

Bê tông siêu tính năng và ứng dụng trong kết cấu dầm nhịp lớn

Application of ultra high performance concrete in large span girders

> LÊ HOÀNG LONG, MAI VIỆT CHINH*, NGUYỄN XUÂN ĐẠI, NGUYỄN CẢNH ĐỨC

Học viện Kỹ thuật Quân sự; * Email: maivietchinh@lqdtu.edu.vn

TÓM TẮT

Bê tông siêu tính năng UHPC là một loại bê tông tiên tiến với lịch sử hình thành và phát triển trên ba mươi năm. Các thành phần trong bê tông siêu tính năng UHPC được tối ưu hóa một cách nghiêm ngặt dưới tỉ lệ nước trên xi măng nhỏ hơn 0,25. Nhờ các đặc tính cơ học và độ bền vượt trội, bê tông siêu tính năng đã được ứng dụng rộng rãi dưới nhiều dạng kết cấu khác nhau. Đặc biệt, loại vật liệu này rất phù hợp cho các kết cấu chịu tải trọng lớn, nhịp lớn và dưới điều kiện môi trường khắc nghiệt như ăn mòn hay xâm thực. Với mục tiêu thúc đẩy sự hiểu biết và tăng cường việc ứng dụng loại vật liệu này vào thực tiễn xây dựng ở nước ta, nghiên cứu hiện tại trình bày tổng quan, thực tế về việc ứng dụng bê tông siêu tính năng UHPC trong các kết cấu dầm nhịp lớn.

Từ khóa: Bê tông siêu tính năng UHPC; dầm nhịp lớn; dầm hộp dự ứng lực; cấp phối.

ABSTRACT

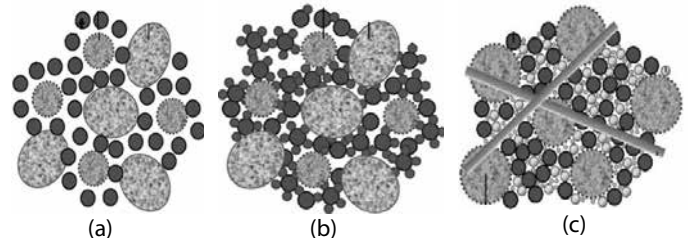
Ultra High Performance Concrete is an advanced concrete that has been developed over thirty years. The components of UHPC are rigorously optimized with a water-to-cement ratio smaller than 0.25. UHPC offers a wide range of structural applications because of its outstanding mechanical properties and durability. This material is particularly suitable for structures that are subjected to heavy loads, long spans, and aggressive conditions such as corrosion. With the aim of promoting understanding and enhancing the application of this material in the construction sector in Vietnam, the current research provides an overview and practical insights into the application of UHPC in large-span girder structures.

Keywords: Ultra high performance concrete; larger-span girders; prestressed box girders; mix design.

1. THÀNH PHẦN VÀ ĐẶC TÍNH CƠ LÝ CỦA VẬT LIỆU UHPC

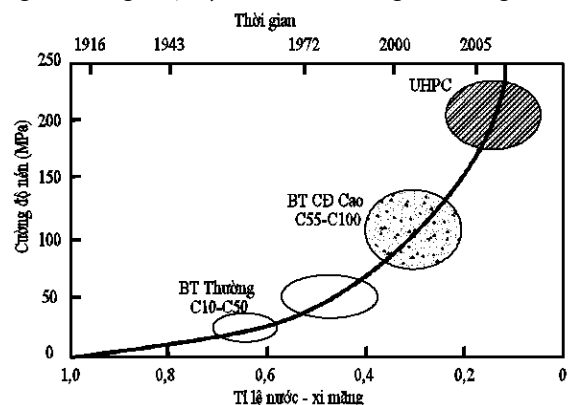
Hỗn hợp của bê tông siêu tính năng (UHPC) thường bao gồm các thành phần cơ bản: xi măng, silicafume, silicaflood, tro bay, cát hạt mịn, chất khử nước và một lượng phù hợp sợi thép hoặc sợi

