



Thí nghiệm ảnh hưởng của sợi và sợi hỗn hợp đến một số tính chất cơ học của bê tông tính năng cao

Experimental study on the effect of fibers and hybrid fibers on mechanical properties of high-performance concrete

Vũ Hiếu Phương^{1,2}, Lê Hoàng An^{1,2*}

¹ Viện Kinh tế và Phát triển Giao thông Vận tải, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

² Nhóm nghiên cứu SDCT, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Từ khóa:

TÓM TẮT

HPC

Cốt sợi

Sợi hỗn hợp

Bài báo này khảo sát ảnh hưởng của các loại sợi gia cường gồm sợi thép thẳng và sợi polypropylene, đến các đặc tính cơ học cơ bản của bê tông tính năng cao (High-performance concrete - HPC) bao gồm cường độ chịu nén và uốn. Kết quả thí nghiệm cho thấy, tất cả các mẫu HPC gia cường sợi đều đạt cường độ chịu nén và uốn cao hơn nhiều so với mẫu không sợi. Ngoài ra, mẫu HPC chứa 2% sợi thép đã tăng cường độ nén lên đến 25.7% và cường độ chịu uốn tăng 147%, trong khi mẫu phối trộn 1.75% sợi thép và 0.25% sợi polypropylene đạt mức tăng cao nhất với 26.5% về cường độ nén và 169% về cường độ chịu uốn. Bên cạnh đó, các mẫu HPC có sợi còn thể hiện khả năng kiểm soát vết nứt cao, với các vết nứt nhỏ và ít lan rộng. Các kết quả từ nghiên cứu này có thể được tham khảo để thiết kế cấp phối HPC gia cường các loại sợi phù hợp với điều kiện thực tế.

Keywords:

ABSTRACT

HPC

Fibers

Hybrid Fibers

This study investigates the effects of different types of reinforcing fibres, including micro straight steel and polypropylene fibres, on the mechanical properties of HPC including compressive strength and flexural strength. The test results show that all fibres-reinforced concrete samples achieved higher compressive and flexural strength than the control sample without fibres. Furthermore, the concrete sample containing 2% steel fibres exhibited a 25.7% increase in compressive strength and a 147% increase in flexural strength, while the mixture with 1.75% steel fibres and 0.25% polypropylene fibres showed the highest improvements, with compressive strength increasing by 26.5% and flexural strength by 169%. Additionally, fibre-reinforced samples demonstrated superior crack control, with more minor and less extensive cracks. The findings of this study can be used as a reference for designing HPC mix proportions, which are suitable for practical applications.

* Lê Hoàng An. Viện Kinh tế và phát triển giao thông vận tải, Nhóm nghiên cứu SDCT, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Email: hoangan.le@ut.edu.vn

<https://www.doi.org/10.55228/JTST140405>

Ngày nhận bài: 23/05/2025; Ngày nhận bài sửa: 16/06/2025; Ngày chấp nhận đăng: 26/06/2025

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/7/2025

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

1. Đặt vấn đề

Ngày nay, việc sử dụng các loại sợi gia cường như sợi thép, sợi tổng hợp (polypropylene, polyvinyl alcohol) và sợi tự nhiên (basalt, cellulose) trong bê tông đang được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi, do cải thiện tốt các đặc tính cơ học của vật liệu [1]. Các loại sợi này khi được phân tán đồng đều trong nền xi măng có khả năng kiểm soát sự hình thành và lan truyền của các vết nứt vi mô, nâng cao cường độ chịu kéo-uốn, cải thiện khả năng hấp thụ năng lượng và tăng cường ứng xử cơ học của bê tông dưới tác dụng của các tải trọng khác nhau [2]. Đây là yếu tố đặc biệt cần thiết đối với bê tông tính năng cao (High-Performance Concrete - HPC) và bê tông tính năng siêu cao (Ultra-High-Performance Concrete - UHPC), vốn có cường độ chịu nén rất lớn cho nên dễ bị phá hoại giòn. Đặc tính giòn này làm giảm sức kháng kéo-uốn, dẫn đến phát triển nhanh các vết nứt, làm giảm tuổi thọ và độ bền của công trình [3]. Nhằm cải thiện đặc tính giòn và khả năng kiểm soát vết nứt của bê tông HPC và UHPC, việc ứng dụng sợi gia cường đang trở thành hướng nghiên cứu được chú trọng trong thời gian gần đây.

Wang và cộng sự [4] đã sử dụng phương pháp phát xạ âm (Acoustic Emission) để theo dõi hư hỏng trong UHPC dưới tải trọng kéo trực tiếp. Kết quả cho thấy UHPC có thể tạo ra vết nứt vi mô trong giai đoạn biến dạng cứng, cải thiện khả năng chịu lực và kiểm soát vết nứt. Heweidak và cộng sự [5] nghiên cứu ảnh hưởng của sợi bazan với chiều dài khác nhau đến tính chất cơ học của bê tông. Kết quả cho thấy phối trộn sợi bazan dài và ngắn giúp tăng khả năng chịu kéo và độ dẻo dai của bê tông. Johnson và cộng sự [6] cho thấy, việc phối trộn sợi bazan với chiều dài khác nhau giúp tăng đáng kể khả năng chịu kéo và tăng cường độ dẻo dai của bê tông. Trong đó, M. Tawfik và cộng sự [7] nghiên cứu ảnh hưởng của sợi thép và sợi polypropylene đến cường độ chịu kéo và chịu nén của bê tông. Kết quả cho thấy việc sử dụng sợi hỗn hợp giúp tăng cường đáng kể cường độ nén và chịu kéo so với mẫu đối chứng. Trong khi đó, Nghiên cứu của Mohebi và cộng sự [8] đã khảo sát ảnh hưởng của sợi polypropylene đến khả năng bám dính giữa cốt thép và bê tông cường độ cao. Kết quả cho thấy việc bổ sung sợi polypropylene giúp cải thiện độ bám dính, giảm độ trượt của cốt thép và tăng khả năng chịu tải trọng của bê tông. Gần đây, phương pháp phối trộn

nhiều loại sợi (Hybrid fibers) đang được nghiên cứu nhằm tối ưu tính chất cơ học của bê tông, giúp kiểm soát vết nứt, tăng khả năng chịu kéo và độ dẻo dai. Ngoài nghiên cứu các sợi truyền thống, Rahimi và cộng sự [9] cho thấy sợi lanh qua xử lý kiềm có khả năng giảm sự co ngót của bê tông HPC (giảm 26%) mà vẫn duy trì tính lưu động và cải thiện sức chịu nén và uốn (tăng 17%), mang lại một giải pháp xanh cho bê tông bền vững. Aref Abadel và cộng sự [10] cho thấy UHPC gia cường bằng sợi carbon giúp tăng khả năng chịu tải trọng cắt của dầm (tăng 185%). Những nghiên cứu này cho thấy hiệu quả lớn của sợi và sợi hỗn hợp trong nâng cao chất lượng bê tông.

