



EFFECTIVENESS OF RECYCLED FIBER FROM WASTE FISHING NETS ON SELECTED MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CONCRETE

Nguyen Duy-Liem¹, Dao Van Dinh², Nguyen Nhat Minh Tri^{3,*}

¹ Faculty of Civil Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology and Education, No. 01 Vo Van Ngan Street, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

² Faculty of Civil Engineering, University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

³ Campus in Ho Chi Minh City, University of Transport and Communications, No. 450-451 Le Van Viet Street, Tang Nhon Phu A Ward, Thu Duc, Ho Chi Minh City, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 14/11/2021

Revised: 18/01/2022

Accepted: 14/02/2022

Published online: 15/02/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.2.9>

* *Corresponding author*

Email: trinnm_ph@utc.edu.vn

Abstract. Recently, the use of polymeric fibers, especially recycled polymeric fibers, has gained the attention of the research community thanks to their high tensile strength and corrosion resistance. In this study, the effectiveness of recycled polyethylene (R-PE) fibers from waste fishing net in reinforcing concrete materials is evaluated. Three fiber ratios are selected as 1%, 2%, and 3 % of the volume of concrete. From the mechanical strength test, a decrease in compressive strength and an increase in toughness, tensile strength of fiber reinforced concrete is observed, corresponding to an increase in the fiber proportions. Based on these results, together with the ductility number analysis, the addition of R-PE fiber into concrete has improved its crack resistance, post-cracking behavior, and transformed the failure mode of this composite material from brittle to quasi-brittle. Results from the normalized analysis show that the optimal fiber proportion in term of strength is 1%. However, fiber proportions from 1 % to 2 % are suggested for practical applications. In summary, the feasibility of using recycled fiber from waste fishing nets in strengthening concrete is observed initially from these results. Taking advantage of this easy-to-recycle as well as non-biodegradable material will bring practical economic and environmental benefits.

Keywords: concrete, recycled fiber, strength, ductility number, optimal proportion.

© 2022 University of Transport and Communications



HIỆU QUẢ CỦA SỢI TÁI CHẾ TỪ LƯỚI ĐÁNH CÁ PHẾ THẢI ĐẾN MỘT SỐ ĐẶC TÍNH CƠ HỌC CỦA BÊ TÔNG

Nguyễn Duy Liêm¹, Đào Văn Dinh², Nguyễn Nhật Minh Trí^{3,*}

¹ Khoa xây dựng, Trường Đại học Sư phạm kỹ thuật thành phố Hồ Chí Minh, số 1 Võ Văn Ngân, Thành phố Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

² Khoa công trình, Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

³ Phân hiệu tại Thành phố Hồ Chí Minh, Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 450-451 Lê Văn Việt, Phường Tăng Nhơn Phú A, Thủ Đức, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 14/11/2021

Ngày nhận bài sửa: 18/01/2022

Ngày chấp nhận đăng: 14/02/2022

Ngày xuất bản Online: 15/02/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.2.9>

* Tác giả liên hệ

Email: trinnm_ph@utc.edu.vn

Tóm tắt. Việc sử dụng các loại sợi polyme đặc biệt là sợi polyme tái chế làm vật liệu gia cố bê tông đã nhận được sự quan tâm của cộng đồng nghiên cứu trong thời gian gần đây do chúng có độ bền kéo và khả năng chống ăn mòn tốt. Trong nghiên cứu này, hiệu quả của sợi polyethylene tái chế (R-PE) từ lưới đánh cá phế thải trong việc gia cố vật liệu bê tông đã được phân tích. Ba tỷ lệ sợi được lựa chọn là 1 %, 2 %, 3 % so với thể tích của bê tông. Từ kết quả của các thí nghiệm cường độ, sự giảm cường độ chịu nén và tăng độ dai, tăng cường độ chịu kéo của bê tông gia cố sợi được quan sát, tương ứng với việc tăng hàm lượng sợi. Dựa vào các kết quả này, cùng với phân tích chỉ số độ dẻo, cho thấy việc thêm sợi R-PE vào bê tông đã cải thiện khả năng chống nứt, ứng xử sau nứt và chuyển chế độ phá hoại của vật liệu này từ giòn sang bán giòn. Kết quả từ phân tích chuẩn hóa cho thấy hàm lượng sợi tối ưu về mặt cường độ là 1 %. Tuy nhiên, các tỷ lệ sợi từ 1 % đến 2 % được đề xuất để áp dụng tùy vào điều kiện thực tế của kết cấu. Tóm lại, kết quả từ nghiên cứu này bước đầu cho thấy tính khả thi của việc sử dụng sợi tái chế từ lưới đánh cá cho vật liệu bê tông. Tận dụng được loại vật liệu dễ tái chế cũng như khó phân hủy này sẽ mang lại những lợi ích thiết thực về mặt kinh tế cũng như môi trường.

