

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

HUỲNH XUÂN TÍN

**ỨNG XỬ NÉN CỦA CỘT BÊ TÔNG CỐT THÉP BỊ HƯ
HỎNG ĐƯỢC GIA CƯỜNG BẰNG TẤM CFRP VÀ BFRP**

Ngành: Kỹ Thuật Xây Dựng

Mã số ngành: 9580201

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2023

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn 1: PGS. TS. Nguyễn Minh Long

Người hướng dẫn 2: PGS. TS. Ngô Hữu Cường

Phản biện độc lập:

Phản biện độc lập:

Phản biện:

Phản biện:

Phản biện:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại

.....
.....

vào lúc giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM
- Thư viện Đại học Quốc gia Tp.HCM
- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp.HCM

ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong môi trường nước biển, hàm lượng ion sun-phát cao là nhân tố chính thúc đẩy ăn mòn bê tông [1]. Bên cạnh đó, trong môi trường nhiễm mặn hay cả nước ngọt, ảnh hưởng của chu kỳ khô-ướt do thủy triều hoặc mưa làm xuất hiện các khu vực có độ ẩm 30%-50%, đây là độ ẩm lý tưởng thúc đẩy quá trình tập trung ion clorua gây ra hiện tượng ăn mòn cốt thép. Gần đây, giải pháp dùng vật liệu polymer gia cường sợi (FRP) cho việc sửa chữa, gia cường nhằm kéo dài thời gian sử dụng của cấu kiện BTCT nói chung và cột nói riêng đã và đang nhận được sự quan tâm rất lớn từ các nhà nghiên cứu và doanh nghiệp nhờ vào các ưu điểm của vật liệu FRP như không bị ăn mòn, có cường độ chịu kéo cao, trọng lượng bản thân nhẹ, không nhiễm từ và nhiễm điện, dễ thi công và lắp đặt.

Tuy ảnh hưởng của ion sun-phát đến sự ăn mòn bê tông có thể tìm thấy trong nhiều nghiên cứu [2-4] nhưng số lượng nghiên cứu về ảnh hưởng của ion này tới cột BTCT gia cường tấm FRP là rất hạn chế cho đến hiện nay. Liên quan đến ảnh hưởng của sự ăn mòn cốt thép trong cột, một số lượng lớn các nghiên cứu liên quan đến ứng xử nén đúng tâm (cường độ, độ cứng và khả năng biến dạng) của cột BTCT có cốt thép chịu lực còn nguyên vẹn hay đã bị ăn mòn được bó hông bằng tấm CFRP/GFRP đã được triển khai liên tục và mang tính hệ thống như [5-23]. Tuy nhiên, các nghiên cứu liên quan đến việc đánh giá ảnh hưởng của mức độ ăn mòn của cốt thép chịu lực (cốt dọc và đai) đến hiệu quả gia cường của tấm FRP và các đặc trưng kết cấu của cột BTCT chịu nén lệch tâm là rất hạn chế. Mặt khác, các điều khoản nhằm xác định khả năng chịu nén lệch tâm của cột BTCT có cốt thép bị ăn mòn được bó hông bằng tấm FRP vẫn chưa được trình bày rõ trong một số hướng dẫn thiết kế kết cấu BTCT gia cường bằng tấm FRP hiện nay như [24-27]. Vì vậy, việc xây dựng một mô hình tính có thể kể đến được sự ảnh hưởng đồng thời của cả mức độ ăn mòn cốt thép chịu lực (cốt dọc và cốt đai) và độ lệch tâm đến hiệu quả bó hông của

tấm FRP cho cột BTCT nhằm giúp cho công tác thiết kế được an toàn và kinh tế hơn là thật sự cần thiết.

Từ những vấn đề vừa nêu trên, luận án này tập trung làm rõ một cách định lượng và có hệ thống về ứng xử nén của cột BTCT có cốt thép chịu lực bị ăn mòn và bê tông bị suy biến bởi tác động bởi ion sun-phát được bó hông bằng tấm sợi các-bon (CFRP) và tấm sợi ba-zan (BFRP). Trong đó, luận án được kỳ vọng có thể làm sáng tỏ ảnh hưởng của sự suy biến của bê tông do sự xâm thực bởi ion sun-phát theo chu kỳ khô/ướt cũng như mức độ ăn mòn của cốt thép chịu lực đến hiệu quả gia cường bó hông của tấm CFRP/BFRP và các đặc trưng về khả năng chịu lực và biến dạng của cột BTCT được gia cường bằng tấm CFRP/BFRP. Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu thực nghiệm, luận án tiến hành đề xuất hiệu chỉnh cho công thức cũng như mô hình hiện có nhằm dự đoán hợp lý hơn khả năng chịu nén của cột BTCT có cốt thép bị ăn mòn được gia cường bó hông bằng tấm CFRP/BFRP.

CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN, MỤC TIÊU, Ý NGHĨA VÀ NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

1.1 Tổng quan nghiên cứu

1.1.1 Giới thiệu về vật liệu FRP

FRP có các ưu điểm như cường độ cao và trọng lượng nhẹ, chịu tải trọng mỗi tốt, khả năng chống ăn mòn cao và dễ dàng thi công trên bề mặt bê tông. Một đặc điểm nổi bật khác là FRP có chiều dày nhỏ, nên có thể đáp ứng các tiêu chí về mỹ quan cũng như sự hạn chế về không gian mà các vật liệu xây dựng truyền thống không có được. Các tiến bộ về công nghệ xây dựng đã làm cho việc sử dụng FRP tăng lên nhanh chóng đặc biệt trong sửa chữa và tăng cường các kết cấu BTCT từ những năm 1990s [28-30]. Phương pháp dán tấm FRP khắc phục được những nhược điểm của phương pháp sửa chữa tăng cường kết cấu theo truyền thống như: (1) không làm tăng tĩnh tải, (2) không thay đổi cấu trúc tổng thể kết cấu, (3) tăng độ cứng chống uốn, (4) hiệu quả trong việc ngăn chặn độ

mở rộng và sự xuất hiện của vết nứt trong bê tông và (5) thi công dễ dàng và nhanh chóng.

1.1.2 Mô hình ứng suất – biến dạng của bê tông bị bó hông bằng cốt đai

Đối với cột bê tông được bố trí cốt đai, khi ứng suất nén trong bê tông còn nhỏ, ứng xử của bê tông bị bó hông và không bị bó hông là như nhau do biến dạng nở hông của bê tông chưa đủ lớn. Khi ứng suất nén của bê tông tăng lên và đạt tới giá trị cực hạn, phần lõi bê tông của cột bên trong cốt đai bị biến dạng nở hông đáng kể nhưng bị cản trở bởi cốt đai bao quanh và hình thành nên hiệu ứng bó hông của cốt đai lên bê tông [31].

Nhiều mô hình ứng suất-biến dạng cho BTCT đã được đề xuất [31-34]. Phần lớn các mô hình bao gồm một nhánh tăng dần và một nhánh giảm dần, và mỗi nhánh được biểu diễn bằng một phương trình khác nhau. Các nghiên cứu được thực hiện trên các cột có mặt cắt ngang hình chữ nhật [32-33], hoặc mặt cắt tròn [32,34]. Một trong những mô hình được sử dụng rộng rãi nhất trong phân tích cột BTCT là mô hình của Mander [31].

1.1.3 Mô hình ứng suất – biến dạng của bê tông bị bó hông bằng tấm FRP

Các mô hình ứng suất – biến dạng được đề xuất cho bê tông bó hông bởi FRP trong các cột có thể được phân thành hai loại: (1) các mô hình định hướng phân tích [35-38]; và (2) các mô hình định hướng thiết kế [39-44]. Độ chính xác của các mô hình định hướng phân tích phụ thuộc chủ yếu vào việc mô hình hóa mối quan hệ biến dạng ngang bê tông và biến dạng dọc trục của tấm FRP bó hông. Các mô hình định hướng phân tích phù hợp hơn để kết hợp trong nền tảng phân tích số bằng máy tính như phân tích phần tử hữu hạn phi tuyến. Các mô hình hướng thiết kế thường bao gồm một phương trình ứng suất-biến dạng dạng khép kín và các phương trình điều kiện được rút ra trực tiếp từ kết quả thực nghiệm. Độ chính xác của các mô hình hướng thiết kế phụ thuộc rất nhiều vào định nghĩa của trạng thái cuối cùng của bê tông được bó hông bởi tấm FRP. Dạng đơn giản của các mô hình hướng đến thiết kế là làm cho chúng thuận tiện cho việc sử dụng trong thiết kế. Mô hình ứng suất – biến dạng cho bê tông bó hông bởi FRP được

sử dụng rộng rãi nhất là mô hình của Lam và Teng [41-42] theo định hướng thiết kế, trình bày quan hệ ứng suất - biến dạng với phần đầu dạng parabol và phần thứ hai dạng tuyến tính.

1.1.4 Ứng suất bó hông của vật liệu FRP

Tấm FRP cung cấp ứng suất bó hông bị động cho cột. Bê tông được bó hông bởi tấm FRP thể hiện ứng xử khác so với bê tông bị bó hông do cốt thép đai vì vật liệu FRP có quan hệ ứng suất-biến dạng tuyến tính. Mặt khác, so với thép, tấm FRP có cường độ cao hơn và biến dạng nhỏ hơn. Ứng suất bó hông do tấm FRP phân bố đều xung quanh chu vi của cột. Bó hông do tấm FRP có thể đạt được bằng các cấu hình gia cường khác nhau như phủ toàn bộ bề mặt cột hoặc quấn một phần của cột (cách quãng) bằng các dải FRP.

1.1.5 Ứng xử nén của cột BTCT được bó hông bằng tấm FRP

1.1.5.1 Khả năng chịu nén đúng tâm của cột BTCT được bó hông bằng tấm FRP

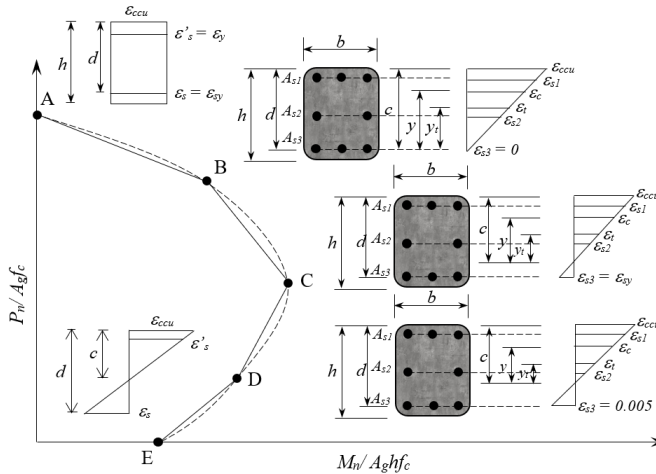
Các nghiên cứu [5-23] cho thấy tấm CFRP giúp gia cường hoặc phục hồi tốt khả năng chịu lực của cột nhờ vào hiệu ứng bó hông; đồng thời ngăn chặn hiệu quả sự xâm nhập của ion clorua, oxygen, ion sun-phát và nước vào bê tông, làm giảm tốc độ ăn mòn của cốt thép chịu lực trong cột và nhờ đó kéo dài thời gian sử dụng của kết cấu.

Hiện nay, phương pháp xác định khả năng kháng nén của cột bị bó hông bằng tấm FRP đã được trình bày chi tiết trong một số hướng dẫn thiết kế gia cường hiện hành [24-27]. Theo [24], khả năng chịu nén đúng tâm có thể xác định dựa trên mô hình ứng suất – biến dạng của Lam và Teng [41-42]. Khả năng chịu nén dọc trục của cấu kiện bê tông được xác định theo công thức (1.1) cho cấu kiện không có dự ứng lực với cốt đai xoắn và (1.2) cho cấu kiện không có dự ứng lực với cốt đai thường.

$$\phi P_n = 0,85\phi(0,85f_{cc}(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \quad (1.1)$$

$$\phi P_n = 0,80\phi(0,85f_{cc}(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \quad (1.2)$$

1.1.5.2 Khả năng chịu nén uốn kết hợp của cột BTCT được bó hông bằng tấm FRP



Hình 1.1: Biểu đồ quan hệ lực - mô men (P-M)

Theo [24], biểu đồ tương tác P-M được xây dựng dựa trên trạng thái tương thích biến dạng và cân bằng lực. Để đơn giản, biểu đồ P-M của cột BTCT chịu nén lệch tâm ($e > 0.1h$), không tăng cường và có tăng cường tấm FRP có thể xấp xỉ theo đường gấp khúc qua 5 điểm A, B, C, D và E [45] (**Hình 1.1**).

Để xác định khả năng kháng nén lệch tâm của cột BTCT được gia cường bó hông bằng tấm FRP, một vài nghiên cứu như [46-47] sử dụng biểu đồ tương tác P – M được xây dựng như trên để xác định khả năng chịu nén lệch tâm của cột BTCT có cốt thép bị ăn mòn được bó hông bằng tấm CFRP; trong đó, khả năng chịu nén của cột được xét tăng thêm do ảnh hưởng bởi ứng suất bó hông tạo nên bởi tấm CFRP. Nghiên cứu [47] đề xuất xác định khả năng chịu nén lệch tâm của cột gia cường tấm CFRP có xét đến ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt thép đại bằng cách sử dụng hệ số chiết giảm ứng suất bó hông của tấm CFRP; tuy nhiên, nghiên cứu chưa đánh giá được ảnh hưởng của mức độ ăn mòn của cốt dọc.

Các điều khoản nhằm xác định khả năng chịu nén của cột BTCT được bố hồng bằng vật liệu FRP trong các hướng dẫn thiết kế kết cấu BTCT được gia cường bằng tấm CFRP hiện nay như [24-25] vẫn chưa làm rõ ảnh hưởng của các yếu tố bất lợi của ion sun-phát và cốt thép bị ăn mòn đến ứng xử của cột.