tổng hợp [1,2]. Trong hỗn hợp UHPC, cốt liệu thô được loại bỏ hoàn toàn để đạt được độ đồng nhất trong ma trận vật liệu. Thành phần cấp phối của UHPC được tối ưu bằng cách sử dụng nhiều loại hạt có đường kính khác nhau, giúp tăng khả năng liên kết của xi măng với cốt liệu, giảm lỗ rỗng trong quá trình diễn ra phản ứng thủy hóa, qua đó giúp giảm độ xốp đến mức thấp nhất. Sợi thép trong hỗn hợp UHPC cải thiện đáng kể độ bền dẻo và khả năng chịu kéo của vật liệu này [3].

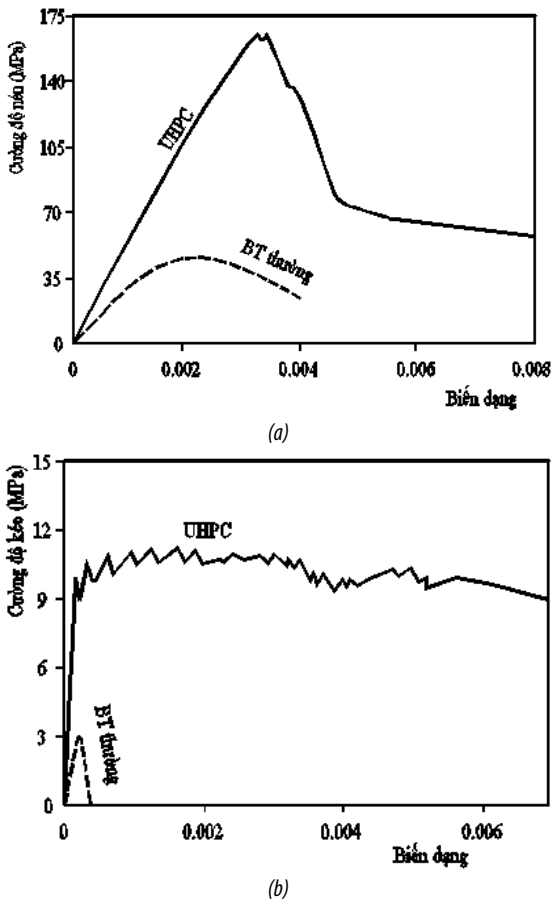


Hình 1. Ma trận vật liệu của bê tông thường (a), bê tông cường độ cao (b) bê tông siêu tính năng UHPC (c)

Hình 1 minh họa ma trận vật liệu của các loại bê tông thường, bê tông cường độ cao và bê tông siêu tính năng UHPC [3]. Hỗn hợp của UHPC không bao gồm các hạt cốt liệu lớn, được phát triển bằng cách sử dụng cốt liệu mịn với kích thước tối đa là 0,6 mm [4]. Hình 2 so sánh tỉ lệ nước trên xi măng (N/X) của bê tông UHPC so với bê tông thường và bê tông cường độ cao. Bê tông thường có tỉ lệ N/X lên đến 0,6 trong khi tỉ lệ này ở bê tông cường độ cao khoảng từ 0,4 đến 0,3. Với UHPC, tỉ lệ N/X giảm xuống nhỏ hơn 0,25. Việc đa dạng thành phần hạt với nhiều loại đường kính khác nhau kết hợp với tỉ lệ nước trên xi măng rất thấp giúp tăng cường độ đặc chắc của ma trận vật liệu. Độ xốp của bê tông thường là khoảng 10% [5], giá trị này với UHPC có thể giảm xuống 1,43% [6].