Tại Việt Nam với đặc trưng có khí hậu nhiệt đới gió mùa với biên độ nhiệt lớn, độ ẩm cao vào mùa mưa thường kéo dài, trong khi vào mùa hè nắng nóng mạnh, gây ra hàng loạt tác động lớn đến công trình đặc biệt là các kết cấu bê tông, như ăn mòn, co ngót nhiệt, nứt vỡ kết cấu, xâm thực. Các yếu tố này làm giảm lớn đến độ bền và tuổi thọ công trình. Hiện nay nhiều giải pháp được nghiên cứu nhằm hạn chế các tác động xấu này, một trong đó kỹ thuật phối trộn sợi trong HPC đang được đánh giá là một hướng tiếp cận hiệu quả nhằm tăng cường khả năng chịu kéo-uốn, kiểm soát vết nứt và nâng cao độ bền lâu dài. Tuy nhiên, các nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của loại và hàm lượng sợi phối trộn đến tính chất cơ học của bê tông còn hạn chế. Do đó, nghiên cứu này tập trung khảo sát hiệu quả của sợi gia cường từ đó hướng tới phát triển giải pháp vật liệu bền vững, thích ứng tốt với điều kiện khí hậu, góp phần kéo dài tuổi thọ và nâng cao hiệu suất công trình xây dựng.



Hình 1. Phụ gia và cốt sợi trong bê tông HPC. (a) Silicafume, (b) Phụ gia siêu dẻo ADVA, (c) Sợi thép thẳng (straight steel fibers), (d) Sợi tổng hợp (polypropylenen fibers).

2. Phương pháp thí nghiệm

2.1. Vật liệu

Vật liệu đầu vào chế tạo HPC bao gồm xi măng, cốt liệu, phụ gia khoáng và sợi gia cường được lựa chọn để nâng cao cường độ, độ bền và khả năng thi công (Hình 1). Trong đó, xi măng được sử dụng là loại PCB40 chứa clinker, gypsum và các phụ gia khoáng, giúp nâng cao độ bền, khả năng chịu lực và đáp ứng tiêu chuẩn xây dựng ASTM C150 [11]. Cốt liệu sử dụng trong bê tông bao gồm cát và đá dăm, đóng vai trò quan trọng trong việc tạo kết cấu ổn định và đảm bảo chất lượng theo tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 [12]. Cát được khai thác từ mỏ vật liệu trên địa bàn tỉnh Đắk Lắk, có thành phần hạt sạch, đường kính trung bình khoảng 0,5 mm, là loại cát tự nhiên giàu silic giúp cải thiện khả năng làm việc của bê tông. Đá dăm có kích thước 10×20 mm, từ mỏ vật liệu trên địa bàn tỉnh Đắk Lắk, đảm bảo độ sạch và khả năng chịu lực, đáp ứng các yêu cầu tiêu chuẩn trên. Để tăng độ bền và khả năng chống thấm, silicafume được bổ sung. Đồng thời, phụ gia siêu dẻo ADVA Cast 5388V (của Grace) giúp giảm nước trộn nhưng vẫn duy trì độ chảy của bê tông. Đây là phụ gia giảm nước tầm cao gốc Polymer, phù hợp cho bê tông cường độ cao, đáp ứng tiêu chuẩn ASTM C494 loại F [13] và BS 5075: Part 3:1985 [14]. Thực nghiệm sử dụng hai loại cốt sợi gia cường trong thí nghiệm gồm sợi thép thẳng và sợi tổng hợp polypropylene. Trong đó, sợi thép thẳng có đường kính 0.2 ± 0.02 mm, chiều dài 13 ± 2 mm, cường độ chịu kéo 2850 MPa, nhập khẩu từ Trung Quốc. Và sợi tổng hợp (Grace MicroFiber) được sản xuất từ polypropylene, có đường kính trung bình 22 μ m, chiều dài 19 mm và cường độ chịu kéo 42 MPa, các loại sợi đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật theo tiêu chuẩn TCVN 12393:2018 về bê tông cốt sợi [15].

2.2. Lựa chọn cấp phối

Thiết kế cấp phối HPC yêu cầu tối ưu vật liệu đầu vào để đảm bảo cường độ chịu nén, tính công tác và độ bền lâu dài. Một số nghiên cứu cho thấy việc sử dụng cốt liệu có cấp phối gián đoạn kết hợp với phụ

gia khoáng như tro trấu, xỉ lò cao và silica fume có thể cải thiện tính cơ học của bê tông, đặc biệt là khả năng chịu lực và chống nứt [16]. Theo Ngô Văn Toàn và Nguyễn Thị Thúy Hằng [16,17] việc duy trì tỷ lệ nước/chất kết dính (N/CKD) trong khoảng 0.3 – 0.35 giúp cân bằng giữa tính công tác và cường độ chịu nén. Thực nghiệm cho thấy bê tông với tỷ lệ này đạt cường độ nén trên 60 MPa sau 28 ngày, đáp ứng yêu cầu HPC trong thực tế. Dựa trên tổng hợp các nghiên cứu trước đây, cấp phối HPC trong nghiên cứu này được thiết kế dựa trên các kết quả nghiên cứu đã công bố [16-22].