Từ khóa: bê tông, sợi tái chế, cường độ, chỉ số độ dẻo, hàm lượng tối ưu.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngành xây dựng đã góp phần không nhỏ vào việc phát triển của toàn thế giới cho đến nay. Tuy nhiên, bên cạnh những thành tựu to lớn đã đạt được, vẫn còn tồn tại nhiều vấn đề hạn chế và gây ảnh hưởng đến đời sống của con người. Việc sử dụng các nguồn khoáng sản, nhiên liệu hóa thạch, cùng với một lượng lớn rác thải xây dựng, là những nguyên nhân gây suy thoái môi trường nghiêm trọng [1]. Bên cạnh đó, hệ sinh thái còn phải đối mặt với nhiều mối nguy hại khác, chẳng hạn như rác thải biển [2]. Hầu hết, rác thải biển được làm từ những loại vật liệu chậm hoặc không phân hủy sinh học. Trong đó, một trong những loại rác thải nổi trôi có thể tìm thấy dọc theo bờ duyên hải hoặc trên bề mặt đại dương là lưới đánh cá. Lưới đánh cá là một công cụ hỗ trợ đắc lực cho ngành ngư nghiệp. Tuy nhiên, khi không còn được sử dụng, nó trở thành mối nguy hại to lớn cho hệ sinh thái. Đặc biệt, nó cũng chính là một trong những nguyên nhân gây ra các tai nạn trên biển, do sự mắc kẹt của các lưới đánh cá xung quanh hệ thống chân vịt của tàu, thuyền. Vì vậy, nếu loại vật liệu này được tái chế để phục vụ cho ngành xây dựng, chẳng hạn như làm vật liệu gia cố cho bê tông, thì bài toán môi trường cũng như bài toán kinh tế có thể được giải quyết ít nhiều [3].

Sợi polyme tổng hợp được sử dụng trong việc cải thiện vật liệu gốc xi măng thường ở 2 dạng: vĩ mô hoặc vi mô. Các công trình trước đây của tác giả cho thấy hiệu quả của các sợi vi mô với đường kính khoảng 200 nm trong việc cải thiện cường độ chịu kéo và độ dai (toughness) của vật liệu gốc xi măng [4-8]. Độ dai cho biết vật liệu có thể hấp thụ bao nhiêu năng lượng trước khi vỡ. Bên cạnh đó, từ các nghiên cứu trước đây cho thấy các loại sợi polyme tái chế đường kính lớn (mm) đã được báo cáo cho kết quả khả quan khi sử dụng làm vật liệu gia cố cho vật liệu gốc xi măng (Bảng 1).

Nhìn chung, các vật liệu polyme tổng hợp đều có các ưu điểm là độ dai, cường độ chịu kéo và khả năng chịu tác động va chạm cao. Vì vậy chúng là thành phần chính trong vật liệu sản xuất lưới đánh cá. Do đó, các loại sợi tái chế từ lưới đánh cá cho thấy tiềm năng cao trong việc tận dụng để gia cố cho vật liệu bê tông.

Các công trình trước đây cho thấy tính khả thi của sợi Polyethylene tái chế (R-PE) từ lưới đánh cá phế thải trong việc tăng cường khả năng chịu kéo của vữa xi măng [9, 10]. Tuy nhiên, việc đánh giá các tính chất cơ học của vật liệu bê tông cốt sợi PE tái chế từ rác thải lưới đánh cá vẫn còn chưa được công bố. Do đó, để bổ sung những vấn đề này, nghiên cứu này trình bày việc đánh giá một số đặc tính cơ học của bê tông cốt sợi R-PE. Qua đó, đề xuất tỷ lệ trộn tối ưu cho loại sợi này. Kết quả của nghiên cứu cho thấy tiềm năng của sợi R-PE tái chế từ lưới đánh cá phế thải trong việc gia cường vật liệu bê tông, tận dụng được loại vật liệu dễ tái chế cũng như khó phân hủy này sẽ mang lại những lợi ích thiết thực về mặt kinh tế cũng như môi trường.

Bảng 1. Tổng quan về gia cố vật liệu gốc xi măng bằng sợi polyme tái chế.

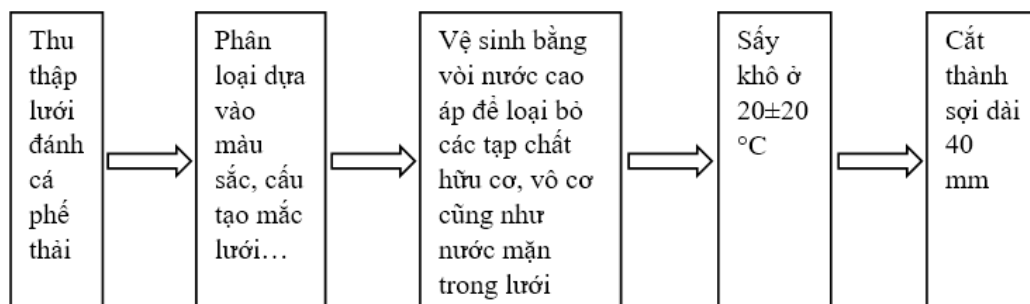
Stt	Loại sợi	Tác giả	Vật liệu nghiên cứu	Kết quả
1	Sợi Polyethylene terephthalate tái chế (R-PET), sợi PVA, sợi PP	Ochi và các cộng sự, 2007 [11]	Bê tông cốt sợi	<p>Phương pháp sản xuất bê tông gia cố sợi PET từ chai lọ đã sử dụng được trình bày.</p> <p>Cường độ chịu kéo của mẫu chứa sợi R-PET thấp hơn mẫu chứa sợi PVA nhưng cao hơn mẫu chứa sợi PP.</p> <p>Không có khí độc thải ra trong quá trình thử nghiệm đốt cháy sợi PET</p>