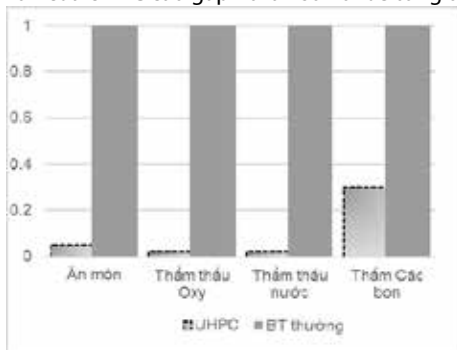
Hình 2. Tỉ lệ nước/xi măng của các loại bê tông [7,8]



Hình 3. Cường độ nén (a) và kéo (b) của UHPC so với BT thường [9]

Hình 3 minh họa đường cong ứng suất biến dạng khi nén và kéo của UHPC so với bê tông thường [9]. Có thể thấy cường độ của UHPC khi nén và kéo cao hơn đáng kể so với bê tông thường. Biến dạng tỉ đối (strain) trong các mẫu thí nghiệm với UHPC khi nén có thể đạt tới 0.008 và khi kéo là 0.006. Ứng xử sau khi đạt đỉnh của UHPC cũng cho thấy sự khác biệt lớn so với bê tông thường, trong đó đường cong ứng suất-biến dạng thể hiện ứng xử dẻo (ductile-behavior). Ứng xử này liên quan chặt chẽ đến ma trận dày đặc và hàm lượng cốt sợi trong hỗn hợp của UHPC, giúp giảm tính giòn và tăng cường tính dẻo của bê tông.

Hình 4 so sánh độ bền của UHPC so với bê tông thường dưới tác động của các điều kiện thử nghiệm khác nhau (hệ số tỉ lệ lấy là 1 đối với bê tông thường) [10]. UHPC cho thấy độ bền vượt trội so với bê tông thường trong tất cả các trường hợp. Ví dụ, tỉ lệ chống ăn mòn của UHPC là 0.05 so với 1 của bê tông thường, tức là khả năng chống ăn mòn của UHPC cao gấp 20 lần so với bê tông thường.



Hình 4. Độ bền của UHPC so với bê tông thường

2. TÌNH HÌNH ỨNG DỤNG CỦA UHPC TRONG CÁC DẦM NHỊP LỚN TRÊN THẾ GIỚI VÀ Ở VIỆT NAM

Đến nay, chưa có một định nghĩa chính xác về dầm nhịp lớn. Khái niệm dầm nhịp lớn sử dụng trong nghiên cứu hiện tại được hiểu là dầm có nhịp lớn hơn 20m, theo định nghĩa của Salahuddin và đồng nghiệp [11]. Dầm nhịp lớn được sử dụng trong các công trình hạ tầng như cầu, nhà thi đấu, nhà ga sân bay hoặc các công trình công nghiệp, nơi cần không gian liên tục với bước khung lớn.

Tại Mỹ, dầm nhịp lớn đầu tiên sử dụng UHPC là cho kết cấu cầu Mars Hill ở Quận Wapello, Iowa (Hình 5) [12]. Cầu có nhịp dài 33 m với các dầm chữ I dự ứng lực cao 1,07 m. Mỗi dầm chứa 47 sợi cáp ứng lực có đường kính 15,2 mm mỗi sợi.

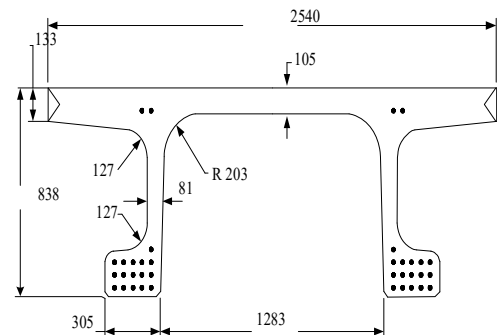


Hình 5. Cầu Mars Hill, Iowa, USA

Hình 6a minh họa kết cấu cầu UHPC sử dụng dầm hình chữ pi được xây dựng ở Buchanan County, IA, vào năm 2008 [13]. Mặt cắt ngang, như thể hiện trong Hình 6b, tương tự như mặt cắt chữ T đôi nhưng có các mép dưới ở uốn cong ra phía ngoài. Dầm chữ pi có chiều cao 838m và chiều rộng 2540mm.