Thành phần cấp phối cho một mẻ trộn 60 lít được thể hiện ở Bảng 1 và điều chỉnh thông qua thực nghiệm. Các mẫu thí nghiệm được thiết kế với tỷ lệ sợi khác nhau để phân tích tác động của từng loại sợi đến cường độ chịu nén, uốn và khả năng kiểm soát vết nứt trong đó các mẫu như sau:

- Mẫu CP-DC: Mẫu đối chứng không chứa sợi;
- Mẫu CP-A: Chứa 2% sợi thép thẳng (Straight Steel Fiber - SF);
- Mẫu CP-B: Kết hợp 1.5% sợi SF và 0.5% sợi tổng hợp (Polypropylene - PP);
- Mẫu CP-C: Kết hợp 1% SF và 1% sợi PP;
- Mẫu CP-D: Chứa 1.75% sợi SF và 0.25% sợi PP;
- Mẫu CP-E: Chứa 1.25% sợi SF và 0.75% sợi PP.

Qua các mẫu thí nghiệm với tỷ lệ sợi khác nhau, nghiên cứu nhằm đánh giá ảnh hưởng của sợi đến cường độ chịu nén, khả năng kiểm soát vết nứt của mẫu HPC. Hình 2 thể hiện các thành phần vật liệu chế tạo mẫu HPC với các tỷ lệ sợi khác nhau.

2.3. Quy trình trộn

Quy trình trộn HPC được thực hiện để đảm bảo tính đồng nhất và các đặc tính cơ học như Hình 3 Quy trình áp dụng cho cả HPC có và không có cốt sợi, bao gồm các bước chuẩn bị vật liệu, phối trộn, điều chỉnh độ ẩm và kiểm tra độ đồng đều trước khi đổ

khuôn, tuân thủ theo tiêu chuẩn kỹ thuật bê tông tự lèn TCVN 12209:2018 [23] và TCVN 12632:2020 [24]. Các vật liệu được thực hiện đúng cấp phối, cốt liệu mịn và thô được trộn khô trong 5 phút, sau đó xi măng và silicafume được bổ sung và trộn chậm trong 5 phút để đảm bảo đồng nhất. Sau giai đoạn trộn khô, nước và phụ gia siêu dẻo được bổ sung từng phần để điều chỉnh độ ẩm. Khoảng 50% lượng nước cùng phụ gia được thêm vào trước, trộn chậm trong 3 phút để vật liệu hấp thụ.

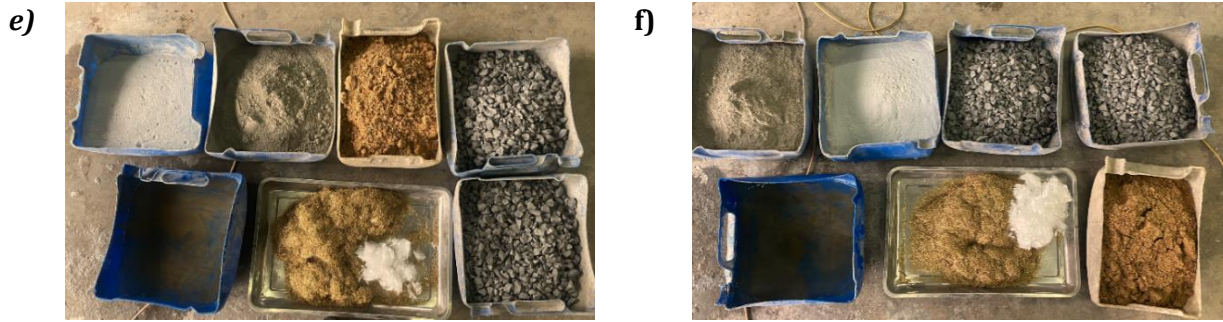
Lượng nước và phụ gia còn lại được cấp dần trong 5 phút tiếp theo, đồng thời tăng tốc độ trộn

khi phụ gia siêu dẻo bắt đầu phát huy tác dụng (có hiện tượng vón cục). Với HPC có cốt sợi, sau khi hỗn hợp đạt trạng thái dẻo, sợi thép được bổ sung từ từ trong 3-5 phút, kết hợp điều chỉnh tốc độ quay của máy trộn để phân bố đồng đều trong nền xi măng. Sau đó, hỗn hợp tiếp tục trộn thêm 5 phút nhằm tăng liên kết giữa cốt sợi và vật liệu. Sau cùng, hỗn hợp bê tông được kiểm tra độ sụt trước khi đổ khuôn và bảo dưỡng theo tiêu chuẩn. Trong đó, mẫu bê tông được bảo dưỡng theo TCVN 3105:2022 [25], giữ ẩm ($\geq 90\%$) ở $20 \pm 2^\circ\text{C}$ trong 24 giờ. Tổng thời gian trộn đối với HPC không sợi khoảng 15-20 phút, trong khi HPC có cốt sợi kéo dài khoảng 20 phút do yêu cầu phân tán đồng đều của sợi gia cường.

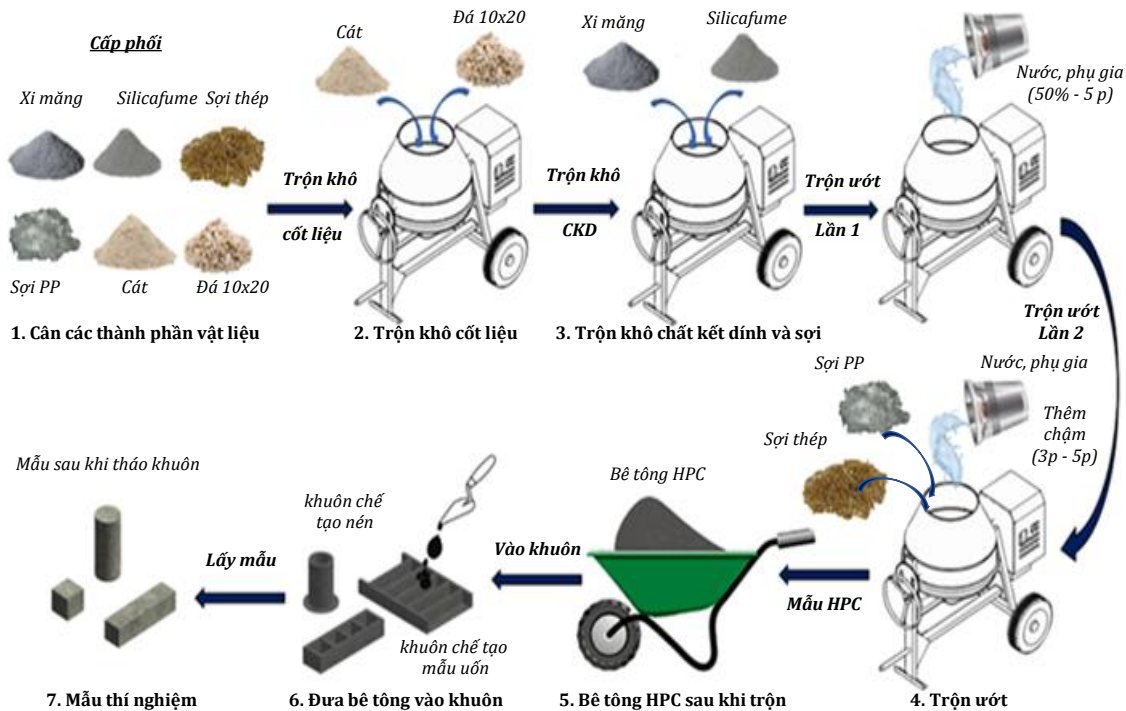
Bảng 1. Thành phần vật liệu trong cấp phối HPC (một mẻ trộn 60 lít).