2	Sợi R-PET	Kim và các cộng sự, 2008 [12]	Vữa xi măng gia cố sợi	Các hình dạng sợi khác nhau không làm ảnh hưởng đến sự mất mát độ ẩm tổng thể hay mất mát độ ẩm theo giờ, là nguyên nhân gây ra các vết nứt co ngót dẻo. Tuy nhiên, sự tăng hàm lượng sợi R-PET đến 2.5 % cho kết quả tốt trong việc kiểm soát các vết nứt co ngót dẻo.
3	Sợi R-PET, sợi PP	Kim và các cộng sự, 2010 [13]	Bê tông cốt sợi	Cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi của bê tông gia cố sợi giảm khi hàm lượng sợi tăng. Sự phát triển của vết nứt do co ngót bị chậm lại khi gia cố bê tông bằng sợi R-PET. Cường độ tới hạn và độ dai của bê tông gia cố sợi R-PET tăng lên đáng kể so với mẫu không được gia cố.
4	Sợi Nylon tái chế (R-Nylon)	Spadea và các cộng sự, 2015 [14]	Vữa xi măng gia cố sợi	Cường độ chịu kéo của vữa tăng 35 % và độ dai tăng 13 lần khi gia cố vữa xi măng bằng sợi nylon tái chế.
5	Sợi HDPE tái chế (R-HDPE)	Pešić và các cộng sự, 2016 [15]	Bê tông gia cố sợi	Trong khi cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi không thay đổi thì cường độ chịu kéo và mô đun phá hoại tăng lần lượt 3 % và 14 % khi gia cố bê tông bằng sợi HDPE tái chế.
6	Sợi Nylon tái chế, sợi PET tái chế, sợi PVA	Orasutthikul và các cộng sự, 2017 [16]	Vữa xi măng gia cố sợi	Cường độ chịu uốn của vữa gia cố bằng sợi nylon tái chế loại thẳng tăng 41 % so với đại lượng này của vữa gia cố bằng sợi nylon tái chế loại thắt nút, sợi PET tái chế, và sợi PVA. Cường độ chịu nén giảm khi thêm vào vữa vác loại sợi.
7	Sợi nhựa tái chế	Bhogayata và Arora, 2018 [17]	Bê tông gia cố sợi và SBR latex	Tổ hợp 1 % sợi nhựa tái chế và 15 % SBR latex theo khối lượng xi măng, cho thấy hiệu suất trong việc cải thiện khả năng chống nứt, sức kháng uốn, chống thấm cho bê tông.
8	Sợi R-PET, sợi PVA	Lu và các cộng sự, 2018 [18]	Vữa xi măng gia cố sợi	Tổ hợp 1 % sợi PVA và 1 % sợi R-PET được đề xuất để gia cố vữa xi măng vì tăng cường độ chịu kéo, sức kháng va đập, thân thiện với môi trường và hiệu quả kinh tế.
9	Sợi Nylon, PE, R-Nylon, R-PE	Srimahachota và các cộng sự, 2020 [19]	Vữa xi măng polyme gia cố sợi	Cường độ chịu nén và khả năng kháng uốn của vữa xi măng polyme tăng lần lượt 24 % và 39 % khi gia cố bằng sợi PE.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Vật liệu

Trong nghiên cứu này, sợi tái chế từ lưới đánh cá phế thải (sợi R-PE) được sử dụng để gia cường cho bê tông thường [9, 10]. Sợi này được cấu tạo bởi 42 tao xoắn lại với nhau, đường kính tao: 0,23 mm, diện tích mặt cắt ngang của sợi: 1,74 mm², chiều dài sợi: 40 mm, khối lượng riêng: 0,95 g/cm³, cường độ chịu kéo 303,81 MPa. Quá trình tái chế sợi R-PE được trình bày theo sơ đồ ở hình 1. Đặc điểm hình dạng của sợi được trình bày ở hình 2a.



Hình 1. Sơ đồ tái chế sợi từ lưới đánh cá phế thải.



(a)

(b)

(c)

Hình 2. a) Đặc điểm hình dạng của sợi; b) Mẻ trộn bê tông và sợi; c) Bảo dưỡng mẫu trụ trong nước.

Xi măng sử dụng trong nghiên cứu này là sản phẩm thương mại của công ty Ssangyong, Hàn Quốc. Là xi măng loại I với các tính chất vật lý, thành phần hóa học được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Thành phần của vật liệu xi măng.

CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	Hao hụt do cháy	Độ mịn (cm ² /g)	Cường độ nén ở 28 ngày (MPa)
61,33	6,40	21,01	2,30	3,02	3,12	1,40	2800	36

Bảng 3 Lựa chọn tỷ lệ các thành phần bê tông

Ký hiệu	0 %	1 %	2 %	3 %
N/X (%)	0,45	0,45	0,45	0,45
Xi măng loại I (kg)	455,3	455,3	455,3	455,3
Nước (kg)	202,9	202,9	202,9	202,9
Cốt liệu thô (4 – 20 mm) (kg)	1178,9	1178,9	1178,9	1178,9
Cốt liệu mịn (0 – 4 mm) (kg)	503,7	503,7	503,7	503,7
Sợi R-PE (kg)	0	9,5	19	28,5
Độ sụt (cm)	11	9	6	4

Bảng 3 trình bày tỷ lệ các thành phần bê tông sử dụng trong nghiên cứu này. Cấp phối thiết kế với cường độ chịu nén mong muốn là 40 MPa ở 28 ngày. Các tỷ lệ sợi được chọn là 1

%, 2 %, 3 % so với thể tích bê tông [11]. Thí nghiệm độ sụt được tiến hành để đánh giá tính lưu động của mẻ bê tông.

