

## ỨNG XỬ KHÁNG CẮT CỦA DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP ĐƯỢC SỬA CHỮA BẰNG BÊ TÔNG SỢI THÉP SAU QUÁ TRÌNH BỊ ẨM MÒN

BUI VĂN HỒNG LĨNH<sup>1</sup>, NGUYỄN THỊ HẢI YẾN<sup>1</sup>, NGUYỄN VĂN NAM<sup>1</sup>, NGUYỄN BÁ PHÚ<sup>1</sup>,  
NGUYỄN THANH VIỆT<sup>1</sup>, NGÔ CHÂU PHƯƠNG<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh,

<sup>2</sup> Phân hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông Vận tải

*buivanhonglinh@iuh.edu.vn*

**Tóm tắt.** Để cải thiện hiệu suất của kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) bị hư hại do ăn mòn, nhiều phương pháp sửa chữa và gia cường đã và đang dần được tạo ra. Bài báo này phân tích thực nghiệm ứng xử kháng cắt của dầm BTCT bị ăn mòn, và sau đó được sửa chữa trong vùng uốn bằng bê tông cốt sợi thép (SFRC). Các thông số thực nghiệm là cấp độ ăn mòn (được đo bằng độ mất mát khối lượng cốt thép): 0%, 12% và 17%, và hàm lượng sợi thép phân tán trong SFRC: 1.0%, 1.5% và 2.0%. Các kết quả thu được từ thí nghiệm như sức chịu tải, mối quan hệ tải–độ võng và loại phá hoại của dầm BTCT sẽ được phân tích và đánh giá. Bài báo đã chỉ ra rằng khi tăng cấp độ ăn mòn, khả năng chịu cắt của dầm tăng lên vì cơ chế kháng cắt của dầm chuyển từ hiệu ứng dầm sang hiệu ứng vòm. Hơn thế nữa, dầm BTCT bị ăn mòn rồi được sửa chữa bằng SFRC có sức kháng cắt tương đương với các mẫu đối chiếu.

**Từ khóa.** Bê tông sợi thép, dầm, ăn mòn, sửa chữa, ứng xử cắt

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON SHEAR BEHAVIORS OF CORRODED BEAMS REPAIRED IN FLEXURE BY STEEL FIBER-REINFORCED CONCRETE

**Abstract.** In order to improve the performance of the corroded beams, the methods for structural intervention have been gradually created. This paper presents an experimental investigation on the shear behaviors of the corroded beams repaired in flexure by steel fiber-reinforced concrete (SFRC). The factors for experiments are the corrosion degrees, 0%, 12% and 17%, and the volume fractions of the steel fibers, 1.0%, 1.5% and 2.0%. The test results of the shear capacity, the load–deflection responses and the failure modes are assessed. This study indicates that the shear performance of corroded beams increases as the corrosion degree increased due to the change of the shear resisting mechanism in the beams. Furthermore, the corroded beams repaired by SFRC provide the higher shear capacity than that of the corroded beams with no intervention.

**Keywords.** Steel fiber-reinforced concrete, beam, corrosion, repair, shear behavior

### 1 GIỚI THIỆU

Trong những điều kiện khắc nghiệt, quá trình ăn mòn cốt thép xảy ra xuyên qua vết nứt bê tông do tác động tổ hợp của tải trọng và yếu tố môi trường như sự xâm thực, va đập của sóng biển và thay đổi nhiệt độ. Do đó, chất lượng của công trình xây dựng suy giảm đáng kể theo thời gian. Để cải thiện hiệu suất của kết cấu hư hỏng do ăn mòn, nhiều phương pháp sửa chữa và gia cường những vùng suy thoái đã và đang dần được ra đời.

Sự ăn mòn cốt thép trong dầm đã dẫn đến giảm khối lượng và hiệu quả làm việc của thanh thép chịu lực; do đó, các sợi thép phân tán trong SFRC có thể kháng lại lực kéo để bù đắp tổn thất đó. Tuy nhiên, hiện nay, ứng xử kháng cắt của dầm BTCT bị ăn mòn rồi sau đó được sửa chữa bởi SFRC chưa được nghiên cứu nhiều.