Loại cốt liệu	CP-DC (Không sợi)	CP-A (2% SF)	CP-B (1.5% SF 0.5% PP)	CP-C (1% SP 1% PP)	CP-D (1.75%SF 0.25% PP)	CP-E (1.25% SF 0.75% PP)
Xi măng PCB40 [kg]	11.33	11.15	11.15	11.15	11.15	11.15
Silicafume	1.98	1.97	1.97	1.97	1.97	1.97
Nước [kg]	3.85	3.72	3.72	3.72	3.72	3.72
Đá 10x20mm [kg]	30.80	30.17	30.17	30.17	30.17	30.17
Cát [kg]	17.60	17.30	17.30	17.30	17.30	17.30
Phụ gia siêu dẻo [kg]	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Sợi thép [kg]	-	3.74	2.80	1.87	3.27	2.34
Sợi PP [kg]	-	-	0.11	0.22	0.05	0.16
N/CKD	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28





Hình 2. Thành phần vật liệu các mẫu HPC. (a) Thành phần mẫu CP-DC (Đối chứng), (b) Thành phần mẫu CP-A (2% SF), (c) Thành phần mẫu CP-B (1.5% SF, 0.5% PP), (d) Thành phần mẫu CP-C (1% SF, 1% PP), (e) Thành phần mẫu CP-D (1.75% SF, 0.25% PP), (f) Thành phần mẫu CP-E (1.25% SF, 0.75% PP).

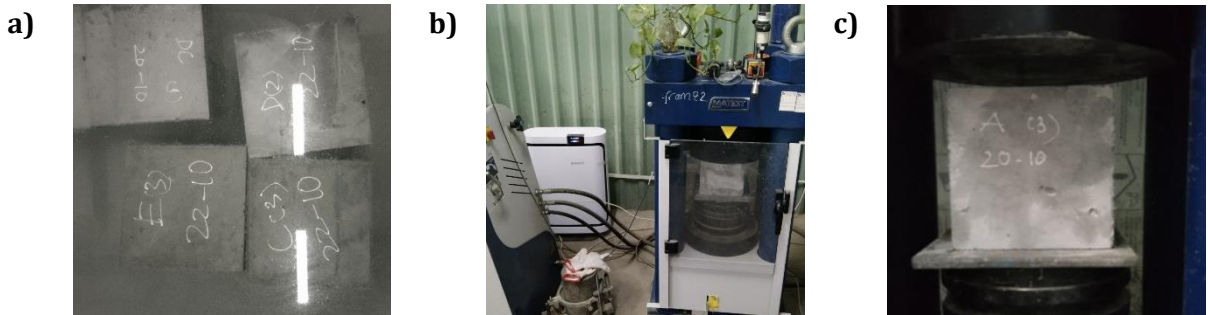


Hình 3. Sơ đồ quy trình trộn HPC.

2.4. Thí nghiệm xác định đặc tính cơ học

Cường độ nén được xác định theo TCVN 3118:2022 [26], sử dụng mẫu lập phương kích thước 15×15×15 cm, với tốc độ gia tải 0.2 MPa/s. Trong quá trình thí nghiệm, bề mặt mẫu sau khi phá hủy được quan sát để đánh giá biến dạng nứt, cơ chế phá hoại và mức độ tương tác giữa cốt sợi và bê

tông. Thí nghiệm uốn được thực hiện theo TCVN 5596:2022 [27], sử dụng mẫu có kích thước 100×100×400 mm, với tốc độ gia tải 0.05 MPa/s (Hình 4). Các mẫu nén và uốn được kiểm tra ở 7 ngày (sớm) và 28 ngày (tiêu chuẩn), nhằm đánh sự phát triển cường độ và cường độ nén, uốn của các mẫu.





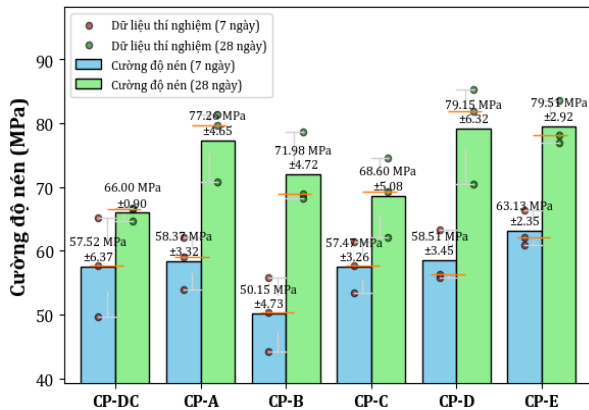
Hình 4. Quá trình nén và uốn mẫu HPC. (a) Bảo dưỡng mẫu HPC, (b) Gia tải nén, (c) Mẫu nén, (d) Cấp gia tải, (e) Gia tải uốn, (f) Mẫu uốn.

Bảng 2. Kết quả cường độ chịu nén mẫu HPC.