2.2. Mẫu thí nghiệm

Quá trình trộn các mẻ bê tông thường được thực hiện bằng máy trộn lồng đứng [11, 20]. Sau đó, các khối lượng sợi tương ứng với từng tỷ lệ 1 %, 2 %, 3 % thể tích bê tông được thêm vào các mẻ bê tông tươi, và thực hiện quá trình trộn sợi với bê tông bằng tay. Lưu ý rằng, do đặc điểm cấu tạo của sợi gồm các tao xoắn lại với nhau, nếu thực hiện trộn bê tông với sợi bằng máy thì hiện tượng tách tao diễn ra, sợi sẽ không còn nguyên vẹn. Hình 2b trình bày mẻ trộn bê tông với sợi. Các mẻ bê tông cốt sợi sau khi trộn xong được đổ vào các khuôn mẫu trụ đường kính 100 mm, dài 200 mm, đầm chặt, tháo khuôn sau 1 ngày và bảo dưỡng trong nước, ở điều kiện phòng thí nghiệm (nhiệt độ bảo dưỡng $23 \pm 2,0$ °C, độ ẩm môi trường $50 \pm 5\%$) [21] (Hình 2c). Tổng cộng 24 mẫu được chuẩn bị cho nghiên cứu này (xem bảng 4).

Bảng 4. Tóm tắt mẫu thí nghiệm.

Thí nghiệm	Hình dạng	Kích thước (mm)	Số lượng	Ký hiệu
Cường độ chịu nén	Trụ	D100 x 200	3	0 %
			3	1 %
			3	2 %
			3	3 %
Cường độ chịu kéo khi ép chẻ	Trụ	D100 x 200	3	0 %
			3	1 %
			3	2 %
			3	3 %

2.3. Phương pháp thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm được thực hiện tuân thủ các chỉ dẫn của ASTM

Thí nghiệm xác định độ sụt: ASTM C143 [22]

Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén: ASTM C39 [23] (Hình 3a)

Thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo khi ép chẻ: ASTM C496 [24] (Hình 3b)

Các thí nghiệm cường độ bê tông được thực hiện bằng máy UTM thủy lực, công suất 100 tấn, tốc độ gia tải 1mm/phút.



(a)

(b)

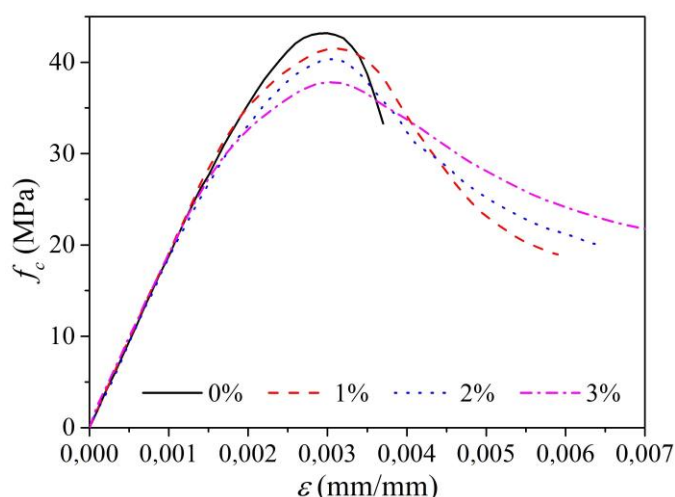
Hình 3. a) Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén, b) Thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo khi ép chẻ.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Độ sụt

Từ kết quả đo độ sụt trong bảng 2 ta thấy việc thêm sợi R-PE làm giảm tính lưu động của mẻ bê tông. Độ sụt giảm do sự mất nước diễn ra. Sự mất nước này có thể giải thích do cấu tạo của sợi gồm nhiều tao xoắn lại với nhau, tạo thành các đường mao dẫn cũng như các khe dẫn có tác dụng hút nước, nước bị hút vào các khe giữa các tao trong sợi. Kết quả làm giảm lượng nước của mẻ trộn, và làm giảm độ sụt của mẻ bê tông. Theo kết quả độ sụt trên, khi thêm các tỷ lệ sợi 1 %, 2 %, 3 % vào bê tông, độ sụt giảm lần lượt là 18 %, 45 %, 64 % so với mẫu không gia cố bằng sợi.

3.2. Cường độ chịu nén



Hình 4. Các đường cong ứng suất – biến dạng.

Ảnh hưởng của sợi R-PE từ lưới đánh cá phế thải đến cường độ chịu nén của bê tông ở 28 ngày được thể hiện ở hình 4 và bảng 5. Cường độ chịu nén trung bình (f_c) của các mẫu bê tông chứa các tỷ lệ sợi 1 %, 2 %, 3 % giảm nhẹ so với cường độ chịu nén trung bình của mẫu không chứa sợi. Mức độ giảm của cường độ chịu nén lần lượt là 4 %, 7 %, và 12 %. Kết quả của công trình hiện tại cho thấy tốt hơn với sự giảm của cường độ chịu nén là 4 % so với các độ giảm 7,1 % như công bố từ công trình [25] khi thêm tỷ lệ thể tích 1 % sợi PP tái chế (R-PP) vào bê tông. Vấn đề giảm cường độ chịu nén của bê tông khi thêm các loại sợi polyme tổng hợp được giải thích bởi sự yếu đi của pha xi măng do các khuyết tật gây ra bởi sợi, từ đó làm giảm độ chặt của pha xi măng, dẫn đến yếu đi độ liên kết của vùng chuyển tiếp (interfacial transition zone (ITZ)) [26].