1.2 Mục tiêu nghiên cứu

Các mục tiêu cụ thể của luận án này như sau:

- (1) Khảo sát thực nghiệm và đánh giá định lượng ảnh hưởng của ion sun-phát đến hiệu quả gia cường bố hồng của tấm CFRP cho cột BTCT;
- (2) Phân tích thực nghiệm ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt thép dọc và đai đến hiệu quả gia cường bố hồng của tấm CFRP/BFRP cho cột BTCT chịu nén lệch tâm với độ lệch tâm khác nhau;
- (3) Phân tích tương tác giữa các thành phần tham gia chịu lực (cốt đai, cốt dọc, lưới sợi CFRP/BFRP gia cường bố hồng và dọc) và độ lệch tâm đến ứng xử tổng thể và khả năng chịu nén của cột BTCT; và
- (4) Đề xuất quy trình tính khả năng chịu nén lệch tâm của cột BTCT có cốt thép bị ăn mòn được gia cường bố hồng bằng tấm CFRP/BFRP có xét đến ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt thép, độ lệch tâm, và số lớp tấm CFRP/BFRP bố hồng.

1.3 Ý nghĩa nghiên cứu

1.3.1 Ý nghĩa khoa học

Đề tài này góp phần làm sáng tỏ, định lượng và hệ thống hơn hiệu quả của phương pháp gia cường bố hồng bằng tấm CFRP/BFRP cho cột BTCT có bê tông bị suy biến và cốt thép chịu lực bị ăn mòn. Kết quả thu được từ đề tài này còn được kỳ vọng có thể cung cấp thêm các dữ liệu thực nghiệm có giá trị giúp làm giàu hơn hiểu biết về ứng xử nén của cột BTCT có bê tông bị suy biến được gia cường bố hồng bằng tấm CFRP/BFRP và cốt thép chịu lực bị ăn mòn, làm cơ sở quan trọng và tin cậy cho việc bổ sung và hiệu chỉnh các mô hình tính toán khả năng chịu lực của cột BTCT có cốt thép chịu lực bị ăn mòn được gia cường bố hồng bằng

tấm CFRP/BFRP và giúp cho việc dự đoán ứng xử của cột phản ánh đúng với thực tế và an toàn hơn trong bài toán thiết kế gia cường.

1.3.2 Ý nghĩa thực tiễn

Các công trình BTCT xây dựng trong môi trường biển ở Việt Nam, chỉ trong một thời gian từ 10 đến 30 năm sử dụng, hầu hết đều bị xuống cấp nghiêm trọng; trong đó, nguyên nhân chính là do hiện tượng bê tông và cốt thép bị ăn mòn. Trong bối cảnh kinh tế quốc gia còn gặp nhiều khó khăn như hiện nay, việc xây mới đòi hỏi một nguồn kinh phí khổng lồ, cho nên, nhu cầu tìm kiếm giải pháp kỹ thuật phù hợp phục vụ cho việc sửa chữa, gia cố phục hồi khả năng chịu lực nhằm kéo dài tuổi thọ của các công trình xây dựng bằng BTCT thật sự là nhu cầu lớn và có ý nghĩa thực tiễn cao. Đề tài này nghiên cứu và làm rõ hiệu quả của giải pháp kỹ thuật gia cường sử dụng tấm CFRP/BFRP cho cột BTCT có bê tông bị suy biến và cốt thép bị ăn mòn nhằm phục hồi sức chịu tải của cột, hạn chế sự ăn mòn cốt thép trong cột, từ đó kéo dài tuổi thọ và thời gian sử dụng. Ngoài ra, kết quả từ nghiên cứu này có thể cung cấp thêm các hiểu biết mới và hữu dụng cho cộng đồng kỹ sư đang làm việc trong lĩnh vực gia cường kết cấu.

1.4 Đối tượng, phạm vi, nội dung và phương pháp nghiên cứu

1.4.1 Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của luận án này là cột BTCT chịu nén đứng và lệch tâm được gia cường bằng tấm CFRP/BFRP.

1.4.2 Phạm vi nghiên cứu

Trong các công trình xây dựng thực tế, các cột hầu hết đều có ứng xử như cột ngắn, nên đề tài này chỉ tập trung nghiên cứu ứng xử chịu nén đứng và lệch tâm của cột ngắn, kích thước 200×200×800mm. Cường độ bê tông của các mẫu cột thí nghiệm được thiết kế từ 25 đến 60 MPa, là dải cường độ thông dụng được dùng trong thực tiễn hiện nay. Hàm lượng cốt dọc (1,7% và 2%) và cốt đai (0,3% và 0,4%) dùng trong các cột thí nghiệm lần lượt là hàm lượng dùng phổ biến trong các công trình hiện nay. Môi trường tạo ăn mòn xâm thực cho bê tông là dung dịch MgSO₄ nồng độ 7%. Số lớp tấm CFRP/BFRP gia cường được thiết kế

lần lượt là một và ba lớp, tương ứng với ứng suất bó hông nhỏ và lớn theo quy định [25]. Cốt thép của cột được tạo ăn mòn trước khi đổ bê tông cột với ba cấp độ 0%, 15% và 30% khối lượng bằng phương pháp ngâm trong môi trường axit H_2SO_4 và không tẩy gỉ trước khi đúc mẫu nhằm giữ nguyên sự suy giảm về khả năng bám dính với bê tông.

Do vấn đề nghiên cứu ăn mòn cả bê tông và cốt thép đồng thời trên mẫu cột thí nghiệm là rất khó khăn về mặt kỹ thuật và khó kiểm soát cũng như đánh giá tách bạch một cách định lượng ảnh hưởng của chúng đến các đặc trưng chịu lực và biến dạng của cột nên hai chương trình thí nghiệm được tiến hành tuần tự để nghiên cứu ảnh hưởng của từng yếu tố.

1.4.3 Nội dung nghiên cứu

Luận án tập trung nghiên cứu các nội dung chính như sau:

- Khảo sát thực nghiệm ảnh hưởng của ion sun-phát đến sự suy giảm độ cứng dọc trục, khả năng biến dạng của cột BTCT được gia cường bó hông bằng tấm CFRP và hiệu quả gia cường của tấm CFRP; định lượng mức độ đóng góp của từng thành phần như lõi bê tông và tấm CFRP bó hông theo thời gian chịu ảnh hưởng của ion sun-phát và ảnh hưởng tương tác giữa số lớp tấm CFRP gia cường với cường độ bê tông đến vấn đề này;
- Phân tích và định lượng ảnh hưởng của mức độ ăn mòn của cốt thép cốt dọc và cốt đai, độ lệch tâm tương đối và số lớp tấm CFRP/BFRP gia cường bó hông đến khả năng chịu nén lệch tâm, khả năng biến dạng, hấp thụ năng lượng và độ dẻo dai của cột BTCT;
- Kiểm chứng mức độ chính xác của các công thức dự đoán khả năng chịu nén lệch tâm của cột gia cường bó hông bằng tấm CFRP/BFRP trong một số nghiên cứu và hướng dẫn thiết kế hiện hành; từ đó đề xuất công

thức hiệu chỉnh phù hợp hơn, có xét đến ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt chịu lực, độ lệch tâm và số lớp tấm bó hông.

1.5 Bố cục của luận án

Cấu trúc của luận án bao gồm phần Mở đầu, bốn Chương (từ Chương 1 đến 4), phần Kết luận & Kiến nghị và bốn Phụ lục, cụ thể như sau:

Phần Mở đầu trình bày tóm tắt về bối cảnh hình thành nên hướng nghiên cứu của Luận án, phân tích và xác định các tồn tại khoa học chưa được giải quyết đầy đủ và hệ thống trong lĩnh vực gia cường bó hông cột BTCT bằng tấm FRP; từ đó, đề xuất các chủ đề nghiên cứu chính của Luận án.

Chương 1 trình bày tổng quan nghiên cứu về vật liệu FRP, tổng quan về bê tông bị bó hông, mô hình ứng suất – biến dạng của bê tông bị bó hông bằng tấm FRP, và ứng xử nén của cột BTCT được bó hông bằng tấm FRP, làm cơ sở khoa học tường minh cho việc đề xuất các mục tiêu nghiên cứu. Các phần về nội dung, ý nghĩa, phương pháp nghiên cứu, và bố cục luận án cũng được trình bày ở chương này.

Chương 2 trình bày chi tiết về nghiên cứu thực nghiệm tác động của ăn mòn bê tông do ion sun-phát đến ứng xử chịu nén của cột BTCT thông qua chương trình thực nghiệm trên 24 mẫu cột.

Chương 3 tập trung làm rõ ảnh hưởng của ăn mòn cốt thép đến ứng xử chịu nén lệch tâm của cột BTCT. Chương trình thực nghiệm cho nội dung này được tiến hành trên 40 mẫu cột được xây dựng chi tiết bao gồm vật liệu sử dụng và các đặc tính cơ lý đi kèm, thiết kế, chế tạo mẫu thí nghiệm, sơ đồ thí nghiệm và lắp đặt thiết bị đo đạc, và quy trình thí nghiệm.

Chương 4 đề xuất mô hình dự đoán khả năng chịu nén lệch tâm của cột gia cường bó hông bằng tấm CFRP/BFRP có xét đến ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt chịu lực, độ lệch tâm, và số lớp tấm bó hông.

Phần Kết luận và Kiến nghị trình bày các kết luận được rút ra từ nghiên cứu và các kiến nghị về hướng nghiên cứu tiếp theo.

Phụ lục trình bày quy trình chế tạo và thí nghiệm 64 mẫu cột BTCT dùng để nghiên cứu ảnh hưởng của ăn mòn bê tông do ion sun-phát và ăn mòn cốt thép; và tính toán biểu đồ tương tác P-M.

CHƯƠNG 2 HIỆU QUẢ CỦA TẤM CFRP BÓ HỒNG CHO CỘT BÊ TÔNG CỐT THÉP CÓ BÊ TÔNG BỊ ĂN MÒN BỞI MUỐI SUN-PHÁT

2.1 Chương trình thực nghiệm

2.1.1 Vật liệu

2.1.1.1 Bê tông

Các cột thí nghiệm được chế tạo từ ba nhóm bê tông cường độ khác nhau (nhóm M25, M40, và M60). Cường độ chịu nén trung bình dọc trục $f_{c,cube}$ lần lượt là 28 MPa, 41 MPa và 61 MPa.

2.1.1.2 Cốt thép thường

Cốt dọc chịu nén và cốt đai có đường kính lần lượt bằng 12mm và 6mm. Giới hạn chảy và giới hạn bền của cốt dọc lần lượt là $f_y= 428$ MPa và $f_u= 600$ MPa; của cốt đai lần lượt là $f_{yw}= 302$ MPa và $f_{uw}= 470$ MPa.

2.1.1.3 Tấm CFRP và keo dán

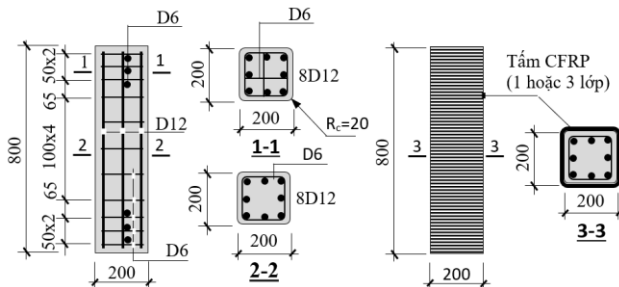
Tấm sợi các-bon loại Carbotex UD 300 và keo dán hai thành phần A-B loại Carbotex Impreg của hãng Adcos NV – Vương quốc Bỉ được sử dụng cho nghiên cứu này.

2.1.2 Mẫu thí nghiệm

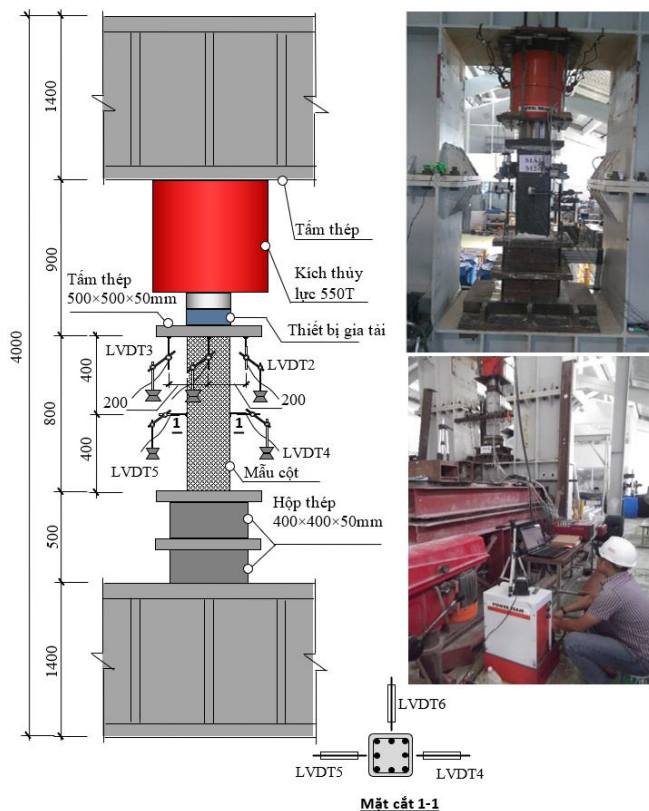
Cột BTCT được thí nghiệm thuộc dạng cột ngắn, kích thước 200x200x800mm, với tổng số lượng là 24 mẫu. Cách đặt tên và mô tả các mẫu như **Bảng 2.1**. Cấu tạo của các mẫu cột được mô tả trên **Hình 2.1**.