Mẫu	Thành phần sợi	Cường độ nén 7 ngày (MPa)	Cường độ nén 28 ngày (MPa)	Cường độ uốn 7 ngày (MPa)	Cường độ uốn 28 ngày (MPa)
CP-DC1		57.71	64.73	2.17	3.99
CP-DC2	Không sợi	65.22	66.60	2.19	4.19
CP-DC3		49.63	66.67	2.11	4.03
CP-A1		62.09	81.33	2.38	9.13
CP-A2	2%SF	54.02	79.70	2.52	8.27
CP-A3		58.99	70.76	2.31	8.45
CP-B1		50.32	68.99	4.09	8.23
CP-B2	1.5%SF, 0.5%PP	44.28	78.65	3.60	10.33
CP-B3		55.86	68.30	3.56	9.55
CP-C1		61.36	74.46	3.21	6.66
CP-C2	1%SF, 1%PP	57.67	62.08	2.89	7.43
CP-C3		53.38	69.25	3.11	6.35
CP-D1		63.37	81.88	5.37	10.92
CP-D2	1.75%SF, 0.25%PP	56.40	70.42	5.53	10.63
CP-D3		55.76	85.16	5.26	11.26
CP-E1		60.90	78.10	4.69	9.53
CP-E2	1.25%SF, 0.75%PP	66.38	76.86	4.74	10.53
CP-E3		62.12	83.57	4.83	10.16

3. Kết quả và thảo luận

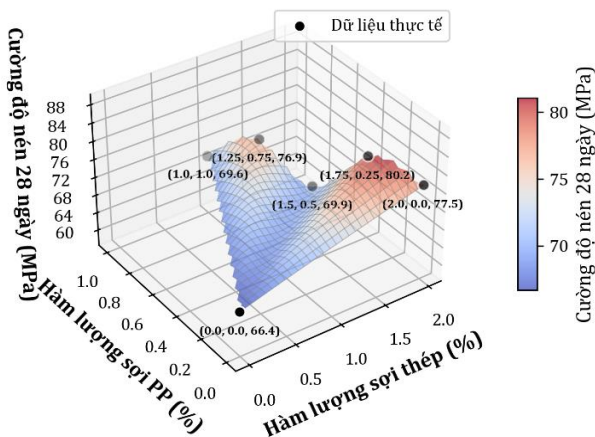
3.1. Ảnh hưởng tới cường độ nén, uốn



Hình 5. Kết quả cường độ nén.

Kết quả thí nghiệm cho thấy mẫu đối chứng CP-DC (không sợi) có cường độ nén 28 ngày đạt 66.00 Mpa (Bảng 2). Tất cả các mẫu có sợi đều đạt cường độ nén cao hơn mẫu không sợi sau 28 ngày. Hình 5 cho thấy hưởng của việc thay đổi hàm lượng và tỷ lệ phối trộn sợi. Các mẫu phối trộn giữa sợi SF và sợi PP cho kết quả cường độ nén khác nhau:

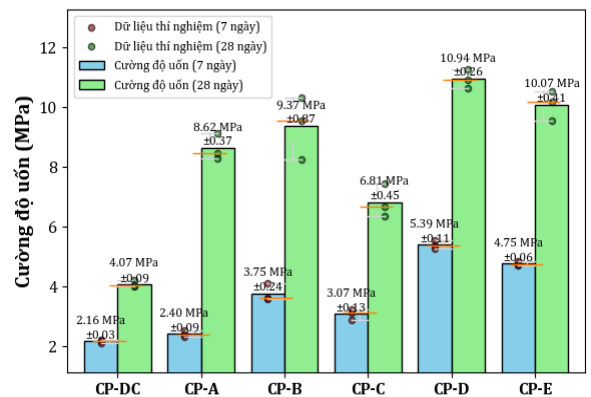
- CP-A (2% SF): 77.26 MPa (+17.2%);
- CP-B (1.5% SF, 0.5% PP): 71.98 MPa (+9.1%);
- CP-C (1% SF, 1% PP): 68.60 MPa (+4.0%). – thấp nhất trong mẫu có sợi;
- CP-D (1.75% SF, 0.25% PP): 79.15 MPa (+19.8%);
- CP-E (1.25% SF, 0.75% PP): 79.51 MPa (+20.5%) – cao nhất trong mẫu có sợi.



Hình 6. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi đến cường độ nén.

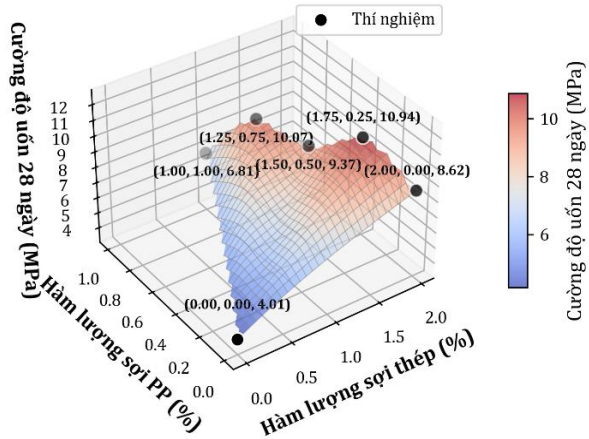
Hình 6 cho thấy mẫu có tỷ lệ sợi thép từ 1.75% đến 2% cho thấy hiệu quả gia cường cao. Trong khi đó, sợi PP ảnh hưởng không ổn định đến cường độ – khi dùng ở tỷ lệ cao có thể làm giảm hiệu quả, do lượng sợi vượt ngưỡng tối ưu có thể làm rối cấu trúc vi mô, tạo nên sự mất liên kết và giảm mật độ nén chặt của vật liệu, dẫn đến giảm cường độ nén, nhưng với tỷ lệ phù hợp (như ở CP-D), vẫn góp phần cải thiện đáng kể và ổn định khả năng chịu lực của bê tông.

Sự phát triển cường độ chịu nén của bê tông HPC từ 7 đến 28 ngày cho thấy mức tăng từ 14.74% đến 43.53%, tùy thuộc vào loại sợi gia cường. Mẫu CP-DC (không sợi) có mức tăng 14.74%. Trong đó mẫu CP-B (1.5% SF, 0.5% PP) có mức tăng cao nhất (43.53%), đạt 71.98 MPa. Mẫu CP-D (1.75% SF, 0.25% PP) đạt cường độ nén cao nhất 79.15 MPa, tăng 35.28%.



Hình 7. Kết quả cường độ uốn.

