

# Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép đến sức kháng uốn của dầm bê tông tính năng siêu cao

Investigation of the influence of reinforcement ratio on the flexural capacity of ultra-high-performance concrete beams

> TS TRẦN VIỆT HƯNG

Trường Đại học Giao thông vận tải

Email: hungtv@utc.edu.vn

## TÓM TẮT

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu thực nghiệm các tính chất cơ học của bê tông tính năng siêu cao (UHPC) và ứng xử uốn của dầm bê tông tính năng siêu cao cốt thép. Tiến hành thí nghiệm uốn 4 điểm cho 6 dầm thí nghiệm với các hàm lượng cốt thép khác nhau cho đến khi phá hoại để xác định ứng xử uốn của các dầm. Kết quả thí nghiệm cho thấy rõ các giai đoạn chịu lực của dầm bê tông tính năng siêu cao cốt thép cho đến khi bị phá hoại.

**Từ khóa:** Bê tông tính năng siêu cao; UHPC; sợi thép; ứng xử uốn; sức kháng uốn; dầm.

## ABSTRACT

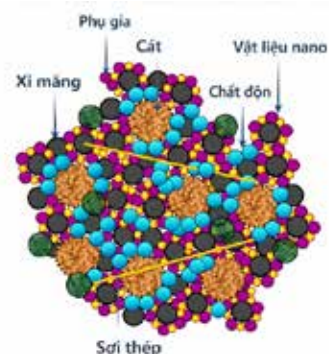
This paper presents the experimental results on the mechanical properties of ultra-high-performance concrete (UHPC) and the flexural behavior of reinforced UHPC beams. Four-point bending tests were conducted on six beam specimens with different reinforcement ratios until failure to evaluate their flexural response. The experimental results clearly reveal the load-carrying stages of the reinforced UHPC beams up to failure.

**Keywords:** Ultra-high-performance concrete; UHPC; Steel fiber; flexural behavior; flexural Resistance; beam.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông siêu tính năng (UHPC) là một loại bê tông không sử dụng cốt liệu thô nhằm tăng tính đồng nhất và duy trì khả năng liên kết giữa hồ xi măng và cốt liệu mịn. Với tỷ lệ nước/chất kết dính (w/b) rất thấp, UHPC cần sử dụng phụ gia siêu dẻo để đảm bảo tính công tác và tối ưu hóa quá trình phát triển vi cấu trúc.

Ngoài ra, các phụ gia khoáng siêu mịn như silica fume, tro bay và xi lò cao nghiền mịn được bổ sung nhằm tăng cường phản ứng pozzolan, đẩy nhanh quá trình thủy hóa sớm và lấp đầy các lỗ rỗng mao quản, từ đó cải thiện cường độ và độ bền của UHPC [1]. Các sợi thép phân tán đóng vai trò quan trọng trong việc cải thiện khả năng chịu kéo và uốn, đồng thời giảm co ngót, giúp UHPC chịu đựng tốt hơn trong các điều kiện làm việc khắc nghiệt [2, 3].



Hình 1. Cấu trúc thành phần của bê tông UHPC

Bê tông siêu tính năng (UHPC) hiện đã được sử dụng cho các công trình lớn trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Trên thế giới, cây cầu đường ô tô đầu tiên sử dụng bê tông UHPC là cầu Chuncheon Grand với chiều dài nhịp là 100 m, được hoàn thành xây dựng năm 2017. Cây cầu đường ô tô lớn nhất sử dụng bê tông UHPC cho kết cấu nhịp là cầu dây văng Goduck Grand có chiều dài nhịp chính là  $230+540+230 = 1.000$  m được hoàn thành xây dựng năm 2024 tại Hàn Quốc.

Tại Việt Nam, nghiên cứu và ứng dụng UHPC bắt đầu vào khoảng năm 2015. Các tổ chức như Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, cùng các doanh nghiệp tư nhân đã triển khai một số dự án nghiên cứu về công nghệ UHPC. Cho đến nay, hơn 26 cây cầu nhỏ sử dụng bê tông UHPC đã được xây dựng trên địa bàn 13 tỉnh, cho thấy tính khả thi và hiệu quả kinh tế của loại vật liệu này trong điều kiện thực tế của địa phương. Dự án lớn nhất sử dụng UHPC là sửa chữa mặt cầu Thăng Long đã hoàn thành 5 năm và đến nay cho thấy sự thành công của giải pháp công nghệ này.