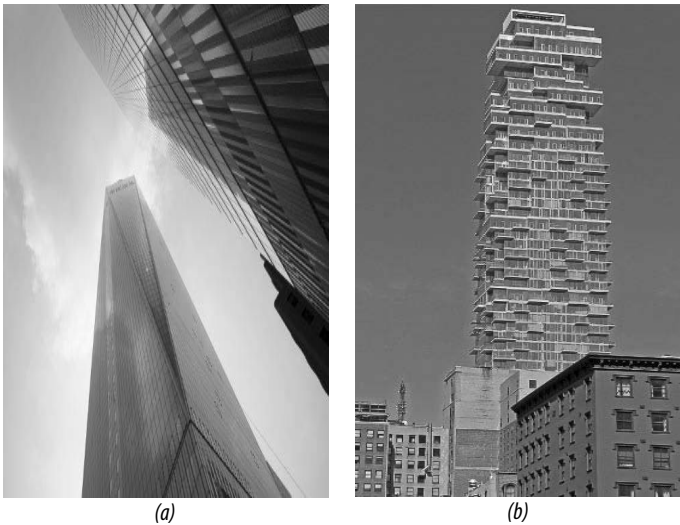


(a)



(b)

Hình 6. Cầu Buchanan County, IA, USA (a) và mặt cắt ngang của cầu



Hình 7. Tòa nhà cao tầng New York City (a) và Leonard (b)

Hình 7, các tòa nhà cao tầng ở Mỹ sử dụng kết cấu dầm nhịp lớn UHPC [14]. Tòa tháp Newyork cao 541m, với các kết cấu chịu lực thanh mảnh, tối ưu hóa không gian và giảm thiểu lượng vật liệu sử dụng so với phương án dùng vật liệu bê tông thường. Tòa tháp 56 tầng Leonard, Manhattan là dạng căn hộ trong đó các tầng được bố trí so le nhau, không có tường ngăn chia trong các căn hộ. Cư dân có thể bố trí không gian sống theo ý muốn hoặc kết hợp các căn hộ theo chiều ngang hoặc chiều dọc.

Cây cầu với dầm nhịp lớn đầu tiên sử dụng UHPC ở Canada là cầu dành cho người đi bộ ở Sherbrooke, Quebec [15], như thể hiện trong Hình 8. Đây là một dạng kết cấu cầu liên hợp UHPC và thép được xây dựng từ sáu đoạn ghép nối đúc sẵn với nhịp lớn nhất lên đến 60m.



Hình 8. Cầu Sherbrooke Pedestrian Bridge, Quebec, Canada



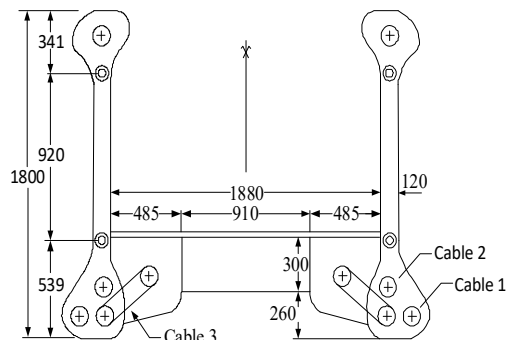
Hình 9. Cầu Glenmore, Calgary, Canada

Hình 9 cho thấy cầu đi bộ Glenmore ở Calgary, Canada [16], sử dụng dầm dự ứng lực chữ T dài 33,6m. Dầm cầu bắc qua đường cao tốc tám làn xe mà không có bất kỳ trụ đỡ nào. Kích thước lớn nhất của dầm cầu là cao 1,10 m và rộng 3,60 m với 42 thanh thép dự ứng lực đường kính 15mm mỗi thanh.

Tại Pháp, việc ứng dụng UHPC vào xây dựng các kết cấu nhịp lớn cũng được triển khai từ sớm. Năm 2005, cầu đi bộ Pont du Diable bắc qua hẻm núi gần Montpellier, Pháp [17] đã được xây dựng (Hình 10a). Mặt cắt ngang cầu gồm hai dầm hình xương cao 1,8 m với bản bụng dày 120 mm (Hình 10b). Các dầm cầu đóng vai trò vừa là bộ phận chịu lực chính vừa có chức năng như lan can bảo vệ. Có 15 đoạn đúc sẵn dài 4,6 m tương đồng tạo nên kết cấu với tổng chiều dài gần 70m.