Như đã biết, hiệu quả của sợi chỉ được thể hiện sau khi bê tông nứt. Xem xét ứng xử sau nứt của các mẫu bê tông gia cố sợi R-PE trên hình 4, sự mềm hóa của ứng xử sau nứt của các mẫu được thể hiện một cách rõ ràng. Thêm vào đó, biến dạng ở điểm phá hoại cũng tăng. Các kết quả này dẫn đến tăng độ dai của các mẫu được gia cố. Độ dai của các mẫu thí nghiệm, hay lượng năng lượng trên một đơn vị thể tích mà vật liệu có thể hấp thụ được trước khi bị phá hoại, có thể tính toán bằng diện tích giới hạn bởi đường cong ứng suất – biến dạng, theo lý thuyết của Timoshenko [27], được tính theo công thức (1) kết quả được thể hiện ở bảng 5 (kết quả trung bình). Từ kết quả này, độ tăng của độ dai lần lượt là 99 %, 108 % và 130 % khi gia cố bê tông bằng các tỷ lệ sợi R-PE lần lượt là 1 %, 2 %, 3 % so với độ dai của mẫu không gia

cổ. Kết quả tương tự về ứng xử sau nứt cũng như tăng độ dai của bê tông gia cố bằng các loại sợi cũng được tìm thấy từ các công trình trước đây [28, 29].

$$T = \int_0^{\varepsilon} f_c \varepsilon d\varepsilon \quad (1)$$

Trong đó, T là độ dai (J/m^3), f_c và ε là ứng suất (MPa) và biến dạng (mm/mm) tương ứng.

Bảng 5 Kết quả thí nghiệm các đặc tính về cường độ.

	0 %	1 %	2 %	3 %
f_c (MPa)	43,18 (0,7541)	41,60 (0,4140)	40,42 (1,4626)	37,83 (1,2981)
Độ dai (J/m^3)	81865,03 (1741,742)	162535,6 (5517,159)	170329,7 (2242,645)	188193,8 (2975,436)
f_{sp} (MPa)	3,77 (0,0668)	4,01 (0,5284)	4,42 (0,1491)	4,44 (0,0611)

(Ghi chú: f_c, f_{sp} : cường độ chịu nén trung bình và cường độ chịu kéo do ép chế trung bình ở 28 ngày, độ dai sau khi tính toán được đổi sang đơn vị J/m^3 , số trong ngoặc đơn là độ lệch chuẩn của kết quả thí nghiệm)

3.3. Cường độ chịu kéo do ép chế

Hình 5 thể hiện các mẫu bị phá hoại sau thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo do ép chế. Nhận xét từ kết quả phá hoại mẫu, các mẫu không gia cố sợi bị tách thành 2 nửa riêng biệt, chế độ phá hoại giòn, vết nứt đầu tiên xuất hiện và tách mẫu thành 2 phần. Các mẫu được gia cố với tỷ lệ sợi 1 %, hiện tượng tách thành 2 phần đã xảy ra. Tuy nhiên, vẫn còn một vài liên kết yếu giữa 2 nửa với nhau, có thể thấy ở hình 5, chế độ phá hoại chuyển sang bán giòn, sự phá hoại xảy ra do mất dính bám giữ sợi và xi măng, các sợi bị kéo ra khỏi vùng xi măng. Đối với các mẫu gia cố với tỷ lệ 2 %, 3 %, các mẫu bị phá hoại không hoàn toàn, mật độ sợi trong mẫu có thể quan sát thấy như trong hình 5. Nhận xét chung, đối với mẫu không được gia cố, khi vết nứt đầu tiên xảy ra, tải trọng rớt về 0. Tuy nhiên, với các mẫu được gia cố, khi vết nứt đầu tiên xảy ra và tiếp tục tăng tải, các sợi trong vùng chịu tải trực tiếp làm việc như các cầu nối hay các neo, kiềm chế sự lan truyền và mở rộng của vết nứt, truyền tải ứng suất, và dần dần tiếp nhận tải trọng tác dụng. Từ các quan sát này, có thể thấy hiệu quả của sợi trong việc cải thiện ứng xử sau nứt của bê tông. Chế độ phá hoại của mẫu được chuyển đổi từ giòn sang bán giòn.



Hình 5. Mẫu phá hoại sau thí nghiệm xác định cường độ chịu kéo do ép chế.

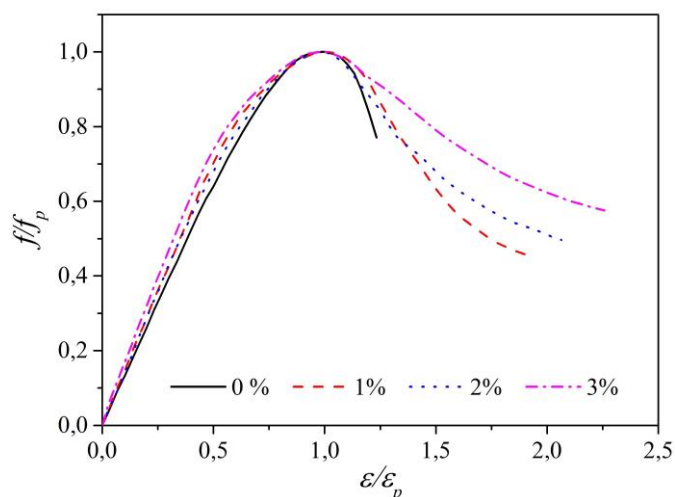
Theo kết quả từ bảng 5, khi thêm các tỷ lệ sợi 1 %, 2 %, và 3 % vào bê tông, cường độ chịu kéo do ép chèn tăng lần lượt là 5 %, 15 %, và 16 % so với cường độ chịu kéo do ép chèn của mẫu không được gia cố. Kết quả cường độ chịu kéo do ép chèn từ nghiên cứu này có thể so sánh với các kết quả từ nghiên cứu trong y văn. Trong công trình [25], với tỷ lệ thể tích 1 % sợi R-PP được trộn vào bê tông, cường độ chịu kéo do ép chèn được công bố là tăng 4.3 % so với mẫu không gia cố. Cũng có thể so sánh từ công trình này, cường độ chịu kéo của sợi R-PP là 400 MPa, lớn hơn cường độ chịu kéo của sợi R-PE trong nghiên cứu này (303,8 MPa). Tuy nhiên, hiệu suất về cường độ chịu kéo lại thấp hơn. Kịch bản phá hoại trong trường hợp này là do sự mất dính bám, sợi bị tuột khỏi vùng xi măng, do đó, với hình dạng cấu tạo gồm nhiều tao xoắn, sợi R-PE trong nghiên cứu này tỏ ra ưu thế hơn về mặt dính bám so với cấu tạo đặc, bề mặt trơn của sợi R-PP như trong nghiên cứu [25].