Hiện có một số tiêu chuẩn của nước Hoa Kỳ, Pháp, châu Âu về UHPC và Việt Nam chưa có tiêu chuẩn về vật liệu này. Tuy đã có một số nghiên cứu và ứng dụng hạn chế ở Việt Nam do công nghệ phức tạp và chặt chẽ. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm về ứng xử uốn của dầm UHPC cốt thép để làm cơ sở từng bước đưa vật liệu này vào ứng dụng trong các kết cấu chịu lực công trình.

## 2. VẬT LIỆU VÀ CHẾ TẠO MẪU THỬ

### 2.1. Thành phần vật liệu và chế tạo mẫu thử cường độ

Xi măng sử dụng là loại xi măng PC40 thương hiệu Bút Sơn

phù hợp theo TCVN 2682:2009 [4]. Cốt liệu sử dụng trong đề tài là cát thạch anh. Cát thạch anh sử dụng gồm loại cát thạch anh thô có mô-đun độ lớn 1,67 và cát thạch anh mịn có mô-đun độ lớn 1,47. Các tính chất cơ lý của cát thạch anh xác định theo TCVN 7572:2006 [5]. Silica fume sử dụng đảm bảo theo TCVN 8827:2011 [6]. Sợi thép sử dụng trong nghiên cứu là sợi Dramix OL 13/0,2. Trong nghiên cứu sử dụng phụ gia siêu dẻo đảm bảo theo tiêu chuẩn.

Thành phần hỗn hợp bê tông UHPC thí nghiệm được thiết kế bao gồm các vật liệu có khối lượng tính sao cho đủ 1 m<sup>3</sup> thể tích bê tông, bao gồm:

Bảng 1. Thành phần và cường độ mẫu thử bê tông UHPC thí nghiệm

Thành phần UHPC	Khối lượng (kg)/m <sup>3</sup>
Cát	870
Xi măng PC40	780
Nước	178
Siêu dẻo	59
Sợi thép (19,5 mm)	78
Hỗn hợp chất độn	470
Cường độ chịu nén (MPa)	127,1
Cường độ kéo uốn (MPa)	16,9

Trộn UHPC là một quy trình phức tạp và có thể được chia thành hai phần. Đầu tiên là trộn phân bố, trạng thái của các hạt hỗn hợp được thay đổi bởi lực và vận tốc cắt thấp; thứ hai là trộn phân tán, sự kết tụ của các hạt hỗn hợp được phân tán bởi vận tốc cắt lớn. Trong một thể thống nhất, những hiệu ứng này được thể hiện về mặt lý thuyết là UHPC rất dễ chảy.

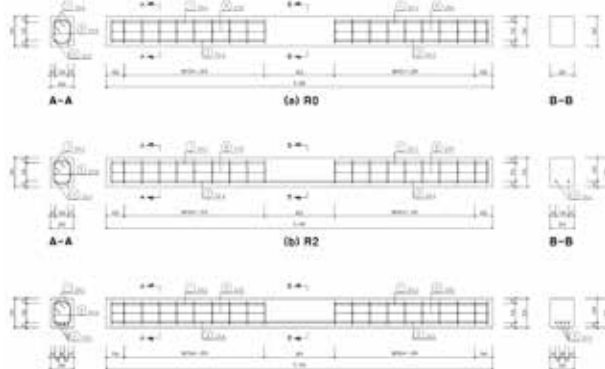


Hình 2. Mẫu bê tông thí nghiệm cường độ bê tông UHPC

Mẫu chế tạo để kiểm tra cường độ nén là mẫu trụ (100x200)mm, mẫu kiểm tra cường độ kéo uốn là mẫu hình lăng trụ (100x100x400)mm, các mẫu được chế tạo theo Tiêu chuẩn ASTM C192-02 [7]. Kết quả thí nghiệm được thể hiện trong Bảng 1.

### 2.2. Chế tạo mẫu dầm thí nghiệm

Các dầm thí nghiệm phải được thiết kế để phá hoại uốn khi đạt trạng thái giới hạn cực hạn. Mô hình thí nghiệm uốn với hai lực tập trung đối xứng (uốn bốn điểm). Tác giả đã chế tạo 6 mẫu dầm có tiết diện hình chữ nhật với kích thước: chiều cao 250 mm, chiều rộng 200 mm và chiều dài 3.300 mm (bao gồm 2 dầm cho mỗi loại R0, R2, R4 như dưới Hình 3).