Kết quả thử nghiệm cho thấy việc sử dụng sợi gia cường làm tăng cao cường độ uốn của HPC (Hình 7). Mẫu đối chứng CP-DC (không sợi) chỉ đạt 4.07 MPa sau 28 ngày. Trong khi đó, các mẫu có sợi cho thấy giá trị cải thiện nhiều, với mẫu CP-B (1.5% SF, 0.5% PP) đạt 9.37 MPa, CP-E (1.25% SF, 0.75% PP) đạt 10.07 MPa, và nổi bật mẫu CP-D (1.75% SF, 0.25% PP) đạt 10.94 MPa, có cường độ uốn cao nhất (Hình 8). Như vậy kết hợp giữa sợi thép và sợi PP có hiệu quả cao để tăng cường khả năng chịu uốn của bê tông. Sự phát triển cường độ uốn của các mẫu HPC cũng tăng cao từ 7 đến 28 ngày tuổi. Mức tăng này ở các mẫu có sợi dao động trong khoảng 88% đến 112%, trong khi mẫu CP-DC tăng khoảng 88%.



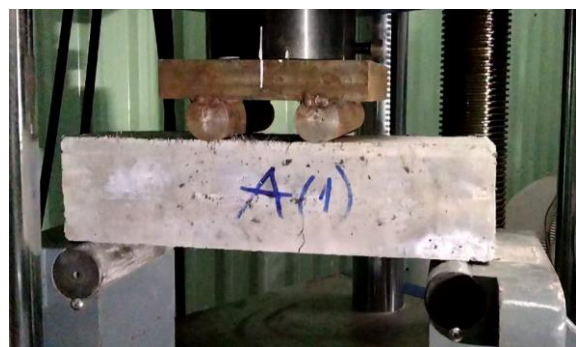
Hình 8. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi đến cường độ uốn.

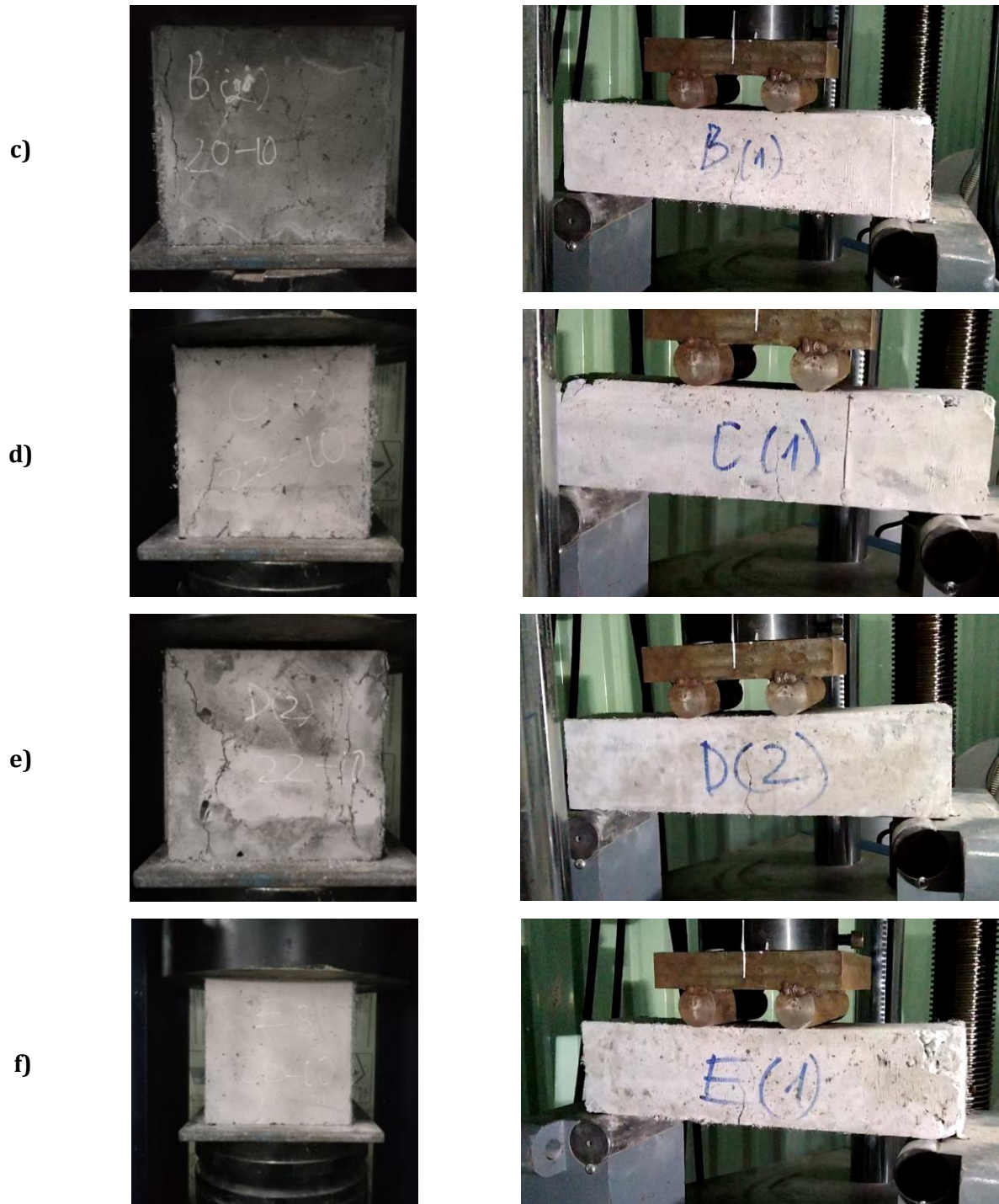
3.2. Vết nứt

Trong quá trình thí nghiệm nén và uốn vết nứt được ghi nhận ngay sau khi mẫu vượt qua giai đoạn đàn hồi, nhận thấy sự khác biệt về hình thái vết nứt giữa các mẫu bê tông HPC. Hình 9 cho thấy dưới tải trọng nén, mẫu CP-DC xuất hiện các vết nứt lớn, kéo dài theo phương thẳng đứng, dẫn đến phá hoại giòn và mất hoàn toàn khả năng chịu lực. Ngược lại, mẫu CP-A (2% SF) cho thấy vết nứt nhỏ hơn, phân bố đều và lan rộng hạn chế, nhờ sợi thép giúp hạn chế quá trình lan truyền nứt. Các mẫu kết hợp sợi, như CP-B (1.5% SF, 0.5% PP) và CP-C (1% SF, 1% PP), xuất hiện các vết nứt nhỏ và ngắn hơn so với CP-DC, tuy

nhiên sự khác biệt về hình thái vết nứt giữa hai mẫu theo hàm lượng của sợi PP, khi tăng sợi PP, vết nứt có xu hướng nhỏ hơn phân bố không đều. Mẫu CP-D (1.75% SF, 0.25% PP) cho thấy khả năng kiểm soát nứt tốt, với các vết nứt mảnh, rải rác và không tập trung, giữ được cấu trúc tốt. Trong khi đó, CP-E (1.25% SF, 0.75% PP) vết nứt mở rộng hơn so với CP-D, cho thấy hạn chế của sợi PP khi sử dụng với hàm lượng cao.