(a)



(b)

Hình 10. Cầu đi bộ Pont du Diable, Pháp (a) và mặt cắt ngang cầu (b)

Cây cầu Pont de la Chabotte ở Pháp [18] với kết cấu dầm dự ứng lực UHPC có nhịp 47,40 m được tạo thành từ 22 đoạn đúc sẵn, trong đó 18 đoạn tiêu chuẩn, mỗi đoạn dài 2,44 m và 2 đoạn dài 0,59 m (Hình 11). Kết cấu của cầu nhẹ hơn đáng kể so với phương án bê tông thông thường. Trong đó khối lượng bê tông UHPC sử dụng chỉ bằng 40% khối lượng bê tông lớp C44, cho phép hoàn thành công việc lắp dựng trong thời gian rất ngắn. Ngoài ra còn một số cây cầu tiêu biểu khác sử dụng dầm nhịp lớn UHPC có thể kể đến như Pont Pinel với nhịp gần 30m hay Pont sur l' Huisne với nhịp dài 65 m.



Hình 11. Cầu Pont de la Chabotte, Pháp

Công trình nhịp lớn đầu tiên sử dụng vật liệu UHPC ở Nhật Bản là cầu bộ hành Sakata-Mirai với dầm nhịp dài 50,2 m, như minh họa trên Hình 12 [19]. Cáp dự ứng lực bao gồm 31 sợi (đường kính 15,2 mm). Chiều cao mặt cắt dầm thay đổi từ 550mm đến 1650 mm ở giữa nhịp để đảm bảo độ võng lớn nhất không vượt quá tỉ lệ 1/600 nhịp dầm. Chi phí xây dựng cầu này tiết kiệm khoảng 10% so với phương pháp sử dụng bê tông cốt thép thông thường. Ngoài ra, cây cầu GSE Bridge [20], Tokyo kết cấu chính là dầm nhịp 48m hay Tokyo Monorail [21] với dầm nhịp 40m là các công trình tiêu biểu khác sử dụng dầm hộp UHPC ứng lực trước.



Hình 12. Cầu Sakata-Mirai, Nhật Bản

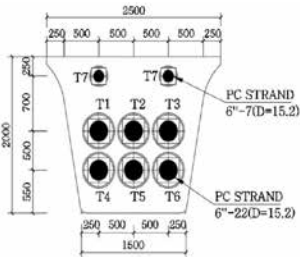


Hình 13. Cầu Seonyu, Seoul, Hàn Quốc

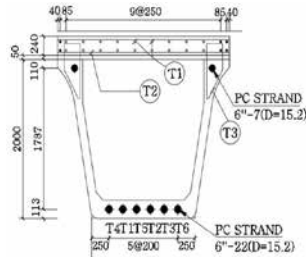
Tại Hàn Quốc, dự án xây dựng cầu Seonyu, Seoul [22] là dự án lớn đầu tiên ứng dụng UHPC, như minh họa trên Hình 13. Dầm chịu lực là dạng dầm cong dự ứng lực với mặt cắt chữ T kép. Chiều cao dầm là 1,3 m dùng cáp dự ứng lực đường kính mỗi sợi là 12,7mm.



(a)



(b)



(c)

Hình 14. Thí nghiệm dầm hộp liên hợp dự ứng lực UHPC (a), mặt cắt ngang tại hai đầu dầm (b) và tại vị trí giữa dầm (c)