3.4. Chỉ số độ dẻo

Như đã biết, trong một hệ vật liệu giòn, khi sự phá hoại diễn ra ở một bộ phận, nó không thể tiếp tục chịu bất kỳ tải trọng nào nữa và toàn bộ tải trọng đặt vào sẽ do các bộ phận còn lại đảm nhiệm. Tuy nhiên, nếu một bộ phận trong hệ vật liệu dẻo lý tưởng bị phá hoại, nó vẫn có thể duy trì một phần tải trọng, và các bộ phận còn lại tiếp tục đảm nhiệm phần tải còn lại. Do đó, tìm cách để chuyển chế độ phá hoại của vật liệu từ giòn sang bán giòn hay dẻo là một vấn đề đáng xem xét, chứng minh cho sự cải thiện tính chất vật liệu. Công trình [30] đã đề xuất chỉ số độ dẻo (λ) theo biểu thức (2) để đánh giá chế độ phá hoại của vật liệu.

$$\lambda = 1 - e^{[-\omega(\alpha-1)^\zeta]} \quad (2)$$

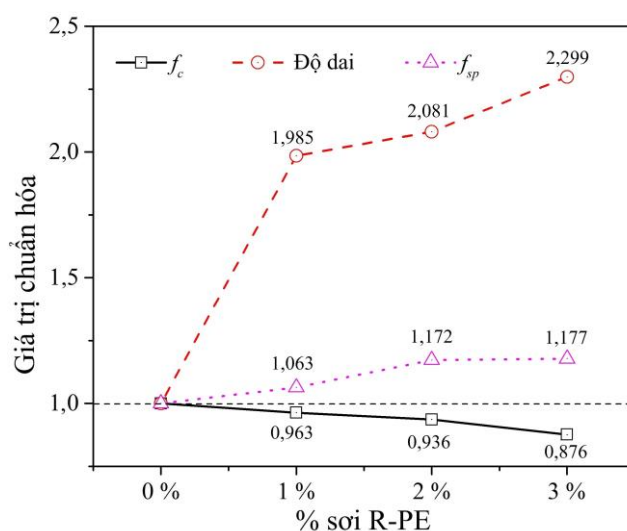
Trong đó, α là giá trị lớn nhất của tỷ số giữa biến dạng với biến dạng cực đại, ω và ζ là các hằng số diễn tả mối quan hệ giữa λ và α (trong nghiên cứu này, $\omega = \zeta = 1$ [30])



Hình 6. Đường cong tỷ số ứng suất – tỷ số biến dạng.

Hình 6 thể hiện mối quan hệ giữa tỷ số ứng suất với ứng suất cực đại và tỷ số giữa biến dạng với biến dạng cực đại. Từ kết quả trong hình 6, tương ứng với các tỷ lệ sợi 0 %, 1 %, 2 %, và 3 %, giá trị lớn nhất của tỷ số giữa biến dạng với biến dạng cực đại (α) là 1,23, 1,90, 2,06, và 2,26, và chỉ số độ dẻo (λ) lần lượt là 0,21, 0,59, 0,66, và 0,72. Kết quả này cho thấy sự tăng lên về chỉ số độ dẻo khi tăng hàm lượng trộn của sợi R-PE. Vì vậy, sự chuyển từ chế độ phá hoại giòn sang bán giòn thể hiện rõ ràng với sự tăng lên của tỷ lệ sợi.

3.5. Hàm lượng sợi tối ưu



Hình 7. Phân tích chuẩn hóa với kết quả của các mẫu có sợi với các mẫu không có sợi.