Dưới tải trọng uốn, mẫu CP-DC bị phá hủy hoàn toàn tại vùng chịu kéo, với vết nứt lớn và gãy rời tiết diện, biểu hiện rõ tính chất giòn. Trong khi đó, mẫu CP-A không bị đứt gãy hoàn toàn, vết nứt được kìm hãm, cho thấy sợi thép phát huy tốt vai trò neo giữ và phân tán ứng suất. Các mẫu kết hợp sợi như CP-B và CP-C cho thấy khả năng kiểm soát nứt tốt hơn CP-DC. Đặc biệt, mẫu CP-D cho thấy hiệu quả cao vết nứt nhỏ, không làm mất liên kết, cho thấy khả năng kháng uốn cao. Mẫu CP-E cũng không bị phá hủy hoàn toàn, nhưng mức độ kiểm soát nứt kém hơn so với CP-D. Do đó, sợi thép đóng vai trò chính trong việc giảm thiểu lan truyền nứt và tăng khả năng chịu lực, đặc biệt dưới uốn. Trong khi đó, sợi PP hỗ trợ hiệu quả trong việc phân tán ứng suất và kiểm soát nứt vi mô. Sự kết hợp hợp lý giữa hai loại sợi, như ở mẫu CP-D, giúp nâng cao cả cường độ cơ học và khả năng ổn định vết nứt, mang lại hiệu quả toàn diện cho HPC.





Hình 9. Kết quả hình thái vết nứt của mẫu nén và uốn. (a) CP-DC (Không sợi), (b) CP-A (2% SF), (c) CP-B (1.5% SF, 0.5% PP), (d) CP-C (1% SF, 1% PP), (e) CP-D (1.75% SF, 0.25% PP), (f) CP-E (1.25% SF, 0.75% PP).

4. Kết luận

Từ kết quả thí nghiệm, có thể rút ra một số nhận định về ảnh hưởng của sợi gia cường đến đặc tính cơ học của HPC như sau:

(i) Tính năng cơ học của HPC sử dụng cốt liệu đạt yêu cầu cao về cường độ, đặc biệt là khi kết hợp xi măng mác cao và phụ gia khoáng (silicafume) cùng phụ gia siêu dẻo. So với mẫu HPC không sợi, mẫu HPC chứa 2% sợi thép đã tăng cường độ nén lên đến 25.7% và cường độ chịu uốn tăng 147%, trong khi mẫu phối trộn 1.75% sợi thép và 0.25% sợi polypropylene đạt mức tăng cao nhất với 26.5% về cường độ nén và 169% về cường độ chịu uốn.

(ii) Bổ sung cốt sợi (sợi thép, sợi tổng hợp hoặc phối trộn các loại sợi) cho phép cải thiện cường độ chịu nén, uốn và giảm mạnh hiện tượng phá hoại giòn.

(iii) Sợi thép đóng vai trò chính trong việc tăng cường độ chịu nén và kiểm soát vết nứt, trong khi sợi Polypropylene ảnh hưởng không đồng nhất, hỗ trợ khả năng kiểm soát vết nứt nhưng có thể làm giảm cường độ chịu nén khi sử dụng với hàm lượng cao.

(iv) Sự kết hợp giữa sợi thép và sợi Polypropylene giúp tăng cao cường độ chịu nén và kiểm soát vết nứt hiệu quả, hạn chế hiện tượng phá hủy giòn của HPC.

(v) Các kết quả nghiên cứu cho thấy tiềm năng ứng dụng rộng rãi HPC có sợi cho các kết cấu yêu cầu cao về khả năng chịu tải và độ bền.

Đóng góp của các tác giả trong bài báo

Lê Hoàng An: Phương pháp, Quản lý dữ liệu, Phân tích chính thức, Điều tra, Xác thực, Trực quan hóa, Tiếp nhận tài trợ, Phản hồi ý kiến phản biện, Viết – bản thảo gốc. **Vũ Hiếu Phương:** Quản lý dữ liệu, Phân tích chính thức, Điều tra, Xác thực, Trực quan hóa, Tiếp nhận tài trợ, Phản hồi ý kiến phản biện, Viết bản thảo gốc

Tuyên bố không xung đột lợi ích và cam kết bản quyền

Các tác giả tuyên bố về sự không xuất hiện những xung đột tiềm ẩn từ nghiên cứu này, và cam kết bài báo chưa từng được công bố trước đây.

Chia sẻ dữ liệu theo yêu cầu

Dữ liệu sẽ được cung cấp theo yêu cầu.

Lời cảm ơn

Các tác giả của bài báo xin cảm ơn sự tài trợ của đề tài khoa học và công nghệ cấp tỉnh Đắk Lắk: “Nghiên cứu sử dụng bê tông tính năng cao gia cường cốt sợi để chế tạo tấm chắn rác, nắp hố ga, và bó vỉa hoa văn trên địa bàn tỉnh Đắk Lắk”, theo hợp đồng số 310/HĐ-SKHCN.

