứng suất và biến dạng trong tấm FRP

Bảng 10. Giá trị ứng suất, biến dạng của tấm FRP trong các trường hợp tải trọng

Tầng xét	Trường hợp tải q (daN/m ²)	S _{max}	S _{min}	E _{max}	E _{min}	ΔS _{max} (%)	ΔS _{min} (%)	ΔE _{max} (%)	ΔE _{min} (%)
Tầng 2	q=900	351.56	201.71	0.000172	0.00012	54.83	58.27	54.95	57.89
Tầng 2	q=800	320.44	184.01	0.000156	0.000109	41.13	44.38	40.54	43.42
Tầng 2	q=700	289.31	164.58	0.000141	0.000098	27.42	29.13	27.03	28.95
Tầng 2	q=600	258.18	146.01	0.000126	0.000087	13.71	14.56	13.51	14.47
Tầng 2	q=500	227.06	127.45	0.000111	0.000076				

Bảng 11. Giá trị ứng suất và biến dạng trong tấm FRP với chiều dày gia cường khác nhau

Tầng xét	Chiều dày tấm FRP	S _{max}	S _{min}	E _{max}	E _{min}	ΔS _{max} (%)	ΔS _{min} (%)	ΔE _{max} (%)	ΔE _{min} (%)
Tầng 2	0.165mm	377.8	235.3	0.000169	0.000135				
Tầng 2	0.33mm	320.44	184.01	0.000156	0.000109	-15.18	-21.80	-7.69	-19.26
Tầng 2	0.66mm	248.07	133.89	0.000141	0.000088	-34.34	-43.10	-16.57	-34.81
Tầng 2	1.02mm	200.83	109.09	0.00013	0.000084	-46.84	-53.64	-23.08	-37.78

Kết quả cho thấy, ứng suất và biến dạng trong tấm FRP giảm xuống khi tăng bề dày tấm gia cường, mức giảm ứng suất từ 15.18% đến 53.64%, mức giảm biến dạng từ 7.69% đến 37.78%. Đồng thời kết quả phân tích cũng cho thấy, ứng suất và biến dạng của tấm FRP được gia cường tăng theo sự gia tăng cấp tải trọng, mức độ tăng ứng suất từ 13.71% đến 58.27%, mức độ tăng biến dạng từ 13.51% đến 57.89%.

4. KẾT LUẬN

Căn cứ kết quả đạt được từ nghiên cứu này, một số kết luận được rút ra như sau:

Giá trị ứng suất, biến dạng và chuyển vị cuối cùng trong cấu kiện được gia cường FRP là nhỏ hơn so với trường hợp không gia cường, mức độ giảm ứng suất lên tới 74.78%, mức độ giảm biến dạng lên tới 73.56%.

Khi tăng bề dày tấm gia cường ứng suất và biến dạng của sàn BTCT giảm xuống, mức độ giảm ứng suất từ 46.70% đến 74.78%, mức độ giảm biến dạng từ 45.59% đến 73.56%. Bên cạnh đó, ứng suất và biến dạng của bản sàn được gia cường tăng theo sự gia tăng cấp tải trọng, mức tăng ứng suất từ 13.36% đến 58.27%; mức tăng biến dạng từ 14.47% đến 57.89%.

Khi tăng bề dày tấm gia cường chuyển vị của sàn giảm, mức giảm từ 14.32% đến 27.1% tùy thuộc vào độ dày tấm FRP sử dụng. Mặt khác, chuyển vị của sàn được gia cường tăng theo sự gia tăng cấp tải trọng, mức tăng từ 11.93% đến 47.70%.

Ứng suất và biến dạng trong tấm FRP giảm xuống khi tăng bề dày tấm gia cường, mức giảm ứng suất từ 15.18% đến 53.64%, mức giảm biến dạng từ 7.69% đến 37.78%. Bên cạnh đó, ứng suất và biến dạng

của tấm FRP được gia cường tăng theo sự gia tăng cấp tải trọng, mức độ tăng ứng suất từ 13.71% đến 58.27%, mức độ tăng biến dạng từ 13.51% đến 57.89%.

Các kết quả trên chứng minh tính hiệu quả của phương pháp gia cường này trong việc tăng cường khả năng chịu uốn và giảm độ võng của sàn BTCT.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Sheikh, SA. Performance of concrete structures retrofitted with fibre reinforced polymers. Journal of Engineering Structures, (24), 2002, 869-879.
- [2]. Ayman S. Mosallam, Khalid M. Mosalam. Strengthening of two-way concrete slabs with FRP composite laminates. Construction and Building Materials, (17), 2003, 43-54.
- [3]. Ola Enochsson, Joakim Lundqvist, Bjo m Taljsten, Piotr Rusinowski, Thomas Olofsson. FRP strengthened openings in two-way concrete slabs - An experimental and numerical study. Construction and Building Materials, (21), 2007, 810-826.
- [4]. Fahmy A. Fathelbab, Mostafa S. Ramadan, Ayman Al-Tantawy. Strengthening of RC bridge slabs using CFRP sheets. Alexandria Engineering Journal, (53), 2014, 843 - 854.
- [5]. Wissam D. Salman, Ahmed Abdullah Mansor and Mohammed Mahmood. Behavior of reinforced concrete one-way slabs strengthened by CFRP sheets in flexural zone. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). Volume 9, Issue 10, October 2018, pp. 1872-1881.
- [6]. Nguyễn Thành Công, Nguyễn Chí Thanh, Phạm Thị Thu Thủy, Vũ Văn Thành. Nghiên cứu thực nghiệm ứng xử uốn của bản bê tông cốt thép gia cường bằng tấm cốt sợi tổng hợp. Tạp chí khoa học Việt Nam, (34), 2007, 56-61.
- [7]. American Concrete Institute. ACI 440.2R-17. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. May - 2017.
- [8]. Công ty Tư vấn Xây dựng VNT Việt Nam. Gia cố kết cấu bằng tấm sợi carbon fiber - CFRP, khai thác từ http://www.giacoketcau.com.