Hình 3. Sơ đồ cấu tạo của 6 dầm thí nghiệm (kích thước mm)  
Cốt thép bố trí sử dụng cho dầm chịu uốn gồm:

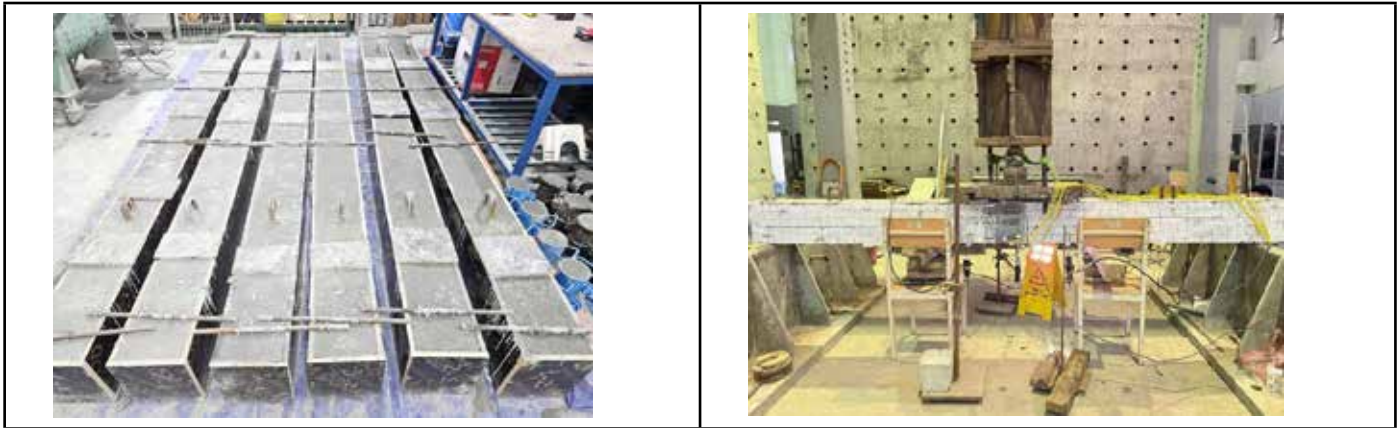
Cốt thép dọc chủ: Thép Việt Úc  $\Phi 14$  loại CB-400v có giới hạn chảy  $f_y = 400$  MPa.

Cốt thép đai: Thép Việt Úc  $\Phi 10$  loại CB-400v có giới hạn chảy  $f_y = 400$  MPa

Bảng 2. Thông số đầm thí nghiệm

STT	Ký hiệu đầm	Cường độ nén của bê tông	Cường độ chảy của cốt thép	Thanh cốt thép chịu kéo tại mặt cắt giữa đầm		Cốt thép đai		Diện tích cốt thép chịu kéo	Hàm lượng cốt thép chịu kéo
		$f_{ck}$ MPa	$f_y$ MPa	Số lượng	Loại	Loại	Khoảng cách (mm)	$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	$\rho$
1	R0-1	127	400	0	D14	D10	150	0	0
2	R0-2	127	400	0	D14	D10	150	0	0
3	R2-1	127	400	2	D14	D10	150	157,2	0,003144
4	R2-2	127	400	2	D14	D10	150	157,2	0,003144
5	R4-1	127	400	4	D14	D10	150	314,4	0,006288
6	R4-2	127	400	4	D14	D10	150	314,4	0,006288

Quá trình chế tạo mẫu đầm thí nghiệm thể hiện trên Hình 2. Các đầm sau khi được đúc trong khuôn sẽ được bảo dưỡng và chờ đến tuổi thí nghiệm ở 28 ngày. Sơ đồ gắn các thiết bị và bố trí thí nghiệm được thể hiện như Hình 4.