Thời gian gần đây, chỉ có một số ít công trình tập trung vào ứng xử cắt của dầm bị ăn mòn được sửa chữa và gia cường trong vùng chịu uốn [1-5]. Theo đó, hỗn hợp sợi không liên tục đã cải thiện độ cứng [6] và khả năng chịu lực [7], và độ dai [8] của các cấu kiện BTCT.

Azam và Soudki [9] nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của sự ăn mòn thanh thép dọc lên hiệu suất kháng cắt của dầm bê tông cốt thép. Tổng cộng có tám dầm được chế tạo để đánh giá mức độ ăn mòn

thông qua độ mất mát khối lượng cốt thép (0%, 5% và 7.5%), sự hiện diện của cốt đai và hiệu quả của vật liệu sửa chữa carbon FRP (CFRP). Sau giai đoạn ăn mòn và sửa chữa, tất cả các dầm đã được kiểm tra phá hoại uốn ba điểm tải. Ở một nghiên cứu khác, Linh và cộng sự [10] đã khảo sát thực nghiệm dầm bị phá hoại do ăn mòn và sau đó được sửa chữa bằng hỗn hợp bê tông sợi aramid (AFRC). Các công trình từ nghiên cứu [11-16] đã phân tích ảnh hưởng của việc thay đổi mật độ dòng điện đến mức độ ăn mòn thanh cốt thép cũng như biến dạng bê tông. Kết quả nghiên cứu cho thấy tăng mật độ dòng điện dẫn đến sự gia tăng đáng kể biến dạng và chiều rộng vết nứt do sự ăn mòn của cốt thép.

Những nghiên cứu trên đã chỉ ra rằng nếu mức độ ăn mòn đủ cao, khả năng chịu cắt của dầm sẽ tăng lên. Nguyên nhân là vì sự ăn mòn cốt thép trong dầm đã làm thay đổi cơ chế truyền tải thành hiệu ứng vòm, do đó khả năng chịu tải được cải thiện. Thêm vào đó, mô hình strut và tie được đề xuất trong các công trình dự đoán tương đối tốt với kết quả thí nghiệm. Trong một diễn biến khác, nghiên cứu của Azam và Soudki [9] đã chỉ ra rằng dầm BTCT bị ăn mòn được sửa chữa bằng tấm bọc dán CFRP đã cải thiện đáng kể độ cứng và khả năng chịu lực của dầm bởi vì tấm CFRP có mô đun đàn hồi Young cao. Tuy nhiên, các nghiên cứu trước đây chỉ khảo sát ứng xử uốn hoặc cắt thuần túy của dầm bị ăn mòn được sửa chữa trong vùng hư hỏng bằng sợi carbon hoặc aramid. Ngoài ra, những ảnh hưởng đồng thời của các yếu tố như cấp độ ăn mòn và hàm lượng sợi thép trong vật liệu sửa chữa SFRC lên ứng xử cơ học của dầm chưa được phân tích sâu. Hơn thế nữa, chưa có công trình nào phân tích chi tiết cơ chế kháng cắt của dầm bị ăn mòn rồi sau đó được sửa chữa trong miền chịu uốn bởi SFRC.

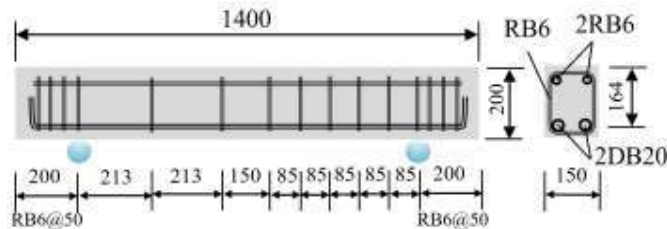
Nghiên cứu này tập trung phân tích thực nghiệm ứng xử kháng cắt của tám dầm BTCT bị ăn mòn, sau đó được sửa chữa trong vùng uốn bằng bê tông cốt sợi thép. Các thông số thí nghiệm là cấp độ ăn mòn được tính dựa trên sự mất mát khối lượng thép (0%, 12% và 17%), hàm lượng sợi thép trong SFRC (1.0%, 1.5% và 2.0%). Các kết quả thí nghiệm dầm bao gồm khả năng chịu tải, loại phá hoại, mối quan hệ tải–độ võng sẽ được xem xét và thảo luận.