Hình 14a minh họa thí nghiệm kiểm tra khả năng chịu lực của dầm hộp ứng lực trước liên hợp UHPC. Dầm được sử dụng cho kết cấu cầu đường sắt tại Hàn Quốc [23]. Chiều cao của dầm là 2m, chiều rộng 2,5m. Tại vị trí hai đầu, dầm được bố trí 6 bó cáp ở phía dưới. Mỗi bó cáp gồm 22 thanh cáp có đường kính 15.2mm. Ở phía trên gồm 2 bó cáp, mỗi bó cáp gồm 7 thanh cáp đường kính 15.2mm, như thể hiện trên Hình 14b. Mặt cắt giữa dầm là dạng tiết diện hộp UHPC liên hợp với bản sàn bê tông cốt thép thông thường với chiều dày 240mm (Hình 14c). Thí nghiệm kiểm tra khả năng chịu lực của dầm được thực hiện tại Viện khoa học và Công nghệ xây dựng Hàn Quốc KICT, cho thấy khả năng chịu lực lớn nhất của dầm dưới thử nghiệm uốn bốn điểm là 5048,19 KN tương ứng với độ võng 444,8 mm. Hình 15 minh họa kết cấu dầm hộp dự ứng lực nhịp 72m dùng cho cầu đi bộ tại Busan, Hàn Quốc [24], được xây dựng vào năm 2022. Bản mặt cầu rộng 6m gồm 3 dầm hộp có chiều cao nhỏ nhất 0,75m và chiều cao lớn nhất 2,6m. Dầm gồm 5 phân đoạn với tổng trọng lượng 240 tấn. Mỗi dầm hộp có 24 sợi cáp với đường kính 15,2mm cho mỗi sợi cáp.



Hình 15. Dầm hộp UHPC 72m dùng cho cầu đi bộ tại Hàn Quốc

Dựa vào tổng quan về việc sử dụng UHPC cho các kết cấu dầm nhịp lớn trên thế giới, có thể thấy các dầm này đều có tiết diện thanh mảnh, được kết hợp với cáp dự ứng lực để đảm bảo khả năng chịu lực và giảm độ võng của dầm. Các nghiên cứu gần đây đã xác nhận rằng việc áp dụng UHPC trong xây dựng là kinh tế hơn so với vật liệu bê tông thường [25,26], mặc dù chi phí cho mỗi m³ vật liệu của UHPC là lớn hơn. UHPC có cường độ cao hơn rất nhiều so với bê tông thường nên sẽ giảm tiết diện mặt cắt ngang, qua đó giảm khối lượng vật liệu sử dụng, từ đó tiết kiệm chi phí xây dựng công trình. Ngoài ra, độ bền vượt trội của UHPC giúp nâng cao tuổi thọ của kết cấu, điều này sẽ làm giảm chi phí bảo dưỡng, sửa chữa, nhất là với các kết cấu được xây dựng ngoài trời, dưới điều kiện ăn mòn hay xâm thực.

Tại Việt Nam, ứng dụng công nghệ bê tông siêu tính năng UHPC chủ yếu cho xây dựng công trình cầu dân sinh. Từ năm 2016 đến nay đã có khoảng 50 cầu UHPC được xây dựng ở 17 tỉnh trên cả nước. Hình 16 minh họa cầu dân sinh Năng An - Xuân Hồi được xây dựng tại Ninh Bình [27]. Cầu dân sinh UHPC với các dầm chịu lực có nhịp từ 12-25 m, chủ yếu là các cầu dầm nhịp nhỏ. Nếu được phát triển thành các nhịp lớn 36m hoặc 50m, thì tổng giá thành xây dựng cầu sẽ giảm chỉ còn 65-75% so với cầu sử dụng bê tông thường [28]. Rõ ràng, việc ứng dụng UHPC đem lại hiệu quả lớn về mặt kinh tế. Dự án lớn đầu tiên ở Việt Nam sử dụng vật liệu UHPC là dự án sửa chữa mặt cầu Thăng Long năm 2020, như minh họa trên Hình 17 [29]. So với tiềm năng của loại bê tông này, ứng dụng vào thực tế xây dựng ở nước ta vẫn còn rất khiêm tốn. Những hạn chế liên quan đến việc ứng dụng loại vật liệu này vào lĩnh vực xây dựng ở Việt Nam có thể kể đến: công nghệ về sản xuất UHPC hiện vẫn

còn khá mới [30], chỉ có số ít đơn vị có thể sản xuất và cung ứng loại vật liệu này, dẫn đến giá thành sản xuất cao. Ngoài ra, việc thiếu các tiêu chuẩn dành riêng cho loại bê tông này cũng ảnh hưởng đến việc thiết kế, thử nghiệm và thi công kết cấu UHPC.