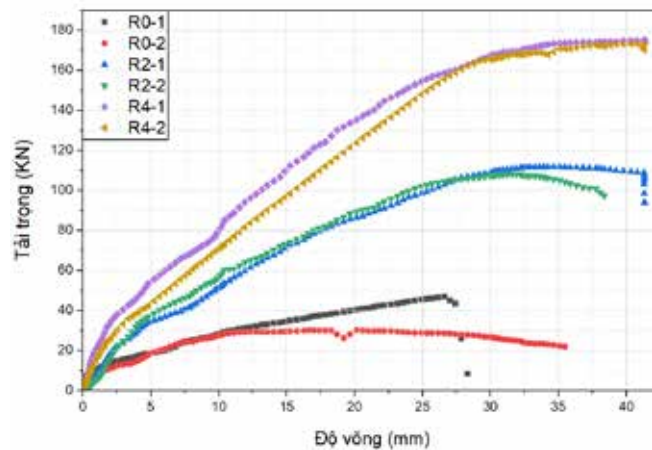


Hình 4. Chế tạo mẫu đầm thí nghiệm

### 3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

#### 3.1. Quan hệ tải trọng - độ võng của các đầm thí nghiệm

Số liệu kết quả thu thập được trong thí nghiệm về quan hệ tải trọng tác dụng lên đầm (kN) - độ võng tại mặt cắt giữa nhịp (mm) (P- $\Delta$ ) của tất cả 6 đầm thí nghiệm được thể hiện trên Hình 5.



Hình 5. Quan hệ tải trọng - độ võng của các đầm thí nghiệm

Kết quả trên Hình 5 cho thấy có sự phân biệt rõ 3 giai đoạn chịu lực của đầm thí nghiệm chịu uốn thuần túy dựa trên độ dốc của đường quan hệ tải trọng - độ võng. Khi chịu uốn trạng thái ứng suất biến dạng trên tiết diện thẳng góc của đầm bê tông cốt thép sử dụng bê tông UHPC cũng trải qua 3 giai đoạn gồm:

1. Giai đoạn chưa xuất hiện vết nứt: Quan hệ ứng suất-biến dạng cũng như quan hệ mô-men - độ cong là tuyến tính. Điểm kết thúc giai đoạn này là khi ứng suất ở thớ bê tông ngoài cùng đạt tới cường độ chịu kéo giới hạn.

2. Giai đoạn đã nứt: Sau khi vết nứt xuất hiện, các sợi thép trong bê tông UHPC làm cầu nối giữa các vết nứt, điều này làm cho phần tiết diện bê tông nằm trong vùng kéo dưới trục trung hòa có ứng suất kéo dư sau nứt đóng góp tạo nên sức kháng uốn của mặt cắt dầm.

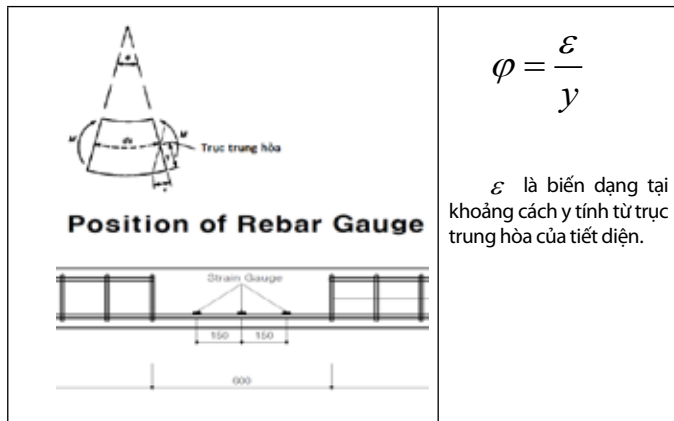
- Đối với 2 dầm ký hiệu R0-1 và R0-2 không có cốt thép dọc ở mặt cắt giữa dầm nên sau khi đã nứt, ứng suất kéo dư của các sợi thép sẽ làm cho giai đoạn này kéo dài tải trọng tác dụng lên dầm tăng lên không nhiều và sau khi các sợi thép này đứt hoặc tuột khỏi bê tông thì dầm bị gãy hoàn toàn.

- Đối với 4 dầm còn lại có cốt thép dọc chủ ở thớ dưới của dầm thì điểm kết thúc của giai đoạn này thường là khi ứng suất trong cốt thép dọc chịu kéo đạt tới cường độ chảy.

3. Giai đoạn phá hoại: Khi cốt thép dọc đã chảy vết nứt sẽ mở rộng nhanh, độ võng tăng nhanh, vùng bê tông chịu nén trên trục trung hòa thu hẹp lại và ứng suất nén trong bê tông sẽ tăng nhanh. Phá hoại có thể xảy ra từ vùng kéo hoặc đồng thời từ vùng kéo và vùng nén. Đối với 4 dầm có bố trí cốt thép chịu kéo thì các dầm đều bị phá hoại do cốt thép bị chảy dẻo.