## 2 CHƯƠNG TRÌNH THỰC NGHIỆM

Các thí nghiệm ăn mòn, sửa chữa dầm bằng SFRC và sức chịu tải của dầm được phối hợp thực hiện cùng với Phòng nghiên cứu vật liệu tiên tiến, Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Đại học Chulalongkorn, Thái Lan.

### 2.1 Cấu tạo dầm

Chương trình thực nghiệm bao gồm tám dầm tiết diện chữ nhật. Tất cả các dầm có cùng kích thước hình học và sự sắp xếp cốt thép. Hình 1 mô tả cấu tạo chi tiết của dầm. Dầm dài 1400 mm, kích thước tiết diện là 150×200 mm<sup>2</sup>. Cốt thép dọc có đường kính 20 mm và cốt đai có đường kính 6 mm. Theo thiết kế, dầm sẽ bị phá hoại do cắt ở nhịp bên trái nên hàm lượng cốt đai ở nhịp bên phải được bố trí nhiều hơn so với nhịp bên trái.



Hình 1: Cấu tạo chi tiết của dầm dùng trong thực nghiệm (mm)

Bảng 1: Dầm thí nghiệm

Tên dầm	Độ ăn mòn: tính bằng tỉ lệ mất mát khối lượng cốt thép trước và sau ăn mòn (%)	Sửa chữa bằng SFRC	Hàm lượng sợi thép trong SFRC (%)
0C-NR	0	Không được sửa chữa	-
12C-NR	12	Không được sửa chữa	-
12C-1.0F	12	SFRC	1.0
12C-1.5F	12	SFRC	1.5

17C-NR	17	Không được sửa chữa	-
17C-1.0F	17	SFRC	1.0
17C-1.5F	17	SFRC	1.5
17C-2.0F	17	SFRC	2.0

Bảng 2: Cấp phối bê tông dùng trong dầm và cấp phối cho bê tông sợi thép (SFRC)

Cấp phối bê tông đúc dầm						
Cấp phối	Nước/ chất kết đính	Xi măng (kg/m <sup>3</sup> )	Nước (kg/m <sup>3</sup> )	Cát (kg/m <sup>3</sup> )	Cốt liệu thô (kg/m <sup>3</sup> )	Phụ gia hóa dẻo (kg/m <sup>3</sup> )
Bê tông	0.54	342	185	770	1150	1.71
Cấp phối bê tông sợi thép (SFRC)						
Cấp phối	Nước/ chất kết đính	Xi măng/cát	Hàm lượng sợi thép, $V_f$ (%)	Cường độ nén (MPa)	Cường độ kéo (MPa)	
1.0F	0.50	3.0	1.0	33.5	1.5	
1.5F	0.50	3.0	1.5	38.4	1.9	
2.0F	0.50	3.0	2.0	30.8	2.1	

Bảng 1 tóm tắt các trường hợp dầm thí nghiệm. Dầm thứ nhất là mẫu đối chiếu (0C-NR) không bị ăn mòn và không được sửa chữa. Trong khi đó các dầm còn lại trải qua quá trình ăn mòn với mức độ ăn mòn là 12% và 17%. Ở bài báo này, mức độ ăn mòn được xác định bằng độ giảm khối lượng của cốt thép trước và sau khi bị ăn mòn. Sau quá trình ăn mòn, hai dầm 12C-NR và 17C-NR được thực nghiệm khả năng chịu tải mà không can thiệp sửa chữa để khảo sát ảnh hưởng của tỉ lệ ăn mòn. Năm dầm bị ăn mòn còn lại được sửa chữa bằng SFRC với hàm lượng sợi thép là 1.0%, 1.5% và 2.0% trước khi kiểm tra sức chịu tải.