1st Vũ Hiếu Phương. *Viện Kinh tế và Phát triển Giao thông Vận tải, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh. Nhóm nghiên cứu SDCT, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh*

2nd Lê Hoàng An*. *Viện Kinh tế và Phát triển Giao thông Vận tải, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh. Nhóm nghiên cứu SDCT, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh*

*Corresponding author: hoangan.le@ut.edu.vn

Tài liệu tham khảo

- [1] E. Fehling, M. Schmidt, J. Walraven, M. M. P. Meier, M. F. G. N. van Zijl, and S. Fröhlich, Ultra-High Performance Concrete UHPC: Fundamentals, Design, Examples, 2015, doi: 10.1002/9783433604076
- [2] I. L. Larsen and R. T. Thorstensen, "The influence of steel fibres on compressive and tensile strength of ultra high performance concrete: A review," *Construction and Building Materials*, vol. 262, p. 119459, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119459>
- [3] M. Heweidak, B. Kafle, and R. Al-Ameri, "Influence of Hybrid Basalt Fibres' Length on Fresh and Mechanical Properties of Self-Compacted Ambient-Cured Geopolymer Concrete," *Journal of Composites Science*, vol. 6, no. 10, p. 292, 2022, <https://doi.org/10.3390/jcs6100292>
- [4] J. Y. Wang and J. Y. Guo, "Damage investigation of ultra high performance concrete under direct tensile test using acoustic emission techniques," *Cement and Concrete Composites*, vol. 89, pp. 190-200, 2018, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2018.01.007
- [5] Heweidak, M., Kafle, B., & Al-Ameri, R. (2022). Influence of Hybrid Basalt Fibres' Length on Fresh and Mechanical Properties of Self-Compacted Ambient-Cured Geopolymer Concrete. *Journal of Composites Science*, 6(10), 292. <https://www.mdpi.com/2504-477X/6/10/292>
- [6] J. Johnson, S. Eswari, and R. Saravana, "Influence of hybrid basalt fibre with varied length on the mechanical properties of normal and high strength

- concrete," *Research on Engineering Structures & Materials*, 11(2): 679-696, 2025, <http://dx.doi.org/10.17515/resm2024.239me0413rs>
- [7] M. Tawfik, A. El-said, A. Deifalla, and A. Awad, "Mechanical Properties of Hybrid Steel-Polypropylene Fiber Reinforced High Strength Concrete Exposed to Various Temperatures," *Fibers*, vol. 10, no. 6, p. 53, Jun. 2022, <https://doi.org/10.3390/fib10060053>
- [8] Z. H. Mohebi, A. B. Bahnamiri, and M. Dehestani, "Effect of polypropylene fibers on bond performance of reinforcing bars in high strength concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 215, pp. 401-409, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.230
- [9] M. Rahimi, O. Hisseine, and A. Tagnit-Hamou, "Effectiveness of treated flax fibers in improving the early age behavior of high-performance concrete," *Journal of Building Engineering*, vol. 45, p. 103448, 2022, doi: 10.1016/j.jobbe.2021.103448
- [10] A. Abadel, H. Abbas, T. Almusallam, I. M. H. Alshaiikh, M. Khawaji, H. Alghamdi, and A. A. Salah, "Experimental study of shear behavior of CFRP strengthened ultra-high-performance fiber-reinforced concrete deep beams," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, e01103, Apr. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01103>
- [11] ASTM International, ASTM C150/C150M-22 - Standard Specification for Portland Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022.
- [12] Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam, TCVN 7570:2006 - Cốt liệu dùng cho bê tông và vữa xây dựng - Yêu cầu kỹ thuật, 2006.
- [13] ASTM International, ASTM C494/C494M-22 - Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022. (Type F - Water-Reducing Admixture Type F)
- [14] British Standards Institution, BS 5075-3:1985 - Specification for concrete admixtures — Part 3: Concrete plasticizers and superplasticizers, BSI, London, 1985.
- [15] Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam, TCVN 12393:2018 - Bê tông cốt sợi - Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử, 2018.
- [16] N. V. Toàn, "Nghiên cứu chế tạo bê tông cường độ cao sử dụng cốt liệu cấp phối gián đoạn với cát mịn," *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, vol. 41, no. 3, pp. 56-62, 2012. [Ngo Van Toan so3.pdf](http://www.ngo-van-toan.com.vn/Uploads/2012/03/56-62.pdf)
- [17] N. T. T. Hằng và M. H. Hà, "Thiết kế cấp phối bê tông cường độ cao sử dụng cốt liệu xỉ thép," *Tạp chí Xây dựng*, pp. 104-108, May 2022. Thiết kế cấp phối bê tông cường độ cao sử dụng cốt liệu xỉ thép
- [18] T. B. Việt và L. T. Hùng, "Nghiên cứu công nghệ bê tông siêu tính năng - UHPC, để áp dụng vào thực tế sản xuất tại Việt Nam," *Tạp chí Xây dựng*, số 09, 2021. <https://vjol.info.vn/index.php/tcxd/article/view/61414>
- [19] T. B. Việt và L. X. Lâm, "Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến các tính chất của bê tông tính năng siêu cao," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam*, vol. 2, no. 7, pp. 34-40, 2015. https://b.vjst.vn/index.php/ban_b/article/view/724
- [20] P. D. Hữu, P. T. Sang, P. D. Anh, và N. L. Kha, "Nghiên cứu vật liệu chế tạo bê tông cường độ siêu cao (UHPC)," *Tạp chí Giao thông Vận Tải*, Bộ Giao thông Vận tải, vol. 7, pp. 15-18, 2011.
- [21] N. Q. Phú, "Nghiên cứu chế tạo bê tông cường độ cao sử dụng phụ gia khoáng siêu mịn và cát hạt mịn," *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, pp. 93-97, Jun. 2017. <https://vjol.info.vn/index.php/DHTL/article/view/30981/26267>
- [22] N. Q. Phú, "Sử dụng cốt sợi thép và phụ gia khoáng siêu mịn để chế tạo bê tông chất lượng siêu cao," *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, no. 69, pp. 29-35, Jun. 2017. <https://scholar.dlu.edu.vn/thuvienso/bitstream/DLU123456789/133860/1/CVt64S692020029.pdf>
- [23] Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam, TCVN 12209:2018 - Bê tông tự lèn - Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử, 2018.
- [24] Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam, TCVN 12632:2020 - Bê tông tự lèn - Thi công và nghiệm thu, 2020.
- [25] Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam, TCVN 3105:2022 - Bê tông và vữa - Phương pháp bảo dưỡng mẫu, 2022.
- [26] Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam, TCVN 3118:2022 - Bê tông và vữa - Phương pháp xác định cường độ nén, 2022.
- [27] Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam, TCVN 5596:2022 - Bê tông và vữa - Phương pháp xác định cường độ uốn, 2022.