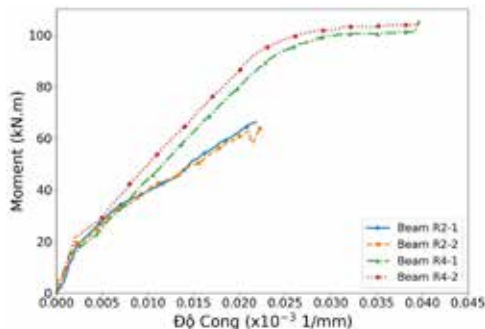
**3.2. Quan hệ mô-men - độ cong của các dầm thí nghiệm**

Độ cong  $\varphi$  được định nghĩa là sự thay đổi góc quay trên một đơn vị chiều dài đã biết [8] như trên Hình 6.



Hình 6. Độ cong của dầm thí nghiệm

Độ cong của dầm được tính thông qua kết quả đo biến dạng của cốt thép chịu kéo trên dầm khi thí nghiệm. Mô-men tại mặt cắt giữa nhịp được tính toán theo giá trị tải trọng tác dụng lên dầm. Đồng bộ hóa theo thời gian, ta được số liệu kết quả quan hệ mô-men - độ cong ( $M-\varphi$ ) tại mặt cắt giữa nhịp của các dầm thí nghiệm. Đối với các dầm thí nghiệm thì chỉ xác định được độ cong dầm đối với 4 dầm bố trí cốt thép dọc chịu kéo R2 và R4 như Hình 7 dưới đây.



Hình 7. Biểu đồ mô-men - độ cong của các dầm thí nghiệm

Kết quả trên biểu đồ mô-men - độ cong cho thấy:

- Mỗi quan hệ  $M-\varphi$  là tuyến tính trước khi xuất hiện vết nứt đầu tiên.

- Ở giai đoạn hình thành vết nứt, giá trị mô-men không tăng trong khi biến dạng tăng nhanh cho đến khi vết nứt hình thành.

- Ở giai đoạn phát triển vết nứt, biểu đồ vẫn thể hiện tính tuyến tính. Độ dốc của biểu đồ cũng giảm do hiệu ứng giảm cứng do nứt gây ra.

- Điểm chảy trên biểu đồ thực nghiệm cũng thể hiện rõ ràng. Ở giai đoạn này, mô-men tăng chậm nhưng độ cong tăng rất nhanh thể hiện rằng cốt thép bắt đầu bị chảy dẻo.

- Ở giai đoạn phá hoại, các kết quả thực nghiệm cho thấy mô-men không tăng quá nhiều mà độ cong lại tăng nhanh cho tới khi phá hoại.

**3.3. Xác định các giá trị tải trọng và độ võng của dầm thí nghiệm tại các giai đoạn chịu lực khác nhau**

Việc xác định tải trọng nứt, tải trọng khi thép bắt đầu chảy và tải trọng phá hoại cuối cùng của các dầm bê tông Super có cốt thép là rất quan trọng để đánh giá khả năng làm việc của chúng. Các giá trị tải trọng tại các giai đoạn khác nhau có thể được xác định thông qua:

- Biến dạng đo được trong cốt thép chịu kéo;
- Biến dạng đo được trong vùng bê tông chịu nén;
- Tải trọng tác dụng lên dầm;
- Độ dốc của đường cong quan hệ biến dạng - tải trọng.

Các kết quả tổng hợp về giá trị tải trọng tại các điểm tới hạn - tải trọng nứt ban đầu, tải trọng chảy của tiết diện và tải trọng lớn nhất được trình bày trong Bảng 3 như sau:



Bảng 3. Dữ liệu các giai đoạn chịu lực của dầm thí nghiệm

Ký hiệu dầm	Tải trọng gây nứt bê tông			Tải trọng gây chảy dẻo cốt thép			Tải trọng phá hoại		
	$P_{cr}$ (KN)	$M_{cr}$ (KN.m)	$\Delta_{cr}$ (mm)	$P_y$ (KN)	$M_y$ (KN)	$\Delta_y$ (mm)	$P_u$ (KN)	$M_u$ (KN.m)	$\Delta_u$ (mm)
R0-1	5,82	3,49	0,02	-	-	-	46,77	28,06	9,20
R0-2	5,78	3,47	0,08	-	-	-	30,24	18,14	9,26
R2-1	27,21	16,33	1,74	105,55	63,33	22,71	111,80	67,08	31,81
R2-2	19,66	11,80	1,72	102,81	61,69	25,16	108,08	64,85	34,00
R4-1	22,68	13,60	1,87	160,27	96,16	27,35	175,45	105,27	46,56
R4-2	24,11	14,47	1,74	158,94	95,36	27,41	173,28	103,97	40,32

Dữ liệu về kết quả thí nghiệm trong Bảng 3 cho thấy, hàm lượng cốt thép chịu kéo vẫn ảnh hưởng lớn đến tải trọng gây nứt, tải trọng phá hoại của các dầm thí nghiệm. Khi có thêm cốt thép chịu kéo trên mặt cắt dầm thí nghiệm thì giá trị tải trọng (mô-men) của mặt cắt tăng lên rất nhiều lần tại các thời điểm dầm nứt, dầm bị phá hoại do uốn.

**3.4. Dạng vết nứt và phá hoại của các dầm thí nghiệm**



	Dầm R0-2
	Dầm R2-1
	Dầm R2-2
	Dầm R4-1
	Dầm R4-2

Hình 8. Các dạng phá hoại và hình dạng vết nứt của các dầm thí nghiệm

Hình 8 thể hiện các dạng phá hoại của các dầm thí nghiệm, đều thể hiện dạng phá hoại uốn điển hình. Đối với dầm không có cốt thép chịu kéo, vết nứt xuất hiện phương thẳng đứng, phát triển nhanh làm dầm phá hoại ngay. Đối với các dầm bố trí 2 thanh cốt thép thì tại tải trọng lớn nhất, vùng bê tông chịu nén không bị vỡ vụn do khả năng chịu lực của cốt thép không đủ và cốt thép bị chảy. Đối với dầm 4 thanh cốt thép thì khi đạt tới tải trọng phá hoại, các vết nứt xuất hiện nhiều phân bố toàn bộ khu vực chịu uốn. Khi đạt tới tải trọng phá hoại, chiều cao vùng chịu nén giảm và do có nhiều sợi thép và cường độ bê tông rất cao nên các dầm có hiện tượng dập bề mặt bê tông và vỡ vụn một phần cùng với cốt thép bị chảy.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã thực nghiệm khảo sát đánh giá sức kháng uốn của các dầm bê tông siêu tính năng UHPC không có và có cốt thép chịu uốn với các hàm lượng khác nhau. Kết quả thí nghiệm cho biết ảnh hưởng của tỷ lệ cốt thép đến sức kháng uốn của các dầm thí nghiệm và dạng phá hoại của các dầm này.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Zhi-hai He et al. A novel development of green UHPC containing waste concrete powder derived from construction and demolition waste. Powder Technology, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.117075>.
- [2] J. Liu, F. Han, G. Cui, Q. Zhang, J. Lv, L. Zhang and Z. Yang. Combined effect of coarse aggregate and fiber on tensile behavior of ultra-high performance concrete. Construction and Building Materials, vol. 121, pp. 310-318, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.05.136.
- [3] K. Wille, A. E. Naaman, S. El-Tawil and G. J. Parra-Montesinos. Ultra-high performance concrete and fiber reinforced concrete: Achieving strength and ductility without heat curing. Materials and Structures, vol. 45, no. 3, pp. 309-324, 2012, doi: 10.1617/s11527-011-9767-0.

[4] TCVN 2682:2009. Xi măng poóc lăng - Yêu cầu kỹ thuật. Bộ Khoa học và Công nghệ, 2009.

[5] TCVN 7572:2006. Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử. Bộ Khoa học và Công nghệ.

[6] TCVN 8827:2011. Phụ gia khoáng cho bê tông đầm lăn - Tro bay - Yêu cầu kỹ thuật. Bộ Khoa học và Công nghệ, 2011.

[7] ASTM C192-02. Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. ASTM International, 2002.

[8] PGS.TS Ngô Đăng Quang và TS Nguyễn Duy Tiến. Kết cấu bê tông. NXB. Giao thông vận tải, 2009.