## 2.2 Vật liệu

Cấp phối của bê tông và bê tông sợi thép dùng trong nghiên cứu này được thiết kế theo thông số ở Bảng 2. Cường độ chịu nén trung bình của mẫu thử hình trụ ở 28 ngày tuổi là 34.6 MPa. Cốt thép dọc có cường độ chảy dẻo là 512 MPa, và cốt thép đai có cường độ chảy dẻo là 386 MPa. Hàm lượng sợi thép trong SFRC là 1.0%, 1.5%, và 2.0%. Sợi thép thuộc loại dạng thẳng có móc cuối sợi. Sợi thép dùng trong hỗn hợp SFRC là sợi thép chất lượng cao có khả năng chống gỉ khi bị xâm thực. Tính chất của sợi thép dùng trong SFRC được trình bày ở Bảng 3.

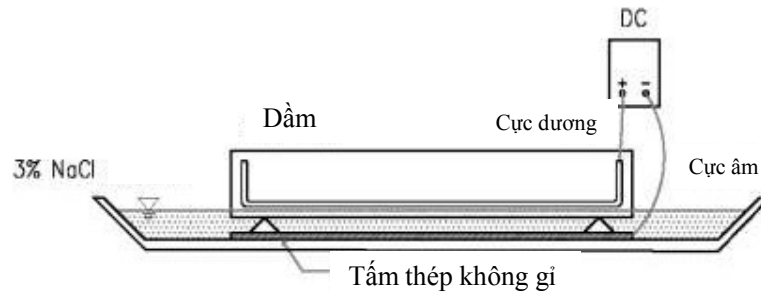
Bảng 3: Tính chất của sợi thép

Chiều dài (mm)	Đường kính (mm)	Tỉ lệ ( $l/d$ )	Cường độ kéo (N/mm <sup>2</sup> )	Mô đun đàn hồi (N/mm <sup>2</sup> )
35	0.55	65	1345	210000

## 2.3 Kỹ thuật gây ăn mòn và sửa chữa

Phương pháp nghiên cứu dựa trên thực nghiệm dầm ăn mòn nhân tạo. Tiếp theo đó, các dầm bị ăn mòn được mang đi sửa chữa bằng vật liệu SFRC. Sau cùng, các dầm này được đưa vào thí nghiệm sức chịu tải. Phương pháp và kỹ thuật sử dụng cho quá trình thực nghiệm được nêu rõ như bên dưới.

Dựa vào tiêu chuẩn ASTM [17], quá trình tăng tốc ăn mòn được tiến hành sau khi đúc bảy ngày để gây ra ăn mòn cho các thanh. Trong quá trình này, dòng điện trực tiếp được truyền qua cốt thép dọc như trong Hình 2. Ở đây, các thanh dọc đóng vai trò là cực dương (anode) và tấm thép không gỉ đóng vai trò là cực âm (cathode). Các thanh dọc và tấm thép không gỉ được kết nối với nguồn điện. Ngoài ra, các mẫu thử được nhúng trong 3% dung dịch điện phân NaCl, và mực nước của dung dịch NaCl được kiểm soát để tiếp cận xung quanh bề mặt bên dưới của dầm. Để ngăn chặn sự ăn mòn cốt đai và thép dọc chịu nén, các thanh thép được bọc bằng băng keo cách điện ở phần tiếp xúc với cốt thép dọc. Mức độ ăn mòn thực tế được xác định bằng độ giảm khối lượng của cốt thép trước và sau khi bị ăn mòn.

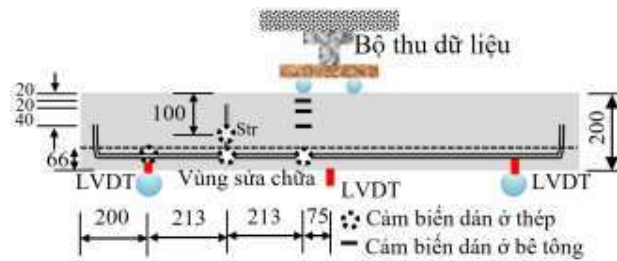


Hình 2: Thiết lập gia tăng ăn mòn

Hình 3 minh họa các giai đoạn can thiệp sửa chữa dầm sau khi bị ăn mòn. Đầu tiên loại bỏ vùng bê tông bị hư hỏng do ăn mòn, sau đó làm sạch cốt thép, và cuối cùng dùng vật liệu epoxy liên kết hỗn hợp SFRC và bê tông cũ. Hình 4 mô tả sơ đồ thí nghiệm bốn điểm tải cho tất cả các dầm. Các sensor đo biến dạng được dán vào cốt thép đai và cốt thép dọc (Hình 4). Thiết bị PI được dán ở bề mặt bê tông để đo biến dạng và bề rộng vết nứt. Thiết bị đo chuyển vị (LVDT) được sử dụng để ghi nhận độ võng của dầm trong suốt quá trình thí nghiệm.