Các kết quả từ nghiên cứu này cho thấy hiệu quả của sợi tái chế từ lưới đánh cá phế thải trong việc chuyển hóa chế độ phá hoại của bê tông từ giòn sang bán giòn, một chỉ số quan trọng của loại vật liệu này. Tính năng của bê tông gia cố sợi được đánh giá thông qua cường độ chịu nén, độ dai, cường độ chịu kéo do ép chế. Hình 7 thể hiện kết quả phân tích chuẩn hóa với kết quả thí nghiệm của mẫu không gia cố sợi. Trong đó, phép phân tích chuẩn hóa có nghĩa là điều chỉnh các giá trị được đo trên các thang đo khác nhau về một thang đo nhất định. Trong nghiên cứu này, các giá trị cường độ chịu nén trung bình, độ dai trung bình, cường độ chịu kéo khi ép chế trung bình của các mẫu chứa các tỷ lệ sợi 1 %, 2 %, và 3 % được chuẩn hóa với các giá trị đó của mẫu không chứa sợi. Cụ thể là, giá trị chuẩn hóa của các đại lượng nghiên cứu với mẫu không chứa sợi là 1, với các mẫu chứa các tỷ lệ sợi khác, giá trị chuẩn hóa được xác định là tỷ lệ của đại lượng đó của mẫu chứa các tỷ lệ sợi khác nhau với mẫu không chứa sợi. Từ kết quả này, cường độ chịu nén giảm 3,7 % khi thêm hàm lượng sợi là 1 %, trong khi độ dai và cường độ chịu kéo tăng lần lượt là 98,5 % và 6,3 %. Khi tỷ lệ sợi tăng từ 1 % đến 2 %, cường độ chịu nén giảm 2,7 % trong khi hai thông số còn lại tăng chỉ 9,5 % và 10,8 %. Khi hàm lượng sợi tăng từ 2 % đến 3 %, mức giảm của cường độ chịu nén cho thấy tăng lên, 6 %, trong khi mức tăng của cường độ chịu kéo cho thấy giảm xuống, 5,3 %. Bên cạnh đó, từ kết quả thí nghiệm độ sụt, tính lưu động của mẫu chứa 1 % sợi cho thấy cao hơn so với các mẫu chứa 2 tỷ lệ sợi còn lại. Do đó, từ các kết quả này có thể thấy tỷ lệ sợi 1 % là tỷ lệ tối ưu về cường độ. Tuy nhiên, các tỷ lệ sợi từ 1 % đến 2 % có thể được đề xuất để áp dụng tùy thuộc vào yêu cầu của kết cấu thực tế.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của các tỷ lệ 1 %, 2 %, 3 % của sợi PE tái chế từ lưới đánh cá phế thải đến các đặc tính cơ học của bê tông được khảo sát. Các kết luận sau có thể rút ra từ kết quả của nghiên cứu:

- Việc thêm loại sợi tái chế từ lưới đánh cá phế thải làm giảm độ sụt của bê tông. Hàm lượng sợi 1 % cho kết quả độ sụt chấp nhận được so với kết quả độ sụt khi thêm hàm lượng 2 %, 3 % vào bê tông.

- Khi tăng hàm lượng sợi, cường độ chịu nén giảm nhưng độ dai và cường độ chịu kéo do ép chế tăng. Bên cạnh đó, ứng xử sau nứt của bê tông được cải thiện so với các mẫu không được gia cố. Từ kết quả của nghiên cứu này, sợi tái chế từ lưới đánh cá phế thải cho thấy hiệu quả trong việc kiểm chế vết nứt, cải thiện ứng xử sau nứt và chuyển đổi chế độ phá hoại của bê tông từ giòn sang bán giòn.

- Dựa vào kết quả phân tích chuẩn hóa, tỷ lệ sợi 1 % cho thấy hiệu quả về cường độ nhất. Tuy nhiên, các tỷ lệ sợi từ 1 % đến 2 % được đề xuất áp dụng tùy vào yêu cầu thực tế của kết cấu.

Cần chú ý rằng, loại sợi sử dụng trong nghiên cứu này được tái chế từ lưới đánh cá phế thải. Do đó, lợi ích góp phần bảo vệ môi trường biển từ công việc này là rất rõ ràng. Thêm vào đó, quá trình tái chế sợi không tiêu thụ quá nhiều năng lượng, cũng như thải ra môi trường bất kỳ chất có hại nào. Tất cả những công việc cần thiết cho việc tái chế chỉ là thu thập, phân loại, làm sạch, sấy khô và cắt thành kích thước mong muốn. Tuy nhiên, để áp dụng thực tế, yêu cầu về một quá trình tái chế theo hướng công nghiệp hóa cũng như quy trình xử lý vật liệu khi thu thập về là hết sức cần thiết. Trong đó, việc loại bỏ muối trong lưới đánh cá, đánh giá sự ăn mòn cốt thép trong bê tông khi sử dụng kết hợp loại sợi này với bê tông cốt thép, cũng như tìm những giải pháp trộn máy hữu hiệu hơn, là những chủ đề lớn. Tập trung vào các chủ đề này là những nghiên cứu mở rộng từ nghiên cứu này.

Tóm lại, kết quả từ nghiên cứu này cho thấy tiềm năng của sợi tái chế từ lưới đánh cá phế thải trong việc gia cường vật liệu bê tông. Nếu tận dụng được loại vật liệu để tái chế, khó phân hủy này trong các kết cấu xây dựng, thì sẽ mang lại những lợi ích thiết thực về mặt kinh tế cũng như môi trường.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo Dục và Đào Tạo, Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật Tp. Hồ Chí Minh chủ trì trong đề tài mã số B2021-SPK-08.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. United Nations Environment Programme, 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi, 2020.
- [2]. The Pew Charitable Trusts and SYSTEMIQ, Breaking the Plastic Wave: A comprehensive assessment of pathways towards stopping ocean plastic pollution, 2020.
- [3]. R. Siddique, J. Khatib, I. Kaur, Use of recycled plastic in concrete: A review, Waste Manage., 28 (2008) 1835-1852. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.011>.
- [4]. T.N.M. Nguyen, D. Yoo, J.J. Kim, Cementitious Material Reinforced by Carbon Nanotube-Nylon 66 Hybrid Nanofibers: mechanical strength and microstructure analysis, Mater. Today Commun., 23 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2019.100845>.
- [5]. T.N.M. Nguyen, J. Moon, J.J. Kim, Microstructure and mechanical properties of hardened cement paste including Nylon 66 nanofibers, Constr. Build. Mater., 232 (2020) 117-132. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117134>.
- [6]. T.N.M. Nguyen, D.H. Lee, J.J. Kim, Effect of Electrospun Nanofiber Additive on Selected Mechanical Properties of Hardened Cement Paste, Appl. Sci., 10 (2020). <https://doi.org/10.3390/app10217504>.
- [7]. T.N.M. Nguyen, J.J. Kim, A Study about the Strength and Microstructure of Hardened Cement Pastes Including Nanofibers, J. Korean Soc. Civ. Eng., 40 (2020) 177-182. <https://doi.org/10.12652/Ksce.2020.40.2.0177>.