Bảng 2.1: Cách đặt tên và mô tả các mẫu

TT	Tên mẫu	Nhóm	Cường độ bê tông (MPa)	Số lớp CFRP	Thời gian ngâm trước gia cường (chu kỳ khô/ướt)	Thời gian ngâm sau gia cường (chu kỳ khô/ướt)
1	AM25-0	A	28	0	0	0
2	AM40-0		49			
3	AM60-0		61			
4	BM25-0	B	28	0	60	0
5	BM25-3			3		
6	BM40-0			0		
7	BM40-1		49	1		
8	BM40-3			3		
9	BM60-0		61	0		
10	BM60-3	3				
11	CM40-0	C		49	0	60
12	CM40-1		1			
13	CM40-1*		1			
14	CM40-3		3			
15	DM25-0	D	28	0	60	150
16	DM25-1*			1		
17	DM25-3			3		
18	DM40-0		49	0		
19	DM40-1			1		
20	DM40-1*			1		
21	DM40-3			3		
22	DM60-0		61	1		
23	DM60-1*			1		
24	DM60-3			3		



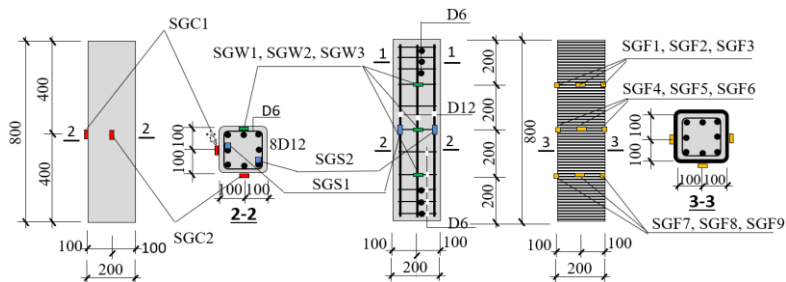
Hình 2.1: Cấu tạo mẫu cột



Hình 2.2: Sơ đồ gia tải đứng tâm và hình ảnh thí nghiệm trong phòng

2.1.3 Sơ đồ thử tải và bố trí thiết bị thí nghiệm

Cột được thí nghiệm nén đứng tâm như **Hình 2.2**. Chuyển vị dọc trục và ngang của cột được xác định bằng sáu chuyển vị kế điện tử (LVDT). Biến dạng của bê tông, cốt thép và tấm CFRP được xác định nhờ vào 16 cảm biến (**Hình 2.3**).



Hình 2.3: Bố trí các cảm biến đo biến dạng của bê tông, thép và tấm CFRP của các cột

2.2 Kết quả thí nghiệm và thảo luận

Kết quả thí nghiệm từng mẫu được tổng hợp trong **Bảng 2.2**.

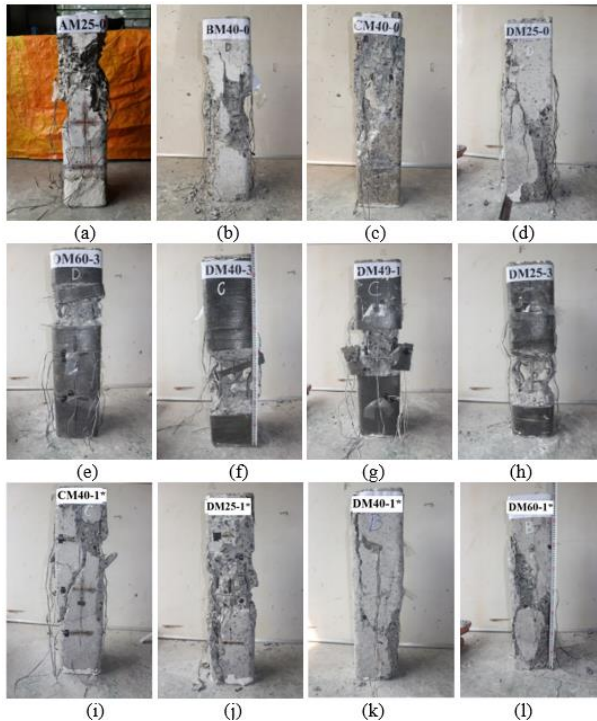
Bảng 2.2: Kết quả thí nghiệm cột bị ăn mòn sun-phát chịu nén đúng tâm

Mẫu	P_y (kN)	P_u (kN)	δ_{vu} (mm)	δ_{hu} (mm)	ϵ_{fu} (%)	ϵ_{su} (%)	ϵ_{swu} (%)	EA_0 (kN/mm)	Kiểu phá hoại
AM25-0	793	1481	4,50	0,98	-	6,8	1,7	432	a
BM25-0	776	1433	4,91	1,10	-	7,0	1,8	381	c
DM25-1*	699	1340	5,55	1,08	-	6,0	1,9	328	c
DM25-0	557	1045	5,31	1,13	-	8,6	3,0	244	c
BM25-3	1202	2613	31,93	4,53	12,7	23,9	13,1	448	a
DM25-3	1168	2490	28,91	4,58	12,5	37,4	115,0	278	c
AM40-0	931	1819	3,62	0,78	-	6,0	1,7	636	b
BM40-0	926	1805	3,34	0,79	-	2,4	1,3	627	c
CM40-1*	813	1800	3,65	0,80	-	2,4	3,5	565	b
CM40-0	879	1753	3,59	0,82	-	8,8	2,1	524	b
DM40-1*	787	1707	4,23	0,85	-	8,6	1,7	458	a
DM40-0	706	1554	4,67	0,89	-	9,2	2,7	402	a
BM40-1	1120	2243	4,55	1,52	13,4	13,5	7,9	649	a
CM40-1	1082	2196	8,81	1,55	15,5	13,3	16,6	549	a
DM40-1	1094	2159	5,58	1,65	15,5	15,1	17,1	450	c
BM40-3	1575	3103	15,31	3,35	12,6	21,9	15,4	697	c
CM40-3	1553	3081	23,47	3,38	14,0	21,4	19,6	577	c
DM40-3	1512	2987	21,23	3,40	18,7	19,5	117,0	465	a
AM60-0	1148	2261	2,82	0,61	-	2,9	0,7	852	c
BM60-0	1098	2257	4,00	0,60	-	2,3	1,9	811	a
DM60-1*	1077	2178	3,02	0,63	-	2,1	1,0	649	c
DM60-0	1027	2044	4,73	0,67	-	2,4	0,5	533	b
BM60-3	1782	3349	14,38	2,41	14,5	14,0	7,8	1001	a
DM60-3	1675	3274	15,04	2,45	14,9	20,1	19,9	659	a

Ghi chú: a= Phá hoại đầu cột; b= Phá hoại với vết nứt xiên 45°; c= Phá hoại giữa cột

2.2.1 Hình thái vết nứt và kiểu phá hoại

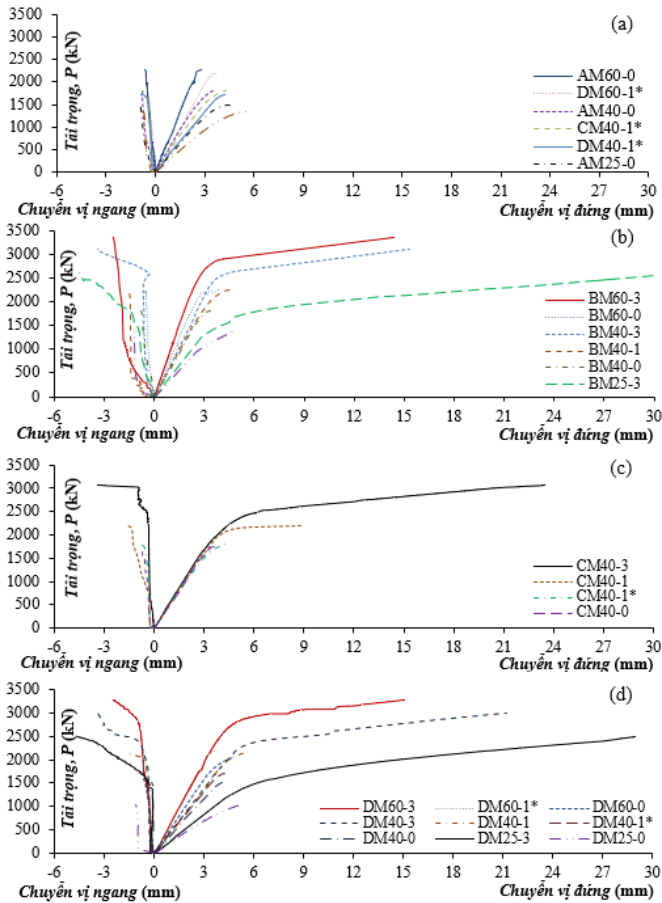
Kiểu phá hoại của các mẫu cột được thể hiện ở **Hình 2.4**. Các mẫu cột không gia cường không ngâm (**Hình 2.4a** và **b**) và mẫu cắt tẩm trước khi thí nghiệm (**Hình 2.4i** đến **l**) bị phá hoại chủ yếu do bê tông bị nén vỡ ở vùng giữa cột (**Hình 2.4a** và **b**). Các mẫu cột không gia cường ngâm 150 và 210 chu kỳ có vùng bê tông đầu cột nơi chịu ứng suất tập trung lớn bị nứt trước (**Hình 2.4c** và **d**) và khi tải trọng tiếp tục tăng, các vết nứt này phát triển dọc theo thân cột và làm phá hủy cột. Hình thái phá hoại của các mẫu cột gia cường tẩm CFRP chịu tác động bởi số chu kỳ khác nhau được thể hiện trên **Hình 2.4e** đến **h**.



Hình 2.4: Kiểu phá hoại của các mẫu cột bị ăn mòn sun-phát

(a)AM25-0; (b)BM40-0; (c)CM40-0; (d)DM25-0; (e)DM60-3; (f)DM40-3; (g)DM40-1;
(h)DM25-3; (i)CM40-1*; (j)DM25-1*; (k)DM40-1*; (l)DM60-1*

2.2.2 Quan hệ lực – chuyển vị



Hình 2.5: Quan hệ lực- chuyển vị của các cột bị ăn mòn sun-phát

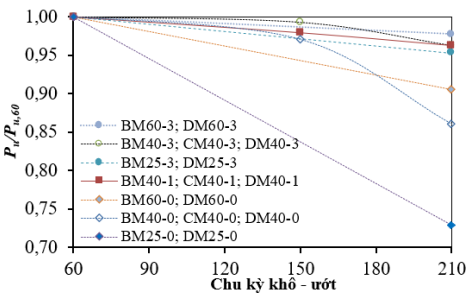
(a) Nhóm A và D (cắt tẩm); (b) Nhóm B; (c) Nhóm C; và (d) Nhóm D (không cắt tẩm).

Quan hệ lực - chuyển vị dọc trục và ngang của các cột được thể hiện trên **Hình 2.5**. Trong giai đoạn đầu (từ cấp tải 0 đến cấp tải $0,45P_u$, với P_u là tải trọng lớn nhất của mẫu), cột không gia cường làm việc đàn hồi; sau giai đoạn này,

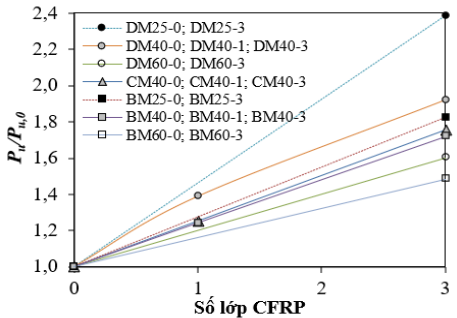
ứng xử của chúng dần chuyển sang phi tuyến, gây nên sự gia tăng nhanh của chuyển vị. Tác động của dung dịch muối sun-phát làm giảm đáng kể độ cứng dọc trục ban đầu của cột, EA_0 (đến 37,9%). Sự suy giảm độ cứng dọc trục của cột như trên dẫn đến sự gia tăng mạnh của chuyển vị dọc trục (đến 38,7%) và ngang cuối cùng (đến 15,3%) của các cột, và tốc độ gia tăng này có xu hướng tăng theo số chu kỳ tác động (**Bảng 2.2**).

2.2.3 Khả năng chịu nén của cột và hiệu quả gia cường bó hông của tấm CFRP

Tác động của dung dịch muối sun-phát làm suy giảm đáng kể khả năng chịu nén của cột không gia cường đến 29,4% (**Hình 2.6**). Dung dịch muối sun-phát cũng làm suy giảm khả năng chịu lực của các cột gia cường và mức độ ảnh hưởng này tăng theo số chu kỳ tác động (**Hình 2.6**).



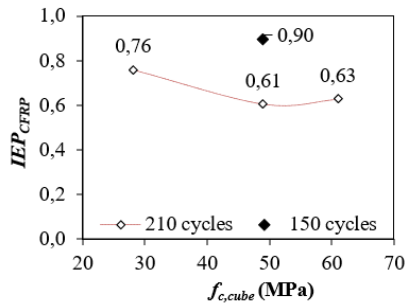
Hình 2.6: Sự suy giảm khả năng chịu lực của các cột gia cường theo số chu kỳ khô-ứốt



Hình 2.7: Hiệu quả gia cường của tấm CFRP

Tấm CFRP làm tăng rất mạnh khả năng chịu lực của các cột, lên đến 2,38 lần (**Hình 2.7**).

Chỉ số hiệu quả ngăn chặn tác động của dung dịch muối sun-phát vào lõi bê tông của tấm CFRP (IEP_{CFRP}) lên đến 0,9 (**Hình 2.8**). Kết quả nghiên cứu còn cho thấy hiệu quả ngăn chặn sự tác động của dung dịch muối sun-phát vào lõi bê tông của tấm CFRP giảm dần theo số chu kỳ khô/ướt và theo sự gia tăng của cường độ bê tông.



Hình 2.8: Hiệu quả ngăn chặn ăn mòn sun-phát của tấm CFRP

2.2.4 Đóng góp của lõi bê tông và tấm CFRP bó hông vào khả năng chịu nén của cột

Mức độ đóng góp của tấm CFRP bó hông chiếm từ 18% đến 46% trong tổng khả năng chịu lực của cột; nó có xu hướng giảm theo sự gia tăng cường độ bê tông, tăng theo số lớp gia cường và bị ảnh hưởng không đáng kể bởi số chu kỳ tác động. Mức độ đóng góp của lõi bê tông vào tổng khả năng chịu lực của cột chiếm từ 54% đến 82% (**Bảng 2.2**).