Hình 3: Các bước sửa chữa dầm (Linh và cộng sự [10])



Hình 4: Vị trí các thiết bị để đo các thông số cơ học của dầm khi chịu tải

### 3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1 Dạng phá hoại do ăn mòn

Các dạng hư hại của dầm bị ăn mòn được chỉ ra ở Hình 5. Các dầm sau quá trình ăn mòn phần lớn bị hư hỏng bởi phân tách lớp giữa bê tông và cốt thép dọc. Ở hai dầm đối chứng 12C-NR và 17C-NR, Hình 5(a) và Hình 5(c) cho thấy khi tăng cấp độ ăn mòn các vết nứt xuất hiện rõ hơn và nhiều hơn. Trong khi đó, hư hại trong dầm có cấp độ ăn mòn thấp (12%) và được sửa chữa bằng SFRC đã giảm đáng kể (Hình 5(b)) bởi vì sợi thép trong SFRC đã kích hoạt cơ chế kháng nứt trong bê tông và làm tăng khả năng bám dính giữa SFRC và cốt thép. Tuy nhiên, với mức độ ăn mòn cao (17%), dầm được sửa chữa bằng SFRC vẫn bị phân tách lớp tại vị trí cốt thép dọc (Hình 5(d)). Điều này cho thấy hàm lượng sợi thép 1% trong SFRC không đủ khả năng kháng lại sự phá hoại ăn mòn ở cấp độ cao.



Hình 5: Dầm bị hư hỏng do ăn mòn (chỉ trình bày các dầm điển hình)

### 3.2 Sức kháng tải

Bảng 5 trình bày kết quả thí nghiệm về sức kháng tải tối đa và cơ chế phá hoại của dầm. Theo đó, các mẫu thử không được sửa chữa sau ăn mòn đã bị phá hoại do nứt cắt xiên thuần túy. Trong khi đó, các dầm được sửa chữa bằng bê tông cốt sợi thép đã bị phá hoại bởi sự phân tách lớp giữa bê tông cũ và vật liệu sửa chữa.

Bảng 5: Kết quả thí nghiệm

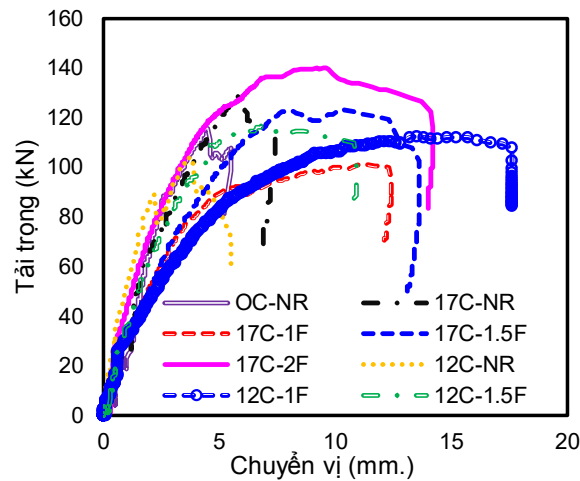
Dầm	Bê tông	Bê tông sợi		Tải cực hạn (kN)	Dạng phá hoại
	$f'_c$ (MPa)	$f'_c$ (MPa)	$f'_t$ (MPa)		
0C-NR	34.6	-	-	119.8	Cắt
12C-NR	34.6	-	-	104.2	Cắt
12C-1.0F	34.6	33.5	1.5	112.4	Tách lớp
12C-1.5F	34.6	38.4	1.9	116.4	Tách lớp
17C-NR	34.6	-	-	128.7	Cắt
17C-1.0F	34.6	33.5	1.5	101.1	Tách lớp
17C-1.5F	34.6	38.4	1.9	123.5	Tách lớp
17C-2.0F	34.6	30.8	2.1	140.2	Tách lớp