- [8]. J.J. Kim, T.N.M. Nguyen, X.T. Nguyen, D.H. Ta, Reinforcing Cementitious Material Using Singlewalled Carbon Nanotube - Nylon 66 Nanofibers, *Transp. Commun. Sci.*, 71 (2020) 46-55. <https://doi.org/10.25073/tcsj.71.1.6>.
- [9]. J.K. Park, D.J. Kim, M.O. Kim, Mechanical behavior of waste fishing net fiber-reinforced cementitious composites subjected to direct tension, *J. Build. Eng.*, 33 (2021) 101622. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101622>.
- [10]. V.D. Truong, M.O. Kim, D.J. Kim, Feasibility study on use of waste fishing nets as continuous reinforcements in cement-based matrix, *Constr. Build. Mater.*, 269 (2021) 121314. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121314>.
- [11]. T. Ochi, S. Okubo, K. Fukui, Development of recycled PET fiber and its application as concrete-reinforcing fiber, *Cem. Concr. Comp.*, 29 (2007) 448-455. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.02.002>.
- [12]. J.J. Kim, C.G. Park, S.W. Lee, S.W. Lee, J.P. Won, Effects of the geometry of recycled PET fiber reinforcement on shrinkage cracking of cement-based composites, *Compos. Part B Eng.*, 39 (2008) 442-450. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2007.05.001>.
- [13]. S.B. Kim, N.H. Yi, H.Y. Kim, J. Kim, Y. Song, Material and structural performance evaluation of recycled PET fiber reinforced concrete, *Cem. Concr. Comp.*, 32 (2010) 232-40. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.11.002>.
- [14]. S. Spadea, I. Farina, A. Carrafiello, F. Fraternali, Recycled nylon fibers as cement mortar reinforcement, *Constr. Build. Mater.*, 80 (2015) 200-209. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.075>.
- [15]. N. Pešić, S. Zivanovic, R. Garcia, P. Papastergiou, Mechanical properties of concrete reinforced with recycled HDPE plastic fibres, *Constr. Build. Mater.*, 115 (2016) 362-370. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.050>.
- [16]. S. Orasutthikul, D. Unno, H. Yokota, Effectiveness of recycled nylon fiber from waste fishing net with respect to fiber reinforced mortar, *Constr. Build. Mater.*, 146 (2017) 594-602. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.134>.
- [17]. A.C. Bhogayata, N.K. Arora, Workability, strength, and durability of concrete containing recycled plastic fibers and styrene-butadiene rubber latex, *Constr. Build. Mater.*, 180 (2018) 382-395. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.175>.
- [18]. C. Lu, J. Yu, C.K.Y. Leung, Tensile performance and impact resistance of strain hardening cementitious composites (SHCC) with recycled fibers, *Constr. Build. Mater.*, 171 (2018) 566-576. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.02.013>.
- [19]. T. Srimahachota, H. Yokota, Y. Akira, Recycled Nylon Fiber from Waste Fishing Nets as Reinforcement in Polymer Cement Mortar for the Repair of Corroded RC Beams, *Mater.*, 13 (2020). <https://doi.org/10.3390/ma13194276>.
- [20]. T.N.H. Tran, A. Puttiwongrak, P. Pongsopha, D. Intarabut, P. Jamsawang, P. Sukontasukkul, Microparticle filtration ability of pervious concrete mixed with recycled synthetic fibers, *Constr. Build. Mater.*, 270 (2021) 121807. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121807>.
- [21]. ASTM C192 / C192M-19, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.
- [22]. ASTM C143 / C143M-20, Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, ASTM International, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020.
- [23]. ASTM C39 / C39M-21, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021.
- [24]. ASTM C496 / C496M-17, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- [25]. H. Zhang, P.K. Sarker, Q. Wang, B. He, Z. Jiang, Strength and toughness of ambient-cured geopolymer concrete containing virgin and recycled fibres in mono and hybrid combinations, *Constr. Build. Mater.*, 304 (2021) 124649. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124649>.
- [26]. S.M. Palmquist, E. Kintzel, K. Andrew, Scanning electron microscopy to examine concrete with carbon nanofibers, in: *Proceedings of the 5th Pan American Conference for NDT*, Cancun, Mexico, (2011).
- [27]. S.P. Timoshenko, J.M. Gere, *Mechanics of Materials*, PWS-Kent Publishing, Boston, 1984.

- [28]. B. Boulekbatche, M. Hamrat, M. Chemrouk, S. Amziane, Flowability of fibre-reinforced concrete and its effect on the mechanical properties of the material, *Constr. Build. Mater.*, 24 (2010) 1664-1671. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.02.025>.
- [29]. Y. Choi, R.L. Yuan, Experimental relationship between splitting tensile strength and compressive strength of GFRC and PFRC, *Cem. Concr. Res.*, 35 (2005) 1587-1591. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.09.010>.
- [30]. J.J. Kim, M.M. Reda Taha, Time-dependent reliability analysis of masonry panels under high permanent compressive stresses, 11th Canadian Masonry Symposium, Toronto, Ontario, May 31-June 3, (2009).