2.2.5 Biến dạng của tấm CFRP, cốt thép và bê tông

Biến dạng cực hạn của tấm CFRP đa số nằm trong khoảng 60% đến 75% của biến dạng cực hạn danh định. Biến dạng của cốt đai ở trạng thái giới hạn trong cột gia cường tăng từ 4,1 đến 43,3 lần so với cột không gia cường và biến dạng cốt đai tỷ lệ thuận với số lớp gia cường. Biến dạng của cốt dọc ở trạng thái giới

hạn trong cột gia cường lớn hơn từ 1,5 đến 9,1 so với cột không gia cường và biến dạng cốt dọc cũng tỷ lệ thuận với số lớp gia cường (**Bảng 2.2**).

CHƯƠNG 3 ẢNH HƯỞNG CỦA ẪN MÒN CỐT THÉP ĐẾN ỨNG XỬ NÉN LỆCH TÂM CỦA CỘT BTCT ĐƯỢC GIA CƯỜNG BỐ HỒNG BẰNG TẤM CFRP/BFRP

3.1 Chương trình thực nghiệm

3.1.1 Vật liệu

3.1.1.1 Bê tông

Bê tông dùng loại M40 với cường độ thiết kế của mẫu lập phương là 50 MPa.

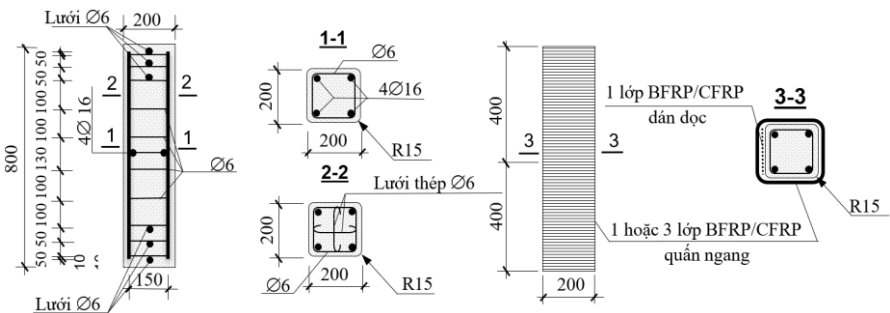
3.1.1.2 Cốt thép

Cốt thép dọc và cốt thép đai có đường kính lần lượt là 16 mm và 6 mm; với giới hạn chảy lần lượt là 350 MPa và 390 MPa.

3.1.1.3 Tấm FRP và keo dán

Tấm sợi các-bon sử dụng loại UT70-30G sản xuất bởi Toray Industries, Inc., Tokyo, Nhật Bản; sợi ba-zan được sản xuất bởi Changzhou Utek Composite Co., Ltd., Changzhou, Trung Quốc; và keo dán dùng loại AUR80S sản xuất bởi Toray Industries, Inc., Tokyo, Nhật Bản.

3.1.2 Mẫu cột thí nghiệm



Hình 3.1: Cấu tạo mẫu cột bị ẫ n mòn cốt thép

Chương trình thực nghiệm bao gồm 40 cột mặt cắt chữ nhật BTCT cỡ trung với kích thước 200x200x800 mm như **Hình 3.1**. Ý nghĩa đặt tên và mô tả các mẫu như **Bảng 3.1**.

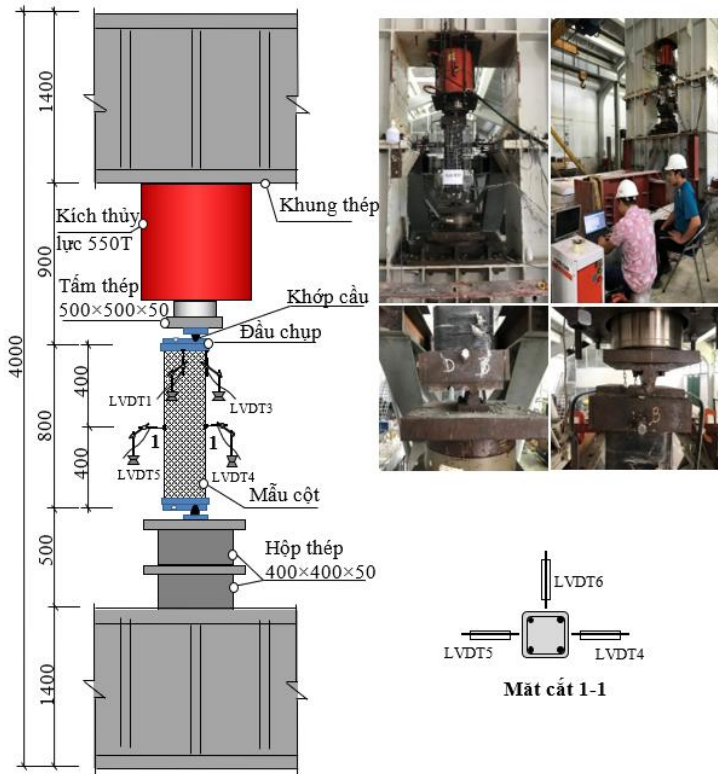
Bảng 3.1: Cách đặt tên và mô tả các mẫu

TT	Tên mẫu	Nhóm	Số lớp FRP		Loại tấm	Độ lệch tâm (mm)
			Dán dọc	Bó hông		
1	A00-25	A	0	0	-	25
2	A11C25		1	1	CFRP	
3	A13C25			3	BFRP	
4	A11B25			1		
5	A13B25		3	75		
6	A00-75		0		0	-
7	A11C75		1		1	CFRP
8	A13C75				3	BFRP
9	A11B75			1		
10	A13B75		3	B		
11	B00-25	0	0		-	25
12	B11C25	1	1		CFRP	
13	B13C25		3		BFRP	
14	B11B25		1			
15	B13B25	3	75			
16	B00-75	0			0	-
17	B11C75	1			1	CFRP
18	B13C75				3	BFRP
19	B11B75		1			
20	B13B75	3	C			
21	C00-25	0		0	-	25
22	C11C25	1		1	CFRP	
23	C13C25			3	BFRP	
24	C11B25			1		
25	C13B25	3		75		
26	C00-75	0			0	-
27	C11C75	1			1	CFRP
28	C13C75				3	BFRP
29	C11B75			1		
30	C13B75	3	D			
31	D00-25	0		0	-	25
32	D11C25	1		1	CFRP	
33	D13C25			3	BFRP	
34	D11B25			1		
35	D13B25	3		75		
36	D00-75	0			0	-
37	D11C75	1			1	CFRP
38	D13C75				3	BFRP
39	D11B75			1		
40	D13B75	3				

3.1.3 Công tác tạo ăn mòn cốt thép

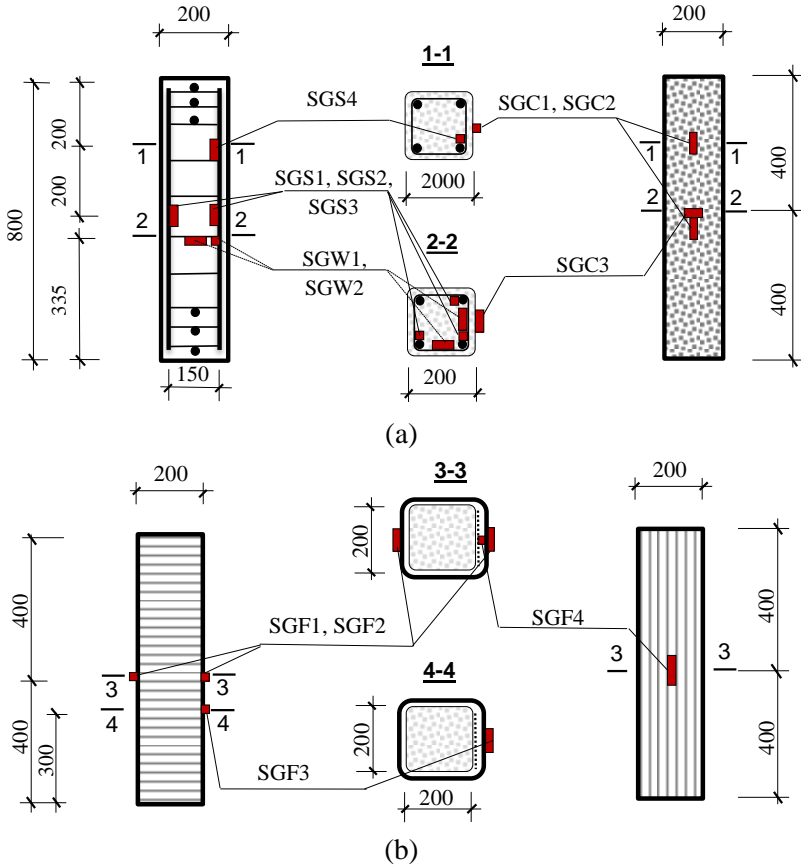
Nghiên cứu về ăn mòn cốt thép được nhiều tác giả quan tâm và tiến hành nghiên cứu với cách tạo ăn mòn cốt thép theo hai hướng chính: (1) phương pháp thứ nhất là tạo ăn mòn cốt thép sau khi đúc mẫu (chủ yếu dùng điện phân kết hợp dung dịch muối) [5-9]; và (2) phương pháp thứ hai là tạo ăn mòn cốt thép (bằng hóa chất, ...) và không tẩy gỉ trước khi đúc mẫu [48-50]. Trong nghiên cứu này, ăn mòn cốt thép thực hiện theo phương pháp 2 với môi trường axit H_2SO_4 nồng độ 45%.

3.1.4 Sơ đồ, bố trí thiết bị và quy trình thí nghiệm



Hình 3.2: Sơ đồ gia tải lệch tâm và hình ảnh thí nghiệm trong phòng.

Tất cả các cột chịu nén lệch tâm theo sơ đồ hai đầu khớp như **Hình 3.2**. Chuyển vị đứng và chuyển vị ngang của cột được xác định thông qua sáu cảm biến vị trí (LVDT). Biến dạng của bê tông, cốt thép và tấm CFRP được xác định nhờ vào 13 cảm biến (**Hình 3.3**).



Hình 3.3: Bố trí cảm biến trong cột bị ăn mòn cốt thép

(a) cột thép và bê tông; (b) tấm CFRP/BFRP

3.2 Kết quả thí nghiệm và thảo luận

Kết quả thí nghiệm được trình bày trong **Bảng 3.2**.