Nhìn chung, sức chịu tải của dầm ăn mòn được sửa chữa bằng SFRC cao hơn dầm tham chiếu (0C-NR). Nguyên nhân là do cơ chế chống cắt của dầm bị ăn mòn thay đổi từ hiệu ứng dầm sang hiệu ứng vòm. Những đánh giá trên chỉ ra rằng sự can thiệp của SFRC lên các dầm bị ăn mòn có thể giúp phục hồi khả năng chịu lực của cấu kiện và thay đổi cơ chế phá hoại dầm sang dạng an toàn và hiệu quả hơn.

Bảng 5 cũng phân tích ảnh hưởng của mức độ ăn mòn đến khả năng chịu tải của dầm. Dầm 17C-NR có cấp độ ăn mòn cao và không được sửa chữa đã cung cấp sức chịu tải lớn hơn dầm tham chiếu 0C-NR khoảng 7,4%, 128,7 kN so với 119,8 kN. Phát hiện này chủ yếu là do mất liên kết bám dính giữa bê tông và cốt thép dọc chịu kéo, dẫn đến ứng xử cắt của dầm 17C-NR đã thay đổi từ hiệu ứng dầm sang hiệu ứng vòm (thanh chống xiên chịu nén được hình thành làm cho sức chống cắt tăng lên). Trong khi đó, dầm 12C-NR có tốc độ ăn mòn thấp và không được sửa chữa vẫn duy trì cơ chế kháng cắt thuần túy (không có ảnh hưởng của hiệu ứng vòm). Do vậy, khả năng chịu lực và hiệu suất của dầm 12C-NR thấp hơn so với mẫu đối chứng 0C-NR (xem Bảng 5). Mặt khác, Hình 5(a) đã tiết lộ rằng, với vết nứt không đáng kể trong dầm bị ăn mòn 12C-NR, liên kết bám dính giữa bê tông và cốt thép trong dầm được duy trì. Do đó, cơ chế kháng cắt dưới hiệu ứng dầm được đảm bảo và kéo theo dầm 12C-NR có khả năng chịu lực thấp.

### 3.3 Mối quan hệ tải trọng–độ võng

Hình 6 trình bày các đường quan hệ tải–độ võng của dầm trong quá trình thí nghiệm. Đối với các mẫu đối chứng 0C-NR, 17C-NR và 12C-NR, ứng xử ban đầu của các dầm này là giống hệt nhau do cùng đặc trưng vật liệu bê tông. Ở cấp tải lớn, các dầm với mức độ ăn mòn cao đã cho thấy hiệu suất lớn hơn cả về cường độ và độ võng so với các dầm có độ ăn mòn thấp. Bởi vì hiệu ứng vòm được hình thành do mất liên kết của cốt thép với bê tông nên hiệu suất kháng cắt của dầm 17C-NR vượt trội. Ngoài ra, độ cứng của dầm 0C-NR và 12C-NR (cấp độ ăn mòn thấp và có hiệu ứng dầm) cao hơn so với dầm 17C-NR (cấp độ ăn mòn cao và có hiệu ứng vòm) do các thanh thép dọc trong các dầm đó (0C-NR và 12C-NR) đã đóng góp đáng kể vào độ cứng uốn. Ngược lại, sự đóng góp cho độ cứng uốn của cốt thép dọc trong dầm 17C-NR không nhiều bởi vì liên kết bám dính giữa các lớp bị phân tách và hư hỏng.



Hình 6: Mối quan hệ tải-độ võng

Mặt khác, từ Hình 6 có thể thấy rằng phản ứng của các dầm ăn mòn được sửa chữa bởi SFRC dẻo dai hơn các dầm tham chiếu bởi vì các sợi thép, với mô đun đàn hồi Young và biến dạng cao, trong SFRC làm tăng độ dai của dầm được can thiệp. Hơn nữa, độ cứng của các mẫu dầm sửa chữa được cải thiện khi hàm lượng sợi thép trong SFRC tăng lên, và dầm sửa chữa bằng SFRC với 2,0% sợi thép mang lại độ cứng lớn nhất. Từ Hình 6, với cùng hàm lượng sợi, dầm chịu tốc độ ăn mòn thấp cứng hơn so với dầm có độ ăn mòn cao. Do hiệu ứng dầm được duy trì trong mẫu ít bị ăn mòn, cho nên sự đóng góp của cốt thép dọc cho toàn bộ độ cứng của dầm được đảm bảo. Để đạt hiệu suất thích hợp cả về tải trọng và độ dai của dầm được sửa chữa, tỷ lệ phần trăm 1,5% và 2,0% của sợi thép được đề xuất tương ứng cho các trường hợp dầm chịu mức độ ăn mòn thấp và cao.