Hình 16. Cầu dân sinh Năng An - Xuân Hối



Hình 17. Dự án sửa chữa mặt cầu Thăng Long bằng UHPC

3. KẾT LUẬN

Nghiên cứu hiện tại trình bày những khái niệm cơ bản liên quan đến bê tông siêu tính năng UHPC. Tổng quan về kết cấu dầm nhịp lớn sử dụng UHPC trên thế giới cũng như tại Việt Nam. Một số kết luận có thể được rút ra từ nghiên cứu hiện tại:

1. Bê tông siêu tính năng UHPC được ứng dụng rộng rãi tại nhiều nước trên thế giới, cho các kết cấu dầm nhịp lên đến 70m. Các kết cấu dầm nhịp lớn UHPC kết hợp cấp dự ứng lực với mặt cắt ngang thanh mảnh để giảm trọng lượng bản thân kết cấu.

2. Hiệu quả về kinh tế của UHPC so với bê tông thường đã được chứng minh trong nhiều dự án. Kết cấu nhịp dầm càng lớn, chi phí xây dựng công trình càng giảm.

3. Tại Việt Nam, việc ứng dụng vật liệu UHPC chủ yếu cho các kết cấu dầm nhịp vừa và nhỏ. Hạn chế liên quan đến việc ứng dụng rộng rãi loại vật liệu này vào lĩnh vực xây dựng liên quan đến giá thành, công nghệ và việc thiếu các tiêu chuẩn liên quan. Trong tương lai, sự tiến bộ của khoa học kỹ thuật sẽ giúp giảm giá thành sản xuất UHPC và sự ra đời của bộ tiêu chuẩn Việt Nam về UHPC sẽ tạo động lực mới trong việc ứng dụng loại vật liệu này vào thực tế xây dựng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Trần, B.V., Lương, T.H., (2021). Nghiên cứu công nghệ bê tông siêu tính năng UHPC, để áp dụng vào thực tế sản xuất tại Việt Nam. Nghiên cứu khoa học.
 [2] Chen, H.J., Yu, Y.L., Tang, C.W., (2020). Mechanical properties of ultra-high performance concrete before and after exposure to high temperatures. *Materials*, Vol 13(3), pp.1-17.
 [3] Gong, J., Ma, Y., Fu, J., Hu, J., Ouyang, X., Zhang, Z., et al., (2022). Utilization of fibers in ultra-high performance concrete: A review. *Composites Part B: Engineering*, Vol 241.
 [4] Mohammad Hasan, T., Allena, S., Sharma, Y., Yeluri, M., (2022). Effect of Fine Aggregate Particle Size on Physical, Mechanical, and Durability Properties of Ultra-High Performance Concrete. *Transportation Research Record*, Vol 2676(5), pp.820-830.