Bảng 3.2: Kết quả thí nghiệm cột bị ăn mòn cốt thép

Mẫu	P_u (kN)	P_{yr} (kN)	P_y (kN)	$\delta_{u,h}$ (mm)	$\delta_{u,v}$ (mm)	$\epsilon_{s,c}$ (‰)	$\epsilon_{s,t}$ (‰)	$\epsilon_{s,u,c}$ (‰)	$\epsilon_{s,u,t}$ (‰)	$\epsilon_{s,u}$ (‰)	$\epsilon_{f,con,u,c}$ (‰)	$\epsilon_{f,con,u,t}$ (‰)	$\epsilon_{f,fl,u}$ (‰)	K_0 (kN/mm)	δ_y (mm)	μ -	E_{absor} (kN mm)
A00-25	1387	958	1170	2,8	5,2	-0,45	-3,29	0,62	0,23	-3,5	-	-	-	391	3,0	1,7	4794
A11B25	1525	1184	1184	2,9	6,3	-0,58	-3,61	1,78	0,39	-3,8	6,9	12,6	0,18	395	3,0	2,1	6539
A11C25	1548	1169	1237	3,0	6,4	-0,66	-3,75	1,05	0,39	-3,9	4,5	9,1	0,22	399	3,1	2,1	6805
A13B25	1586	1233	1401	3,0	6,3	-0,71	-4,01	1,70	0,38	-4,0	5,9	12,2	0,23	425	3,3	1,9	7126
A13C25	1700	1308	1410	3,0	7,6	-0,81	-4,92	0,80	0,45	-4,4	3,6	7,7	0,27	470	3,0	2,5	10013
A00-75	760	593	626	3,5	4,8	0,64	-3,80	0,32	0,11	-3,2	-	-	-	197	3,2	1,5	2198
A11B75	790	664	744	3,8	6,5	0,87	-4,47	1,19	0,10	-3,6	1,1	10,0	2,75	199	3,7	1,7	3619
A11C75	815	670	771	3,8	6,2	0,96	-4,61	0,66	0,16	-3,7	0,6	7,0	2,87	214	3,6	1,7	3597
A13B75	826	720	697	3,9	6,6	1,03	-4,81	1,16	0,11	-3,7	0,8	10,1	2,95	214	3,3	2,0	3786
A13C75	859	714	794	4,0	7,5	1,10	-5,27	0,46	0,24	-3,9	0,5	5,7	3,04	221	3,6	2,1	4897
B00-25	1241	964	1109	2,8	5,1	-0,41	-3,06	0,68	0,20	-3,1	-	-	-	327	3,4	1,5	4071
B11B25	1449	1179	1320	2,9	6,3	-0,59	-3,42	1,30	0,20	-3,6	6,5	12,5	0,17	355	3,7	1,7	6124
B11C25	1506	1200	1300	3,1	6,3	-0,66	-3,71	0,97	0,35	-3,8	4,3	9,1	0,21	362	3,6	1,8	6180
B13B25	1578	1250	1450	3,0	6,4	-0,70	-3,86	1,25	0,25	-4,0	5,8	12,0	0,22	418	3,5	1,8	7066
B13C25	1685	1280	1479	3,4	7,1	-0,72	-4,81	0,77	0,42	-4,3	3,5	7,1	0,26	423	3,5	2,0	8790
B00-75	646	580	495	3,4	4,6	0,63	-3,71	0,25	0,08	-3,0	-	-	-	165	3,0	1,4	1712
B11B75	768	644	656	3,4	6,2	0,68	-4,35	0,95	0,11	-3,5	0,8	9,9	2,65	172	3,8	1,6	3002
B11C75	790	658	616	3,3	6,1	0,89	-4,50	0,61	0,11	-3,6	0,4	6,7	2,77	176	3,5	1,7	2999
B13B75	803	648	622	4,0	6,4	0,94	-4,62	0,91	0,25	-3,6	0,6	9,5	2,84	194	3,2	2,0	3443
B13C75	814	696	620	3,9	7,4	1,04	-4,99	0,44	0,20	-3,8	0,3	5,3	2,92	204	3,0	2,0	4312
C00-25	1158	895	1070	2,7	5,0	-0,32	-2,92	0,71	0,20	-3,0	-	-	-	297	3,6	1,4	3563
C11B25	1416	946	1321	2,8	5,6	-0,43	-3,22	1,10	0,18	-3,5	5,8	11,5	0,16	322	4,1	1,5	4839
C11C25	1488	950	1205	3,1	6,4	-0,45	-3,41	0,81	0,22	-3,7	3,9	8,0	0,20	331	3,6	1,8	6111
C13B25	1542	1145	1400	3,2	6,6	-0,53	-3,76	1,15	0,25	-3,9	5,1	10,7	0,21	369	3,8	1,7	7014
C13C25	1651	1090	1350	3,4	7,2	-0,64	-4,52	0,76	0,45	-4,2	3,3	6,5	0,25	409	3,3	2,2	8405
C00-75	601	410	436	3,2	4,6	0,52	-3,38	0,26	0,08	-2,9	-	-	-	139	3,1	1,2	1447
C11B75	745	552	600	3,2	5,5	0,60	-4,23	0,77	0,15	-3,4	0,7	9,0	2,52	152	3,9	1,4	2264
C11C75	770	600	673	3,1	5,6	0,75	-4,33	0,44	0,14	-3,5	0,4	6,2	2,65	166	4,1	1,4	2463
C13B75	794	638	647	3,1	5,9	0,90	-4,50	0,74	0,21	-3,6	0,5	8,4	2,78	161	4,0	1,7	2840
C13C75	807	691	702	3,2	6,5	1,00	-4,71	0,35	0,19	-3,8	0,3	5,0	2,85	172	4,1	1,8	3601
D00-25	1071	800	907	2,8	5,1	-0,21	-2,77	0,73	0,18	-2,9	-	-	-	220	4,1	1,0	3057
D11B25	1393	947	1269	2,7	5,5	-0,28	-3,01	1,00	0,26	-3,5	5,6	11,1	0,15	315	4,0	1,4	4516
D11C25	1407	1070	1252	2,9	6,0	-0,36	-3,11	0,74	0,30	-3,5	3,8	7,8	0,18	326	3,8	1,6	5387
D13B25	1528	1020	1364	3,0	6,0	-0,44	-3,59	0,95	0,28	-3,9	5,4	9,3	0,19	366	3,7	1,6	6037
D13C25	1575	1044	1400	3,3	6,8	-0,50	-4,21	0,60	0,30	-4,0	3,2	6,2	0,24	372	3,8	1,8	7615
D00-75	552	333	397	2,7	4,4	0,41	-2,75	0,25	0,08	-2,9	-	-	-	115	3,5	1,0	1285
D11B75	701	432	693	3,3	5,3	0,46	-3,72	0,70	0,16	-3,2	0,6	8,3	2,30	151	4,6	1,2	2224
D11C75	730	455	522	3,2	5,4	0,66	-3,92	0,37	0,15	-3,3	0,3	5,4	2,43	151	3,5	1,3	2347
D13B75	771	547	604	3,0	5,8	0,86	-4,12	0,67	0,16	-3,5	0,4	7,4	2,48	165	3,7	1,6	2707
D13C75	795	566	700	3,2	6,6	0,94	-4,37	0,32	0,15	-3,7	0,2	4,5	2,57	171	4,1	1,6	3456



Hình 3.4: Kiểu phá hoại của cột bị ăn mòn cốt thép

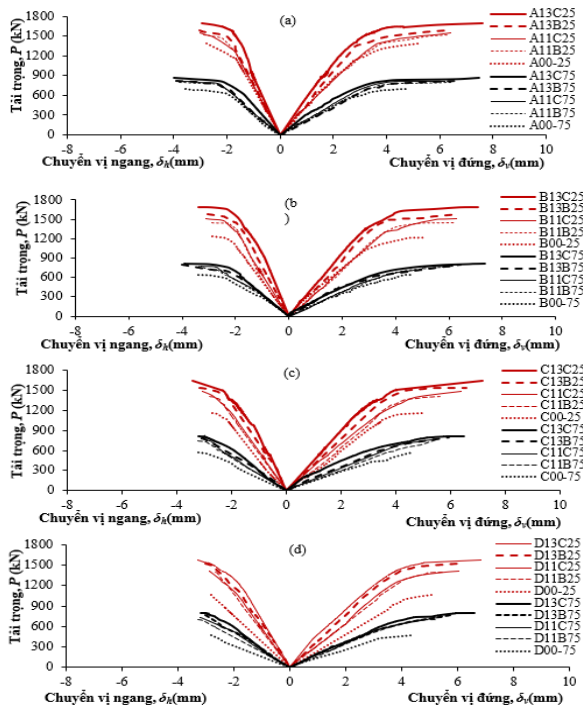
(a) Cột không gia cường; (b) Cột gia cường một lớp dán dọc và một lớp bó hông BFRP; (c) Cột gia cường một lớp dán dọc và ba lớp bó hông BFRP; (d) Cột gia cường một lớp dán dọc; e và một lớp bó hông CFRP; (e) Cột gia cường một lớp dán dọc và ba lớp bó hông CFRP

3.2.1 Kiểu phá hoại

Kiểu phá hoại của các cột điển hình được thể hiện trên **Hình 3.4**. Các mẫu cột không gia cường tẩm FRP bị phá hoại do cốt dọc vùng nén bị chảy và sau đó bê tông vùng này bị nén vỡ ở khu vực giữa cột (**Hình 3.4a**). Các mẫu cột được gia

cường bằng một lớp BFRP dán dọc kết hợp với một hoặc ba lớp BFRP bó hông; hoặc gia cường bằng một lớp tấm CFRP dán dọc và một lớp tấm CFRP bó hông bị phá hoại do cốt thép vùng nén chảy dẻo, tấm BFRP bó hông ở khu vực giữa mặt nén bị bong và kéo đứt, kéo theo bê tông mặt nén bị nén vỡ (**Hình 3.4b, c và d**). Kiểu phá hoại của các mẫu cột được gia cường bằng một lớp CFRP dán dọc và ba lớp CFRP bó hông là do cốt dọc vùng nén chảy, tiếp theo là bê tông ở khu vực giữa mặt nén bị nén vỡ trước và sau đó tấm CFRP bị bong tách mà không bị kéo đứt (**Hình 3.4e**).

3.2.2 Quan hệ lực – chuyển vị

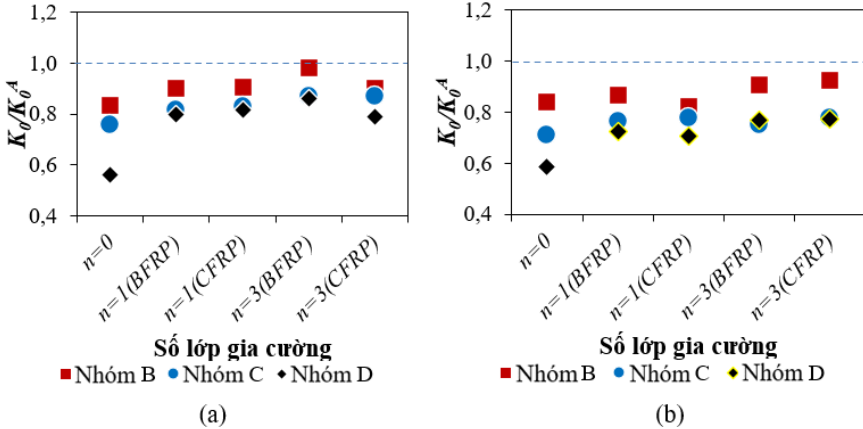


Hình 3.5: Quan hệ lực-chuyển vị của cột bị ăn mòn cốt thép:

(a) Nhóm A; (b) Nhóm B; (c) Nhóm C; (d) Nhóm D

Quan hệ lực – chuyển vị đứng (δ_v) và chuyển vị ngang (δ_h) của các cột được tổng hợp trong **Hình 3.5**. Quan hệ này có thể được chia thành hai giai đoạn cơ bản

gồm: giai đoạn đầu, trước cấp tải chuyển tiếp và giai đoạn sau, từ cấp tải chuyển tiếp đến tải cấp tải lớn nhất của cột. Ăn mòn của cốt thép làm giảm mạnh độ cứng dọc trục ban đầu của cột, lên đến 44% cho cột không gia cường và 29% cho cột gia cường (**Hình 3.6**).



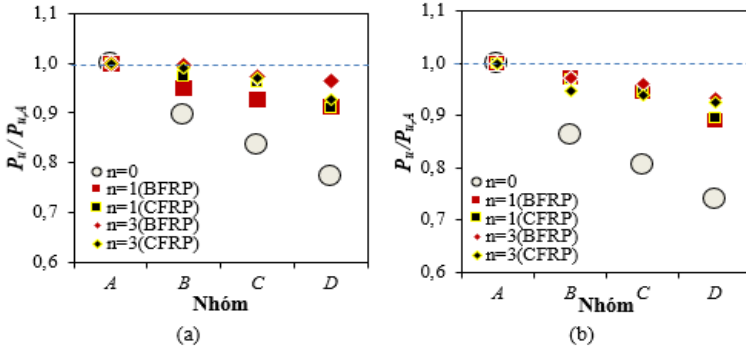
Hình 3.6: So sánh độ cứng ban đầu của các nhóm cột:

(a) $e/h=0,125$; và (b) $e/h=0,375$

Tám CFRP/BFRP làm tăng mạnh độ cứng dọc trục ban đầu của cột, lên đến 43% (**Bảng 3.2**); và sự gia tăng này có xu hướng tỷ lệ thuận với số lớp gia cường và mức độ ăn mòn của cốt thép trong cột nhưng tỷ lệ nghịch với độ lệch tâm.

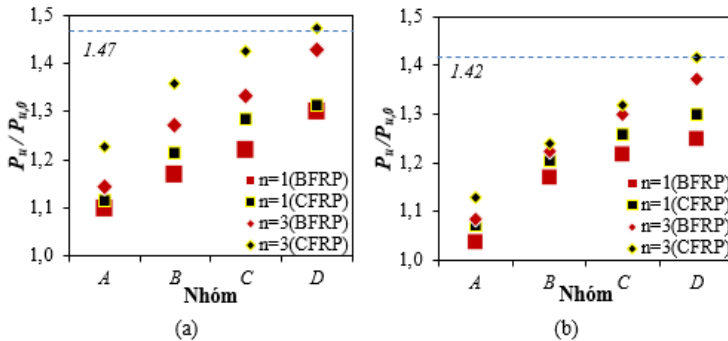
3.2.3 Hiệu quả gia cường kháng nén lệch tâm của tấm CFRP/BFRP đối với cột BTCT có cốt thép bị ăn mòn

Ăn mòn cốt thép làm suy giảm đáng kể khả năng chịu nén lệch tâm của cột không gia cường (lên đến 23%) nhưng chỉ làm suy giảm nhẹ khả năng chịu lực của cột gia cường (tối đa 11%) nhờ vào sự làm việc hiệu quả của tấm CFRP/BFRP (**Hình 3.7**).



Hình 3.7: Ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt thép đến khả năng nén lệch tâm của cột: (a) $e/h=0,125$; và (b) $e/h=0,375$

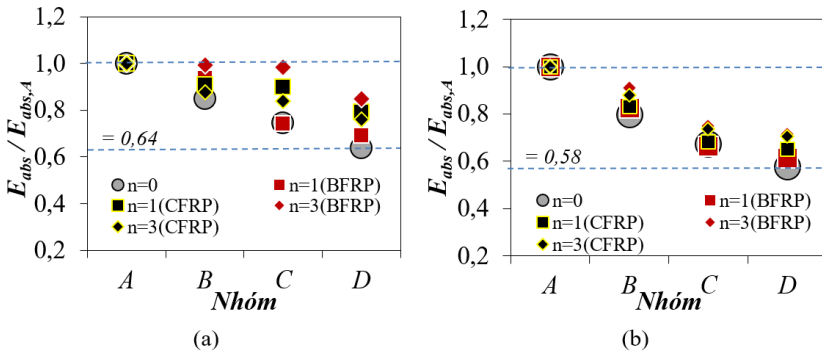
Hiệu quả gia cường tấm CFRP/BFRP trong việc cải thiện khả năng chịu nén lệch tâm của cột có xu hướng tỷ lệ thuận với mức độ ăn mòn của cốt thép cột và thật sự ấn tượng, lên đến 47% cho cột có cốt thép bị ăn mòn và 23% cho cột có cốt thép không bị ăn mòn (**Hình 3.8**).



Hình 3.8: Ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt thép đến hiệu quả gia cường của tấm CFRP/BFRP trong việc cải thiện khả năng nén lệch tâm của cột: (a) $e/h=0,125$; và (b) $e/h=0,375$

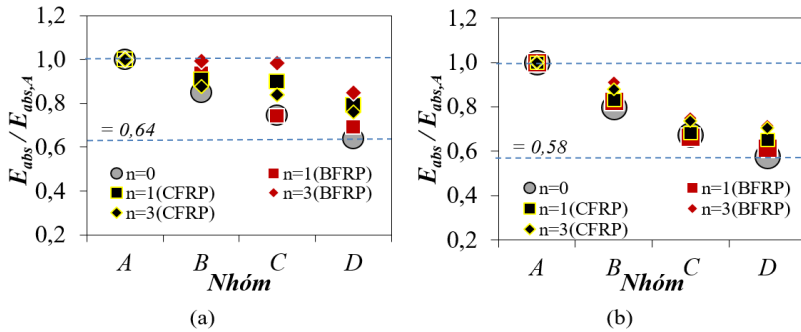
Sự gia tăng của độ lệch tâm làm giảm hiệu quả gia cường của tấm CFRP/BFRP cho cột bị ăn mòn chịu nén lệch tâm (9% đối với tấm CFRP và 6% đối với tấm BFRP) do sự suy giảm của biến dạng cuối cùng của tấm CFRP/BFRP bó hông lên đến 27% (**Bảng 3.2**).