### 3.4 Cơ chế lan truyền vết nứt trong dầm BTCT chịu tải trọng

Ứng xử nứt của các dầm được khảo sát ở tải trọng tối đa được hiển thị trong Hình 7. Các vết nứt chéo do cắt khi phá hoại đã xảy ra đối với các dầm tham chiếu OC-NR, 12C-NR và 17C-NR (Hình 7(a)-(c)). Như Hình 7(a), dầm OC-NR có nhiều vết nứt hơn vì không bị ăn mòn và cơ chế bám dính giữa thép và bê tông được đảm bảo; do đó các vết nứt được hình thành theo phương xiên và lan truyền dọc theo chiều dài dầm. Trong trường hợp dầm bị ăn mòn, như được chỉ ra trong Hình 7(b), không có sự bong tách đáng kể nào giữa thép và bê tông trong mẫu thử với tốc độ ăn mòn thấp, do vậy hiệu ứng dầm được hình thành và gây ra đường nứt chéo do cắt thuần túy. Mặt khác, tất cả các dầm ăn mòn được sửa chữa bằng SFRC bị phá hoại dưới tác động tải trọng bởi sự tách lớp giữa SFRC và bê tông cũ. Ngoài ra, sự phân tách vết nứt được quan sát rõ trong các mẫu thử có độ ăn mòn cao và hàm lượng sợi thấp do hiệu quả bám dính của cốt thép với bê tông và vật liệu sửa chữa SFRC đã suy giảm đáng kể (Hình 7(d)).



(a) OC-NR



(c) 17C-NR



(b) 12C-NR



(d) 17C-1.0F

Hình 7: Cơ chế nứt trong dầm chịu tải (chỉ trình bày các dầm điển hình)



#### 4 KẾT LUẬN

Các kết luận chính của nghiên cứu này được rút ra như sau:

(1) Các dầm ăn mòn mà không được sửa chữa bị phá hoại do nứt đường chéo cắt. Trong khi đó, các dầm hư hỏng được can thiệp bởi SFRC bị phá hoại do sự phân tách giữa các lớp vật liệu sau khi hình thành vết nứt cắt. Sự phân tách lớp được quan sát rõ ràng trong các mẫu thử với mức độ ăn mòn cao.

(2) Khả năng chịu tải của các mẫu được sửa chữa là rất lớn do cơ chế chống cắt thay đổi từ hiệu ứng dầm sang hiệu ứng vòm.

(3) Hiệu ứng dầm vẫn được duy trì trong các dầm có mức độ ăn mòn thấp; do đó, cốt thép dọc chịu trách nhiệm đáng kể trong việc đảm bảo độ cứng tổng thể của dầm. Với các dầm bị ăn mòn được sửa chữa bởi SFRC, tỷ lệ phần trăm của sợi thép 1,5% và 2,0% được đề xuất cho các trường hợp có độ ăn mòn thấp và cao.

(4) SFRC không chỉ giúp phục hồi khả năng chịu tải mà còn kích hoạt sự phát triển biến dạng trong các thanh thép dọc thông qua cơ chế trượt dính; điều này dẫn đến sự cải thiện hiệu suất của các dầm được gia cường và sửa chữa bằng SFRC. Do đó việc áp dụng phương pháp sửa chữa bằng SFRC cho các kết cấu dễ bị ăn mòn ở Việt Nam cần được nghiên cứu mở rộng.