[5] De La Cruz, J.C., del Campo, J.M., Colorado, D., (2015). Comparative study on porosity and permeability of conventional concrete and concrete with variable proportions of natural zeolite additions. *Revista de La Construcción*, Vol14(3), pp.72-80.
 [6] Sohail, M.G., Kahraman, R., Al Nuaimi, N., Gencturk, B., Alnahhal, W., (2021). Durability characteristics of high and ultra-high performance concretes. *Journal of Building Engineering*, Vol 33.
 [7] Ullah, R., Qiang, Y., Ahmad, J., Vatin, N.I., El-Shorbagy, M.A., (2022). Ultra-High-Performance Concrete (UHPC): A State-of-the-Art Review. *Materials*, Vol 15(12), pp.1-27.
 [8] Chen, Y., Liu, P., Sha, F., Yu, Z., He, S., Xu, W., et al., (2022). Effects of Type and Content of Fibers, Water-to-Cement Ratio, and Cementitious Materials on the Shrinkage and Creep of Ultra-High Performance Concrete. *Polymers*.
 [9] El Helou, R., Graybeal, B., (2019). The Ultra Girder: A Design Concept for a 300-foot Single Span Prestressed UHPC Bridge Girder.
 [10] Tayeh, B., Bakar, B.H., Megat Johari, M.A., Voo, Y., (2013). Utilization of Ultra-high Performance Fibre Concrete (UHPFC) for Rehabilitation - A Review. *Procedia Engineering*, Vol 54, pp.525-538.
 [11] Salahuddin, M.K., (2015). Long span beams, Vol 37(4), pp.1-15.
 [12] Akhnoukh, A., Buckhalter, C., (2021). Ultra-high-performance concrete: Constituents, mechanical properties, applications and current challenges. *Case Studies in Construction Materials*, Vol15, pp.1-10.
 [13] Wibowo, H., Sritharan, S., (2018). Use of Ultra-High-Performance Concrete for Bridge Deck Overlays.
 [14] <https://structurae.net/en/>. (2021). The Largest Database for Civil and Structural Engineers.
 [15] Perry, V., (2015). Ultra-High-Performance-Concrete Advancements and Industrialization-The Need for Standard Testing. *Advances in Civil Engineering Materials*, Vol 4, pp.14-28
 [16] Seibert, P., Perry, V., Corvez, D., Seibert, P., Perry, V., (2019). Performance Evaluation of Field Cast UHPC Connections for Precast Bridge Elements.
 [17] Abdal, S., Mansour, W., Agwa, I., Nasr, M., Abadel, A., Onuralp Özkılıç, Y., et al., (2023). Application of Ultra-High-Performance Concrete in Bridge Engineering: Current Status, Limitations, Challenges, and Future Prospects. *Buildings*, Vol 13(11).
 [18] Linger, L., Delaunay, O., Rogat, D., Boutillon, L., Clergue, C., (2009). Construction du pont de la Chabotte en BFUP sur l'autoroute A51.
 [19] Tanaka, Y., Musha, H., Tanaka, S., Ishida, M., (2010). Durability performance of UFC sakata-mira footbridge under sea environment. *Proc Framcos*, Vol 7, pp.1648-1654.
 [20] Foster, S., Voo, Y., (2015). UHPFRC as a material for bridge construction: are we making the most of our opportunities?
 [21] Azmee, N.M., Shafiq, N., (2018). Ultra-high performance concrete: From fundamental to applications. *Case Studies in Construction Materials*, Vol 9.
 [22] Azmee, N.M., Shafiq, N., (2018). Ultra-high performance concrete: From fundamental to applications. *Case Studies in Construction Materials*, Vol 9.
 [23] Tsas-Orghilmaa, Do-Hyun., Han, S.-M., (2018). Finite Element Analysis of Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete 50M Composite Box Girder. *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, Vol 46(4), pp.100-107.
 [24] Mai, V.-C., Han, S.M., (2022). Numerical Simulation of 72m-Long Ultra High Performance Concrete Pre-Stressed Box Girder. *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, Vol 35(2), pp.73-82.
 [25] Meng, W., Valipour, M., Khayat, K.H., (2016). Optimization and performance of cost-effective ultra-high performance concrete. *Materials and Structures*, Vol 50(1), pp.1-29.
 [26] Qasim, O., (2019). Comparative study between the Cost of Normal Concrete and Reactive Powder Concrete, Vol 518.
 [27] <https://oct.vn/be-tong-uhpc-cuong-do-sieu-cao>. (2022). Ứng dụng thực tế bê tông UHPC cường độ siêu cao.
 [28] <https://uhpc.com.vn/ung-dung-cong-nghe-be-tong-tinh-nang-sieu-cao-uhpc-va-xay-dung-cau-dan-sinh>. (2022). Ứng dụng công nghệ bê tông tính năng siêu cao UHPC vào xây dựng cầu dân sinh.
 [29] <https://laodong.vn/photo/toan-canh-qua-trinh-sua-chua-mat-cau-thang-long-bang-cong-nghe-moi-867985.ldo>. (2021). Toàn cảnh quá trình sửa chữa mặt cầu Thăng Long bằng công nghệ mới.
 [30] Tran, B.V., Luong, T.H., (2021). Research on technology of ultra high-performance concrete-UHPC, to apply in production in Vietnam. *Vietnam Journal of Construction*, Vol 1(26), pp.1-6.