Cốt thép bị ăn mòn làm suy giảm mạnh khả năng hấp thụ năng lượng của cột, lên đến và 42% so với của cột không bị ăn mòn có độ lệch tâm tương ứng. Tấm CFRP/BFRP góp phần ngăn chặn hiệu quả sự suy giảm khả năng hấp thụ năng lượng của cột gia cường gây nên bởi sự ăn mòn của cốt thép và giúp cho khả năng chịu lực của cột gia cường chỉ bị suy giảm nhẹ (**Hình 3.9**). Khả năng hấp thụ năng lượng của cột gia cường bằng tấm CFRP/BFRP tăng từ 1,36 đến 2,79 lần so với cột đối chứng (**Bảng 3.2**).



Hình 3.9: Ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt thép đến khả năng hấp thụ năng lượng của cột:
(a) $e/h=0,125$; và (b) $e/h=0,375$

Hình 3.10 cho thấy cốt thép bị ăn mòn làm suy giảm mạnh độ dẻo dai của cột, lên đến 35%. Tấm CFRP/BFRP giúp cho khả năng chịu lực của cột gia cường chỉ bị suy giảm nhẹ. Độ dẻo dai của cột gia cường bằng tấm CFRP/BFRP tăng từ 1,05 đến 1,76 lần so với cột đối chứng (**Bảng 3.2**).



Hình 3.10: Ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt thép đến độ dẻo dai của cột: (a) $e/h=0,125$; và (b) $e/h=0,375$

3.2.4 Biến dạng của tấm bó hông và cốt đai

Biến dạng của cốt đai nhỏ và chưa đạt tới giá trị chảy ($\epsilon_{yw}=1,95\%$); trong khi, biến dạng lớn nhất của tấm CFRP/BFRP bó hông của cột dao động từ 22 đến 54% biến dạng kéo đứt của tấm. Kết quả thực nghiệm cho thấy biến dạng của cả cốt đai và tấm CFRP/BFRP bó hông ở các mặt khác nhau của cột rất không đều và có sự chênh lệch lớn, lên đến 14 lần (**Bảng 3.2**).

3.2.5 Biến dạng của cốt thép dọc, tấm dán dọc và bê tông

3.2.5.1 Biến dạng của cốt thép dọc

Tại cấp tải phá hoại, biến dạng nén của cốt dọc ở mặt chịu nén lớn đều vượt xa giới hạn chảy của chúng ($\epsilon_{sy} = 1,75\%$). Tấm CFRP/BFRP bó hông góp phần phân bố đều hơn biến dạng trên mặt cắt ngang; trong khi sự ăn mòn của cốt thép dọc làm giảm khả năng chịu lực của cột và biến dạng cuối cùng của cốt dọc ở mặt chịu nén lớn, lên đến 28% (**Bảng 3.2**).

3.2.5.2 Biến dạng của tấm CFRP/BFRP dán dọc

Đối với cột có độ lệch tâm $e/h = 0,125$, biến dạng kéo của tấm CFRP/BFRP dán dọc ở mặt chịu kéo của cột là không đáng kể, dao động từ 0,15‰ đến 0,27‰. Trong khi, với $e/h = 0,375$, biến dạng cuối cùng của tấm dán dọc dao động từ 2,30‰ đến 3,04‰ (tương ứng từ 10% đến 15% biến dạng kéo đứt của tấm) (**Bảng 3.2**).

3.2.5.3 *Biến dạng của bê tông*

Biến dạng của bê tông trong tất cả các mẫu % nằm trong khoảng 2,90% đến 4,35%. Biến dạng của bê tông có xu hướng tăng khi tăng số lớp gia cường hay ứng suất bó hông tăng.

CHƯƠNG 4 HIỆU CHỈNH MÔ HÌNH TÍNH TOÁN KHẢ NĂNG CHỊU NÉN LỆCH TÂM CỦA CỘT BTCT CÓ CỐT THÉP BỊ ĂN MÒN ĐƯỢC GIA CƯỜNG BÓ HÔNG BẰNG TẤM CFRP/BFRP

4.1 Các mô hình hiện có

Trong các tiêu chuẩn và hướng dẫn thiết kế gia cường hiện hành như [24-27], các điều khoản tính toán khả năng chịu nén lệch tâm của cột gia cường bó hông bằng tấm FRP hiện chưa được đề cập đến vấn đề ảnh hưởng của ăn mòn ăn mòn cốt thép làm giảm hiệu quả bó hông của tấm FRP và giảm khả năng chịu nén của cột.

4.1.1 *Biểu đồ tương tác P-M*

Rocca [45] đề xuất xác định khả năng chịu nén lệch tâm của cột mặt cắt hình chữ nhật BTCT được bó hông bằng tấm FRP theo biểu đồ tương tác P-M. Theo đó, biểu đồ này được xây dựng dựa trên năm điểm A, B, C, D, và E (**Hình 1.1**); trong đó, mỗi điểm được xác định từ các phương trình cân bằng lực và phương trình tương thích biến dạng trên tiết diện nguy hiểm của cột.

4.1.2 *Xác định khả năng chịu lực của cột chịu nén lệch tâm*

Nhằm mục đích nghiên cứu khả năng chịu lực của các cột có kích thước mặt cắt khác nhau, nghiên cứu này sử dụng tham số R như công thức (4.1).

$$R = \frac{X_R}{A_g f_c} = \sqrt{\left(\frac{N}{A_g f_c}\right)^2 + \left(\frac{M}{A_g f_c h}\right)^2} \quad (4.1)$$

Bảng 4.1 trình bày khả năng chịu lực của 28 cột bao gồm 04 cột của Maaddawy [46] và 24 cột của nghiên cứu này. Kết quả cho thấy mô hình biểu đồ P-M theo [45] dùng mô hình [42] dự đoán lớn hơn nhẹ so với thực nghiệm thể hiện qua giá trị trung bình (Mean) và hệ số biến thiên (COV) của tỉ số R dự báo từ mô hình và

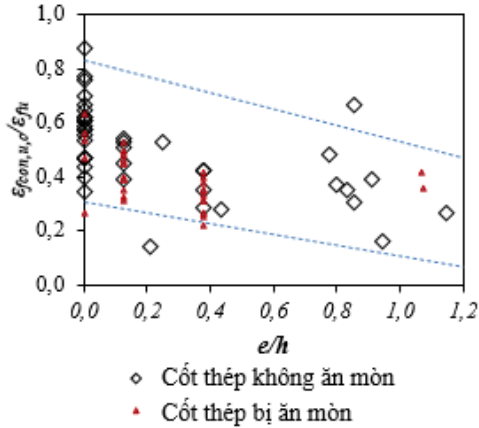
từ thực nghiệm ($R_{L\&T} / R_{exp}$) lần lượt là Mean = 1,08 và COV = 0,08. Nguyên nhân có thể là do ảnh hưởng của ăn mòn cốt thép và độ lệch tâm đến hiệu quả bố hồng của tấm trong mô hình [45] chưa được xét đến.

Bảng 4.1: So sánh kết quả dự đoán khả năng chịu nén lệch tâm với kết quả thực nghiệm của cột có cốt thép bị ăn mòn

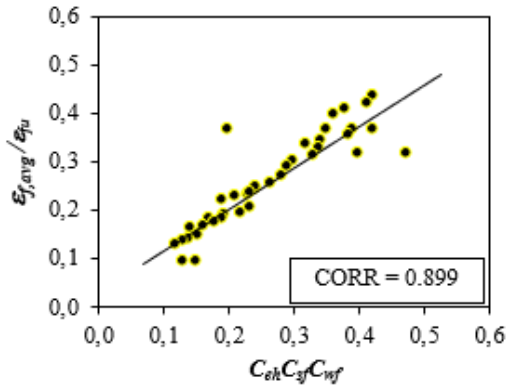
Tác giả	Ký hiệu mẫu	R_{Exp}	$R_{L\&T}$	$R_{L\&T, Mod}$	$R_{L\&T} / R_{Exp}$	$R_{L\&T, Mod} / R_{Exp}$
Maaddawy [32]	CFW-e1	0,73	0,71	0,69	0,97	0,94
	CFW-e2	0,53	0,61	0,60	1,16	1,13
	CFW-e3	0,42	0,52	0,51	1,24	1,20
	CFW-e4	0,30	0,33	0,30	1,10	0,99
Nghiên cứu này	B11B25	0,78	0,78	0,77	1,00	0,98
	B13B25	0,44	0,46	0,46	1,05	1,04
	B11B75	0,85	0,84	0,80	0,99	0,94
	B13B75	0,46	0,48	0,46	1,04	1,01
	C11B25	0,76	0,76	0,73	1,00	0,96
	C13B25	0,43	0,44	0,40	1,02	0,93
	C11B75	0,83	0,82	0,76	0,99	0,92
	C13B75	0,45	0,46	0,41	1,01	0,90
	D11B25	0,75	0,75	0,70	1,00	0,94
	D13B25	0,40	0,41	0,35	1,02	0,87
	D11B75	0,82	0,81	0,73	0,99	0,90
	D13B75	0,44	0,44	0,35	0,99	0,80
	B11C25	0,81	0,84	0,79	1,04	0,98
	B13C25	0,45	0,51	0,48	1,12	1,07
	B11C75	0,91	0,99	0,85	1,09	0,94
	B13C75	0,47	0,59	0,51	1,27	1,09
	C11C25	0,80	0,83	0,76	1,04	0,95
	C13C25	0,44	0,49	0,44	1,11	0,99
	C11C75	0,89	0,97	0,81	1,10	0,92
	C13C75	0,46	0,58	0,46	1,26	1,01
D11C25	0,76	0,82	0,73	1,08	0,96	
D13C25	0,42	0,47	0,40	1,12	0,95	
D11C75	0,85	0,96	0,78	1,14	0,93	
D13C75	0,45	0,56	0,39	1,22	0,86	
Mean					1,08	0,97
COV					0,08	0,09

Ghi chú: R_{exp} , $R_{L\&T}$, và $R_{L\&T, Mod}$ lần lượt là hệ số R tính theo công thức (4.1) dựa trên số liệu thực nghiệm, mô hình Lam và Teng [42] và mô hình hiệu chỉnh

4.2 Đề xuất hiệu chỉnh



Hình 4.1: Ảnh hưởng của ăn mòn cốt thép và độ lệch tâm đến biến dạng cực hạn của tấm FRP



Hình 4.2: Tương quan giữa $(\varepsilon_{f,avg} / \varepsilon_{fu})$ và $(C_{eh} C_{sf} C_{wf})$

Kết quả phân tích thực nghiệm gồm 72 mẫu thí nghiệm (33 mẫu không ăn mòn cốt thép và 39 mẫu ăn mòn cốt thép) từ các nghiên cứu trước đây và nghiên cứu này trong **Hình 4.1** cho thấy rõ ràng rằng ăn mòn cốt thép và độ lệch tâm làm giảm biến dạng cuối cùng của tấm FRP bó hông, và vì vậy làm giảm ứng suất bó hông của tấm và cường độ chịu nén bê tông khi bị bó hông. Nghiên cứu này đề

xuất hiệu chỉnh biến dạng thực tế của tấm FRP ($\varepsilon_{h,rup}$) bằng cách tính lại hệ số k_ε có xét đến ảnh hưởng của độ lệch tâm, sự ăn mòn cốt thép và loại tấm cũng như số lớp CFRP/BFRP. Dựa trên kết quả thí nghiệm 39 mẫu ăn mòn cốt thép (5 mẫu [11], 2 mẫu [51] và 32 mẫu của nghiên cứu này), quan hệ giữa ($\varepsilon_{f,avg} / \varepsilon_{fu}$) và ($C_{eh}C_{sf}C_{wf}$) được xây dựng như **Hình 4.2**; trong đó, $\varepsilon_{f,avg}$ là biến dạng trung bình của tấm FRP tại thớ kéo lớn nhất và tại thớ kéo nhỏ nhất; C_{eh} , C_{sf} , và C_{wf} lần lượt là hệ số xét tới ảnh hưởng của độ lệch tâm, ảnh hưởng của tương quan cốt dọc với tấm quán ngang, và ảnh hưởng của tương quan cốt đai với tấm quán ngang. C_{eh} , C_{sf} , và C_{wf} lần lượt được xác định theo công thức (4.2), (4.3), và (4.4).

$$C_{eh} = C_1 \exp\left(-2,36 \frac{e + 17,16}{h}\right) \quad (4.2)$$

$$C_{sf} = C_2 \ln\left(\frac{E_s \rho_s f_y k_{corr,fs}}{E_f \rho_f f_{fu}}\right) + 0,804 \quad (4.3)$$

$$C_{wf} = C_3 \ln\left(\frac{E_{sw} \rho_{sw} f_{yw} k_{corr,fs}}{E_f \rho_f f_{fu}}\right) + 0,804 \quad (4.4)$$

Hệ số k_ε áp dụng cho cốt chịu nén lệch tâm được đề xuất xác định như công thức (4.5)

$$k_\varepsilon = C_{eh} C_{sf} C_{wf} \quad (4.5)$$

Thêm vào đó, Andisheh [52] chỉ ra rằng ăn mòn cốt thép không những làm giảm diện tích tiết diện của cốt thép mà còn làm giảm cường độ chịu kéo của chúng. Nghiên cứu này đề xuất hệ số $k_{cor,s}$ để xét đến các ảnh hưởng này vào khả năng chịu lực của cốt thép. Hệ số này xác định như các công thức (4.6), (4.7), và (4.8).

$$k_{corr,s} = k_{corr,fs} k_{corr,As} \quad (4.6)$$

$$k_{corr,fs} = 1 - \gamma_{cor} Q_{corr} \quad (4.7)$$

$$k_{corr,As} = 1 - \frac{Q_{corr}}{100} \quad (4.8)$$

Khi đó các điểm A, B, C, D và E được xác định theo công thức (4.9) đến (4.12).