#### LỜI CẢM ƠN

Chủ nhiệm đề tài, nhóm nghiên cứu trân trọng cảm ơn Trường Đại học Công Nghiệp Tp. HCM đã cấp kinh phí thực hiện đề tài “Đánh giá hiệu suất kháng cắt của dầm bê tông cốt thép được sửa chữa sau ăn mòn bằng bê tông sợi trong vùng uốn”, mã số 20/1.2XD02, thực hiện năm 2020. Nghiên cứu này cũng được tài trợ một phần bởi Quỹ Ratchadapisek Sompoch Endowment Fund, Đại học Chulalongkorn, Thái Lan.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Pitcha, *Evaluation of Shear Carried by Steel Fibers of Reinforced Concrete Beams Using Tension Softening Curves*, Doctoral Degree, Tokyo Institute of Technology, 2013.
- [2] B.V.H. Linh, S. Boonchai, and T. Ueda, Mechanical performances of concrete beams with hybrid usage of steel and FRP tension reinforcement, *Computers and Concrete*, vol. 20, no. 4, pp. 391-407, 2017.
- [3] F. Altun, T. Haktanir, and K. Ari, Effects of steel fiber addition on mechanical properties of concrete and RC beams, *Construction and Building Materials*, vol. 21, no. 3, pp. 654-661, 2007.
- [4] F. R. Mansour, S. Parniani, and I. S. Ibrahim, Experimental study on effects of steel fiber volume on mechanical properties of SFRC, *Advanced Material Research*, vol. 214, pp. 144-148, 2011.
- [5] D. Y. Yoo, Y. S. Yoon, and N. Banthia, Flexural response of steel-fiber-reinforced concrete beams: Effects of strength, fiber content, and strain-rate, *Cement and Concrete Composites*, vol. 64, pp. 84-92, 2015.
- [6] S. Iqbal, A. Ali, K. Holschemacher, T. A. Bier, and A. A. Shah, Strengthening of RC beams using steel fiber reinforced high strength lightweight self-compacting concrete (SHLSCC) and their strength predictions, *Material Design*, vol. 100, pp. 37-46, 2016.
- [7] W. Kim, J. Kim, and Y. K. Kwak, Evaluation of flexural strength prediction of reinforced concrete beams with steel fibres, *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, vol. 1, no. 4, pp. 156-166, 2016.
- [8] P. Jongvivatsakul, K. Watanabe, K. Matsumoto, and J. Niwa, Evaluation of shear carried by steel fibers of reinforced concrete beams using tension softening curves, *Journal of JSCE, Ser. E2 (Materials and Concrete Structures)*, vol. 67, no. 4, pp. 493-507, 2011.
- [9] R. Azam, and K. Soudki, Structural performance of shear-critical RC deep beams with corroded longitudinal steel reinforcement, *Cement and Concrete Composites*, vol. 34, pp. 946-957, 2012.

- [10] B.V.H. Linh, S. Boonchai, and J. Pitcha, Mechanical properties of aramid fiber-reinforced concrete and its performance on repairing of beams, *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 2019 (Accepted).
- [11] A. Almusallam, A. S. Ahmad, A. A. R. Rasheeduzzafar, Effect of reinforcement corrosion on bond strength. *Construction and Building Materials*, vol. 10, pp. 123-129, 1996.
- [12] E. T. Maaddawy, and K. Soudki, Effectiveness of impressed current technique to simulate corrosion of steel reinforcement in concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 15, pp. 41-47, 2003.
- [13] T. Masahiro, *Influence of local steel corrosion on shear failure mechanism of RC members*, Master Degree, Tokyo Institute of Technology, 2008.
- [14] M. Sakai Mai, *Fundamental study on mechanical behavior and repairing method of corroded RC beams including anchorage damage*, Bachelor Degree, Tokyo Institute of Technology, 2009.
- [15] M. Sakai, *The study on Mechanical Properties and effect of repair of RC Beams with Anchorage Corrosion*, Master Degree, Tokyo Institute of Technology, 2011.
- [16] M. Mori, *Influence of local steel corrosion on shear failure mechanism of RC members*, Master Degree, Tokyo Institute of Technology, 2012.
- [17] ASTM, Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory, *ASTM C192M-07*, ASTM International.

Ngày nhận bài: 10/02/2020

Ngày chấp nhận đăng: 13/04/2020