$$P_{n(A)} = 0,85 f_{cc} (A_g - A_s) + k_{corr,s} f_{ys} A_{st} \quad (4.9)$$

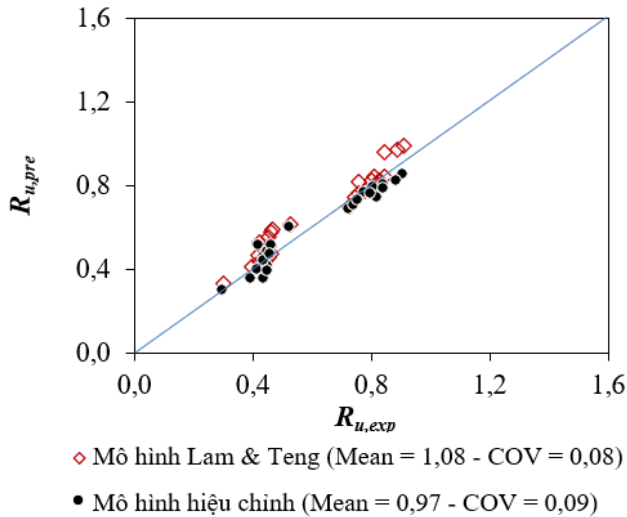
$$P_{n(B,C,D)} = \int_0^c b f_c(y) dy + \sum k_{corr,s} f_{si} A_{si} + f_{fb} A_{fb} \quad (4.10)$$

$$M_{n(B,C,D)} = \int_0^c b \left(\frac{h}{2} - c + y \right) f_c(y) dy + \sum k_{corr,s} f_{si} A_{si} d_{si} + f_{fb} A_{fb} \frac{h}{2} \quad (4.11)$$

$$M_{n(E)} = k_{corr,s} f_s A_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + f_{fe} A_f \left(d_f - \frac{\beta_1 c}{2} \right) \quad (4.12)$$

4.3 Kiểm chứng mô hình hiệu chỉnh

Bảng 4.1 và **Hình 4.3** tổng hợp kết quả dự đoán khả năng chịu lực của 28 cột có cốt thép bị ăn mòn gia cường bó hông bằng tấm CFRP/BFRP, gồm 04 cột của Maaddawy [46] và 24 cột của nghiên cứu này. Kết quả cho thấy mô hình Lam và Teng [42] sau khi được hiệu chỉnh đã cho kết quả dự đoán gần với thực nghiệm, an toàn và ổn định hơn, thể hiện qua giá trị trung bình (Mean) và hệ số biến thiên (COV) của tỉ số R dự báo từ mô hình hiệu chỉnh và từ thực nghiệm ($R_{L\&T,Mod} / R_{exp}$) lần lượt là Mean = 0,97 và COV = 0,09.



Hình 4.3: So sánh độ chính xác của mô hình dự đoán và thực nghiệm

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

KẾT LUẬN

Luận án này trình bày nghiên cứu về ứng xử nén của cột BTCT có cốt thép chịu lực bị ăn mòn và bê tông bị suy biến bởi tác động bởi ion sun-phát được bó hông bằng tấm sợi các-bon (CFRP) và tấm sợi ba-zan (BFRP); đồng thời đề xuất quy trình tính khả năng chịu nén lệch tâm của cột BTCT có cốt thép bị ăn mòn được gia cường bó hông bằng tấm CFRP có xét đến ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt thép, độ lệch tâm, và số lớp tấm CFRP bó hông. Dựa trên phân tích các kết quả thực nghiệm của hai chương trình với 64 mẫu cột, các kết luận có thể rút ra như sau:

- 1) Môi trường dung dịch ma-giê sun-phát ảnh hưởng đáng kể đến độ cứng, biến dạng và khả năng chịu nén của cột BTCT được gia cường bó hông bằng tấm CFRP, cụ thể:
 - Làm suy giảm mạnh độ cứng ban đầu của cột (lên tới 37,9%), dẫn đến sự gia tăng đáng kể của chuyển vị dọc trục và ngang cuối cùng của cột (lần lượt lên tới 38,7% và 15,3%); mức độ tăng này tăng theo số chu kỳ tác động và giảm theo sự gia tăng của cường độ bê tông và số lớp tấm CFRP gia cường;
 - Làm suy giảm nhẹ khả năng chịu nén của cột (giảm xấp xỉ 3,7%) và mức độ ảnh hưởng này tăng theo chu kỳ tác động và giảm dần khi cường độ bê tông và số lớp tấm CFRP gia cường của mẫu cột tăng;
- 2) Tấm CFRP cho thấy tính hiệu quả cao trong việc ngăn chặn sự xâm nhập của dung dịch ma-giê sun-phát vào lõi bê tông (từ 61% lên đến 90% dựa trên chỉ số hiệu quả ngăn chặn – IEP_{CFRP}), nhờ đó làm tăng đáng kể khả năng chịu lực của cột từ 1,24 đến 1,39 lần (gia cường một lớp CFRP), và từ 1,48 đến 2,38 lần (gia cường ba lớp CFRP) so với của cột không gia

cường; sự gia tăng này hay nói cách khác là hiệu quả gia cường của tấm CFRP giảm theo sự gia tăng của cường độ bê tông và số chu kỳ tác động của dung dịch. Ngoài ra, tấm CFRP còn cải thiện mạnh khả năng biến dạng của cột (chuyển vị cuối cùng) từ 301% đến 542% so với của cột không gia cường cùng chịu tác động của dung dịch ma-giê sun-phát và sự gia tăng này tăng theo số lớp tấm CFRP.

- 3) Mức độ đóng góp của tấm CFRP bố hông chiếm từ 18% đến 46% trong tổng khả năng chịu lực của cột; nó có xu hướng giảm theo sự gia tăng cường độ bê tông, tăng theo số lớp gia cường và bị ảnh hưởng không đáng kể bởi số chu kỳ tác động. Mức độ đóng góp của lõi bê tông vào tổng khả năng chịu lực của cột chiếm từ 54% đến 82%.
- 4) Ăn mòn của cốt thép làm giảm mạnh:
 - Độ cứng dọc trục ban đầu (K_0) của cột; với mức độ giảm lớn nhất lên đến 44% cho cột không gia cường và lên đến 29% cho cột gia cường. Ngược lại, tấm CFRP/BFRP làm tăng mạnh K_0 của cột, lên đến 69%; sự gia tăng này tỷ lệ thuận với số lớp gia cường và mức độ ăn mòn của cốt thép trong cột và tỷ lệ nghịch với độ lệch tâm tương đối e/h ;
 - Khả năng chịu nén lệch tâm của cột không gia cường (lên đến 23%); trong khi, tấm CFRP/BFRP ngăn chặn hiệu quả sự suy giảm khả năng chịu nén lệch tâm của cột gia cường gây nên bởi sự ăn mòn của cốt thép và giúp cho khả năng chịu lực của cột gia cường chỉ bị suy giảm nhẹ (lớn nhất chỉ 11%).
- 5) Hiệu quả gia cường tấm CFRP/BFRP trong việc cải thiện khả năng chịu nén lệch tâm của cột tỷ lệ thuận với mức độ ăn mòn của cốt thép. Khả năng chịu nén lệch tâm của cột gia cường tăng lên đến 47% cho cột có cốt thép bị ăn mòn (nhóm D); trong khi chỉ tăng 23% cho cột có cốt thép không bị ăn mòn (nhóm A).
- 6) Sự gia tăng của độ lệch tâm làm giảm hiệu quả gia cường của tấm CFRP/BFRP cho cột bị ăn mòn chịu nén lệch tâm (9% đối với tấm

CFRP và 6% đối với tấm BFRP) do sự suy giảm của biến dạng cuối cùng của tấm CFRP/BFRP bó hông (lên đến 27%). Sự suy giảm khả năng chịu lực của cột do tác động của việc gia tăng độ lệch tâm có xu hướng ổn định và phụ thuộc không đáng kể vào loại tấm gia cường (CFRP hay BFRP), số lớp gia cường và cấu hình ăn mòn của cốt thép. Biến dạng lớn nhất của tấm CFRP/BFRP bó hông của cột dao động từ 22 đến 54% biến dạng kéo đứt của tấm;

- 7) Khả năng chịu nén lệch tâm của các cột không bị ăn mòn hay bị ăn mòn được gia cường tấm CFRP chỉ lớn hơn từ 1 đến 7% so với của cột gia cường tấm BFRP tương ứng về số lớp; đồng thời hiệu quả của tấm CFRP và BFRP trong việc cải thiện độ cứng ban đầu của cột không có sự khác biệt đáng kể. Điều này cho thấy, xét về phương diện chịu lực, tấm BFRP hoàn toàn có thể là giải pháp gia cường tốt cho trường hợp cột chịu nén lệch tâm bên cạnh tấm CFRP; đặc biệt, khi xét đến cả yếu tố giá thành, giải pháp gia cường dùng tấm BFRP cho cột còn có tính cạnh tranh lớn hơn nhiều so với giải pháp dùng tấm CFRP thường dùng hiện nay.
- 8) Mô hình hiệu chỉnh nhằm xác định khả năng chịu nén lệch tâm của cột vuông BTCT được gia cường tấm CFRP/BFRP có xét tới ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt thép và độ lệch tâm được đề xuất trong nghiên cứu này cho kết quả gần với thực nghiệm, an toàn và có tính ổn định tốt thể hiện qua giá trị trung bình (Mean) và hệ số biến thiên (COV) của tỉ số tính toán trên thực nghiệm lần lượt là Mean = 0,97 và COV = 0,09.

ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

Những đóng góp khoa học mới của luận án bao gồm:

- 1) Định lượng mức độ đóng góp của từng thành phần như lõi bê tông và tấm CFRP bó hông theo thời gian và ảnh hưởng tương tác giữa số lớp CFRP gia cường với cường độ bê tông đến vấn đề này;
- 2) Đánh giá ảnh hưởng của mức độ ăn mòn của cốt thép dọc và cốt thép đai, độ lệch tâm tương đối, loại tấm và số lớp tấm gia cường bó hông CFRP/BFRP đến khả năng chịu nén lệch tâm, khả năng biến dạng, hấp thụ năng lượng và độ dẻo dai của cột BTCT;
- 3) Đánh giá khả năng sử dụng tấm BFRP thay thế tấm CFRP nhằm tối ưu hóa về kinh tế và kỹ thuật giải pháp gia cường bó hông cột BTCT có cốt thép bị ăn mòn bằng tấm FRP;
- 4) Dự đoán khả năng chịu nén lệch tâm của cột gia cường bó hông bằng tấm CFRP/BFRP có xét đến ảnh hưởng của mức độ ăn mòn cốt thép, độ lệch tâm, và số lớp tấm bó hông.

KIẾN NGHỊ

Do sự hạn chế về kinh phí, thiết bị thí nghiệm và thời gian nghiên cứu, nên vẫn các vấn đề chưa được làm rõ, cần kiến nghị cho các nghiên cứu tiếp theo:

- 1) Cần thêm các nghiên cứu với thời gian lớn hơn trên cột có kích thước lớn như trong thực tế để có thể đánh giá được mức độ suy giảm độ cứng dọc trục, biến dạng của cột và hiệu quả gia cường của tấm CFRP trong phạm vi dài hơn với độ tin cậy lớn hơn.
- 2) Phương pháp tạo ăn mòn cho chương trình này là cho cốt thép tiếp xúc với axit và không tẩy gỉ trước khi đổ bê tông nên có nhược điểm là không mô phỏng được vấn đề trương nở thể tích của gỉ thép làm nứt kết cấu bê tông. Mặt khác nghiên cứu chỉ tiến hành trên cột cỡ trung, chưa phải là kích thước thực tế và chỉ nghiên cứu một cường độ bê tông là 47,2MPa. Đây chính là những hạn chế mà các nghiên cứu tiếp theo cần làm sáng tỏ.
- 3) Trong thực tế công trình, rất nhiều cột BTCT trong môi trường xâm thực chịu đồng thời sự tác động của ion sun-phát làm suy giảm chất lượng bê tông và sự ăn mòn cốt thép; do đó cần các thực nghiệm để đánh giá đồng thời hai tác động này lên ứng xử và khả năng chịu nén lệch tâm của cột.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Y. Zhou, H. Tian, L. Sui, F. Xing, and N. Han, "Strength Deterioration of Concrete in Sulfate Environment: An Experimental Study and Theoretical Modeling," *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2015, pp. 1-13, 2015.
- [2] L. Black, C. Breen, J. Yarwood, C.-S. . Deng, J. Phipps, and G. Maitland, "Hydration of tricalcium aluminate (C3A) in the presence and absence of gypsum—studied by Raman spectroscopy and X-ray diffraction," *Journal of Materials Chemistry*, vol. 16, no. 13, p. 1263, 2006.
- [3] C. Sun, J. Chen, J. Zhu, M. Zhang, and J. Ye, "A new diffusion model of sulfate ions in concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 39, p. 39–45, 2013.
- [4] A. E. Idiart, C. M. López, and I. Carol, "Chemo-mechanical analysis of concrete cracking and degradation due to external sulfate attack: A meso-scale model," *Cement and Concrete Composites*, vol. 33, no. 3, p. 411–423, 2011.
- [5] H. Saadatmanesh, M. Ehsani, and M. W. Li, "Strength and ductility of concrete columns externally reinforced with fiber composite straps," *ACI Struct. J.*, vol. 91, no. 4, pp. 434-447, 1994.
- [6] A. Mirmiran, M. Shahawy, M. Samaan, H. E. Echary, J. C. Mastrapa, and O. Pico, "Effect of column parameters on FRP-confined concrete," *J. Compos. Constr.*, vol. 2, no. 4, pp. 175-185, 1998.
- [7] S. J. Pantazopoulou, J. F. Bonacci, S. Sheikh, M. D. A. Thomas, and N. Hearn, "Repair of corrosion-damaged columns with FRP wraps," *J. Compos. Constr.*, vol. 5, no. 1, pp. 3-11, 2001.
- [8] S. P. Tastani and S. J. Pantazopoulou, "Experimental evaluation of FRP jackets in upgrading RC corroded columns with substandard detailing," *Engineering Structures*, vol. 26, no. 6, pp. 817-829, 2004.
- [9] S. Matthyss, H. Toutanji, and L. Taerwe, "Stress–strain behavior of large-scale circular columns confined with FRP composites," *J. Struct. Eng.*, vol. 132, no. 1, pp. 123-133, 2006.
- [10] Y. F. Wu and L. M. Wang, "Unified strength model for square and circular concrete columns confined by external jacket," *J. Struct. Eng.*, vol. 135, no. 3, pp. 253-261, 2009.
- [11] A. Belarbi and S. W. Bae., "An experimental study on the effect of environmental exposures and corrosion on RC columns with FRP composite jackets," *Composites Part B: Engineering*, vol. 38, no. 5-6, pp. 674-684, 2007.
- [12] S. W. Bae and A. Belarbi, "Effects of corrosion of steel reinforcement on RC columns wrapped with FRP sheets," *J. Perform. Constr. Facil.*, vol. 23, no. 1, p. 20–31, 2009.
- [13] H. Toutanji, M. Han, J. Gilbert, and S. Matthyss, "Behavior of large-scale rectangular columns confined with FRP composites," *Journal of Composites for Construction*, vol. 14, no. 1, pp. 62-71, 2010.
- [14] A. D. Luca, F. Nardone, F. Matta, A. Nanni, G. P. Lignola, and A. Prota, "A. D. Luca, F. Nardone, F. Matta, A. Nanni, G. P. Lignola, and A. Prota," *J. Compos. Constr.*, vol. 15, no. 1, p. 112–123, 2011.
- [15] A. Herwig and M. Motavalli, "Axial behavior of square reinforced concrete columns strengthened with lightweight concrete elements and unbonded GFRP wrapping," *J. Compos. Constr.*, vol. 16, no. 6, pp. 747-752, 2012.
- [16] K. Abdelrahman and R. El-Hacha, "Behavior of large-scale concrete columns wrapped with CFRP and SFRP sheets," *J. Compos. Constr.*, vol. 16, no. 4, pp. 430-439, 2012.

- [17] Z. Wang, D. Wang, S. T. Smith, and D. Lu, "CFRP-confined square RC columns. I: Experimental investigation," *J. Compos. Constr.*, vol. 16, no. 2, p. 150–160, 2012.
- [18] T. M. Pham and M.N.S. Hadi, "Strain estimation of CFRP-confined concrete columns using energy approach," *J. Compos. Constr.*, vol. 17, no. 6, 2013.
- [19] M. Tahir, Z. Wang, K.M. Ali, "Axial compressive behavior of square concrete columns confined with CFRP strip ties using wet lay-up technique," *Constr. Build.Mater.*, vol. 200, p. 282–292, 2019.
- [20] R. Ismail, R.S.M. Rashid, W.C. Chan, M.S. Jaafar, and F. Hejazi, "Compressive behavior of concrete cylinder fully and partially confined by carbon fibre-reinforced polymer (CFRP)," *Constr. Build. Mater.*, vol. 201, pp. 196-206, 2019.
- [21] T. Huynh-Xuan, T. Do-Dai, T. Ngo-Thanh, T. M. Pham, and L. Nguyen-Minh, "Effect of sulfate attack on reinforced concrete columns confined with CFRP sheets under axial compression," *J Compos Constr*, vol. 25, no. 6, 2021.
- [22] T. Huynh-Xuan, T. Ngo-Thanh, and S. Y. Seo, "Structural behavior of RC column confined by FRP sheet under uniaxial and biaxial load," *Polymers*, vol. 14, no. 1, p. 75, 2021.
- [23] M. S. Radhi, M. S. Hassan, and I. N. Gorgis, "Carbon fibre-reinforced polymer confinement of corroded circular concrete columns," *Journal of Building Engineering*, vol. 43, no. 11, p. 102611, 2021.
- [24] Aci Committee 440 and American Concrete, "Aci Committee 440 and American Concrete Institute," *Farmington Hills, Mi: American Concrete Institute*, 2017.
- [25] T. Triantafillou, "Introduction," *fib Bulletin 14. Externally bonded FRP reinforcement for RC structures*, vol. 7, pp. 1-4, Jul. 2001.
- [26] ISIS Canada, Design manual No. 3, "Reinforcing concrete structures with fibre reinforced polymers," *Canadian Network of Centres of Excellence on Intelligent Sensing for Innovative Structures*, 2007.
- [27] CNR Advisory Committee , "Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening of existing structures," *National Research Council*, no. Rome, Italy, pp. 1-44, 2013.
- [28] C. E. Reed and R. J. Peterman, "Evaluation of Prestressed Concrete Girders Strengthened with Carbon Fiber Reinforced Polymer Sheets," *Journal of Bridge Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 185-192, 2004.
- [29] A. Nanni, "Fiber-Reinforced-Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures," *Elsevier*, p. 4, 1993.
- [30] T. Tamura, "Fiber-Reinforced-Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures," *Elsevier*, pp. 291-303, 1993.
- [31] D.C. Kent and R. Park, "Flexural members with confined concrete," *Journal of the Structural Division*, vol. 97, no. 7, pp. 1969-1990, 1971.
- [32] J. B. Mander, M. J. N. Priestley, R. Park, "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete," *Journal of Structural Engineering*, vol. 114, no. 8, pp. 1804-1826, 1988.
- [33] B.D. Scott, R. Park and J.N. Priestley, "Stress-strain behavior of concrete confined by overlapping hoops at low and high strain rates," *ACI Journal*, vol. 123, no. 5, pp. 13-27, 1982.
- [34] J. Hoshikuma, K. Kawashima, K. Nagaya, and A.W. Taylor, "Stress-Strain Model for confined Reinforced Concrete in Bridge Piers," *Journal of Structural Engineering*, vol. 123, no. 5, pp. 624-633, 1997.

- [35] A. Mirmiran and M. Shahawy, "A new concrete filled hollow FRP composite column," *Composites: part B*, vol. 27, no. 3, pp. 263-268, 1996.
- [36] M. R. Spoelstra and G. Monti, "FRP-Confined Concrete Model," *Journal of Composites for Construction*, vol. 3, no. 3, pp. 143-150, 1999.
- [37] A.Z. Fam and S.H. Rizkalla, "Confinement model for axially loaded concrete confined by circular fiber-reinforced polymer tubes," *ACI Structural Journal*, vol. 98, no. 4, pp. 451-461, 2001.
- [38] J. G. Teng, Y. L. Huang, L. Lam, and L. P. Ye, "Theoretical Model for Fiber-Reinforced Polymer-Confined Concrete," *Journal of Composites for Construction*, vol. 11, no. 2, pp. 201-210, 2007.
- [39] M. N. Fardis and H. Khalili, "FRP-encased concrete as a structural material," *Magazine of Concrete Research*, vol. 34, no. 121, p. 191-202, 1982.
- [40] M. Samaan, A. Mirmiran, and M. Shahawy, "Model of Concrete Confined by Fiber Composites," *Journal of Structural Engineering*, vol. 124, no. 9, p. 1025-1031, 1998.
- [41] L. Lam and J. G. Teng, "Design-Oriented Stress-Strain Model for FRP-Confined Concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 17, pp. 471-489, 2003.
- [42] L. Lam and J. G. Teng, "Design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete in rectangular columns," *J. Reinf. Plast. Compos*, vol. 22, no. 13, pp. 1149-1186, 2003.
- [43] H. Toutanji, "Stress-Strain Characteristics of Concrete Columns Externally Confined with Advanced Fiber Composite Sheets," *ACI Material Journal*, vol. 96, no. 3, pp. 397-404, 1999.
- [44] M. H. Harajli, E. Hantouche, and K. Soudki, "Stress-Strain Model for Fiber-Reinforced Polymer Jacketed Concrete Columns," *ACI Structural Journal*, vol. 103, no. 5, pp. 672-882, 2006.
- [45] S. Rocca, "Experimental and analytical evaluation of FRP-confined large size reinforced concrete columns," *Doctoral Dissertations. Department: Civil, Architectural and Environmental Engineering*, 2007.
- [46] T. E. Maaddawy, "Behavior of corrosion-damaged RC columns wrapped with FRP under combined flexural and axial loading," *Cement and Concrete Composites*, vol. 30, no. 6, p. 524-534, 2008.
- [47] P. Chotickai, P. Tongya, and S. Jantharaksa, "Performance of corroded rectangular RC columns strengthened with CFRP composite under eccentric loading," *Construction and Building Materials*, vol. 268, p. 121134, Jan. 2021.
- [48] L. Chung, J.-H. Jay Kim, and S.-T. Yi, "Bond strength prediction for reinforced concrete members with highly corroded reinforcing bars," *Cement and Concrete Composites*, vol. 30, no. 7, p. 603-611, Aug. 2008.
- [49] T. K. M. Ali, "Flexural behavior of reinforced beams reinforced with corrosive rebar," *International Journal of Civil and Structural Engineering*, vol. 5, no. 1, p. 64, 2014.
- [50] T. Do-Dai, T. Chu-Van, D. T. Tran, A. Y. Nassif, and L. Nguyen-Minh, "Efficacy of CFRP/BFRP laminates in flexurally strengthening of concrete beams with corroded reinforcement," *Journal of Building Engineering*, vol. 53, p. 104606, Aug. 2022.
- [51] Y.-Y. Xu and J.-Q. Huang, "Cyclic performance of corroded reinforced concrete short columns strengthened using carbon fiber-reinforced polymer," *Construction and Building Materials*, vol. 247, p. 118548, 2020.
- [52] K. Andisheh, "Seismic performance of corroded reinforced concrete bridge piers," *Doctoral Dissertations, Department of Civil and Natural Resources Engineering*, 2017.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

Tạp chí quốc tế

1. **Tin Huynh-Xuan**; Thang Do-Dai; Cuong Ngo-Huu; Thong M. Pham; Long Nguyen-Minh. 2023. *Effect of Corroded Reinforcement on Capacity of Square Reinforced Concrete Columns Confined with FRP Sheets under Eccentric Loads*. Engineering Structures. SCI, Q1.
(<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.115821>)
2. **T. Huynh-Xuan**; T. Do-Dai; T. Ngo-Thanh; Thong M. Pham; and L. Nguyen-Minh. 2021. *Effect of Sulfate Attack on Reinforced Concrete Columns Confined with CFRP Sheets under Axial Compression*. Journal of Composite for Construction-ASCE 2021. SCI, Q1.
([https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0001151](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0001151))
3. **Huynh Xuan Tin**, Nguyen Trung Truc, Tran Tri Quang, Ngo Thanh Thuy. 2021. *Effects of steel corrosion to BFRP Strengthened columns under eccentric loading*. Journal of Materials and Engineering Structures. SCOPUS, Q4.
(<https://revue.ummt0.dz/index.php/JMES/article/viewFile/2627/pdf>).

Tạp chí trong nước

1. **Huỳnh Xuân Tín**; Đỗ Đại Thắng; Nguyễn Minh Long. *Ứng xử nén lệch tâm của cột bê tông cốt thép bị ăn mòn được gia cường bằng tấm sợi cac-bon*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, ĐHXDHN, 2023, 17 (1V): 24–41.
2. **Huỳnh Xuân Tín**; Võ Thanh Tân; Nguyễn Minh Long. *Khả năng chịu nén của cột bê tông cốt thép được gia cường bằng tấm CFRP bị xâm thực bởi muối sun-phát*. Tạp chí Giao thông vận tải, Bộ GTVT, Số 1+2/2023, 42-45.
3. **Huỳnh Xuân Tín**; Ngô Hữu Cường; Nguyễn Minh Long. *Hiệu quả gia cường của tấm BFRP cho cột bê tông cốt thép bị ăn mòn chịu nén lệch tâm*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, tập 16 số 5V, 12/2022, 10-24.

Kỷ yếu hội nghị quốc tế

1. **Tin Huynh-Xuan**, Thuy Ngo-Thanh, and Long Nguyen-Minh. 2022. *Effect of Eccentricity on Strength of BFRP-Confined Corroded Reinforced Concrete Columns under Axial Loading*. The 15th International Conference on Fibre-Reinforced Polymers for Reinforced Concrete Structures (FRPRCS-15), 10-14 DECEMBER 2022, Shenzhen, China.
2. **Tin Huynh-Xuan**, Tan Vo-Thanh, Thuy Ngo-Thanh, Nhan Van Phuoc Le, and Long Nguyen-Minh. 2018. *Confinement efficiency of CFRP sheets for reinforce concrete columns exposed to saline environment*. 7th International Conference on Protection of Structures against Hazards, 30-31 October 2018, Hanoi, Vietnam.

Kỷ yếu hội nghị trong nước

1. **ThS. Huỳnh Xuân Tín**, TS. Ngô Thanh Thủy, PGS.TS. Nguyễn Minh Long, 2020, *Hiệu quả của tấm CFRP tăng cường cột bê tông cốt thép trong môi trường ăn mòn*, Hội thảo Câu lạc bộ Khoa học và Công nghệ các trường Đại học Kỹ thuật lần thứ 56, 5/12/2020, Nha Trang.

Đề tài nghiên cứu khoa học

1. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Đại học Quốc gia TP.HCM, loại B : “Phục hồi khả năng chịu nén lệch tâm của cột bê tông cốt thép có cốt thép bị ăn mòn bằng vật liệu sợi composite (FRP)”. Mã số đề tài: B2020-20-02. Thành viên.
2. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường trọng điểm (Phân hiệu Trường ĐHGTVT tại TPHCM): “Nghiên cứu thực nghiệm ứng xử của cột BTCT có cốt thép bị ăn mòn được gia cường bằng vật liệu sợi Composite”. Mã số đề tài: T2020-PHII-003TĐ. Chủ nhiệm.