

Đánh giá tổng quan khả năng sử dụng bê tông siêu tính năng cao (UHPC) để gia cường kết cấu trụ cầu

Assessment of the possibility of ultra-high performance concrete (UHPC) in strengthening bridge pier

> LÊ HOÀNG AN¹

¹Viện Kỹ thuật công nghệ cao, Trường ĐH Nguyễn Tất Thành TP.HCM

Email: lhana@ntt.edu.vn

TÓM TẮT

Bê tông siêu tính năng cao (UHPC) là loại bê tông thế hệ mới với đặc tính về mặt cường độ và độ bền vượt trội hơn rất nhiều so với các loại bê tông thông thường khác. UHPC đã được ứng dụng trong gia cường kết cấu bê tông cốt thép và tạo ra một giải pháp mới có tính khả thi cao bên cạnh những giải pháp gia cường truyền thống khác như dùng sợi carbon, ống thép, hoặc bọc bê tông thường. Do đó, mục đích của bài báo là đánh giá khả năng sử dụng UHPC trong việc gia cường kết cấu trụ cầu, thông qua việc thu thập và phân tích các dữ liệu nghiên cứu trước đây liên quan đến vấn đề này, bài báo đã làm rõ được những đặc điểm của việc sử dụng UHPC trong gia cường kết cấu trụ cầu. Đồng thời bài báo đưa ra so sánh ưu điểm và nhược điểm giữa giải pháp gia cường trụ cầu bằng UHPC với các giải pháp truyền thống khác. Khi gia cường trụ cầu bằng UHPC thì sức chịu tải và độ bền theo thời gian của kết cấu được cải thiện đáng kể. Kết quả nghiên cứu trong bài báo khẳng định UHPC là một loại vật liệu tiềm năng có thể thay thế các loại vật liệu truyền thống, đặc biệt là trong việc gia cường trụ cầu.

Từ khóa: Bê tông; UHPC; cường độ; độ bền; trụ cầu; gia cường.

ABSTRACT

Ultra-high performance concrete (UHPC) is a new generation of concrete technology with superior strength and durability as compared to conventional concrete. UHPC has been applied in strengthening reinforced concrete and create an innovative solution beside traditional solutions such as using carbon fiber reinforced polymer, steel tube, or normal strength concrete. Therefore, this paper is aimed at evaluating the possibility of UHPC in strengthening bridge pier. This paper clearly describes some characteristics of using UHPC when strengthening bridge pier by collecting and analyzing the previous studies. Furthermore, this paper compares advantages and disadvantages of UHPC solution with other traditional solutions. When the bridge pier is strengthened by UHPC, the load bearing capacity and long-time durability of the structure are significantly enhanced. The research results in this paper indicate that UHPC is a potential material, which can replace other conventional materials in strengthening bridge pier.

Keywords: Concrete; UHPC; strength; durability; bridge pier; strengthening.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông siêu tính năng cao (Ultra-high performance concrete - UHPC) là loại bê tông thế hệ mới với ưu điểm vượt trội về mặt cường độ và độ bền so với bê tông thông thường. UHPC có cường độ chịu nén lớn hơn 120 MPa và cường độ chịu kéo trực tiếp lớn hơn 5 MPa, đặc biệt với việc sử dụng cốt sợi phân tán bên trong (Ultra-high performance fiber reinforced concrete - UHPFRC) thì cường độ chịu kéo và độ dẻo dai tăng lên rất nhiều lần [1-5]. UHPC được chế tạo trên nguyên lý tối ưu hóa lỗ rỗng trên cơ sở sử dụng các loại cốt liệu được lựa chọn với đường kính hạt rất nhỏ so với bê tông truyền thống, kết hợp với các phụ gia siêu dẻo thế hệ mới [2]. Do đó chi phí tính trên 1m³ bê tông của UHPC lớn hơn rất nhiều so với các

loại bê tông thông thường đang được sử dụng trên thị trường. Tuy nhiên do nhiều ưu điểm của UHPC nên loại bê tông này đang được quan tâm áp dụng trong thực tế những năm gần đây, đặc biệt là tại Việt Nam để tạo nên những kết cấu mới.

Theo các nghiên cứu [6-9] thì ý tưởng căn bản trong ứng dụng thực tế của UHPC là sử dụng nó trong một phần của kết cấu. Do UHPC có giá thành rất cao so với bê tông cường độ thường (Normal strength concrete - NSC) và bê tông cường độ cao (High strength concrete - HSC), cho nên việc sử dụng UHPC để chế tạo các kết cấu truyền thống khó được áp dụng hơn so với việc sử dụng để gia cường hoặc sửa chữa các kết cấu, hoặc liên hợp với bê tông cốt thép (BTCT) truyền thống [7]. Mặt khác khi kết cấu làm bằng UHPC để có

giá thành giảm so với NSC hoặc HSC thì độ mảnh của tiết diện sẽ tăng, dẫn đến kết cấu dễ bị mất ổn định hoặc chịu tải động kém. Cũng theo nghiên cứu [7-9] thì UHPC rất phù hợp để gia cường các kết cấu thường xuyên chịu tác động của các yếu tố môi trường (vùng sông biển có yếu tố xâm thực dễ gây ăn mòn...) và chịu tải lớn (tải tập trung, tải động, động đất...). UHPC được đề xuất liên hợp với kết cấu BTCT truyền thống. Đây là một phương pháp đơn giản và hiệu quả để tăng cường độ cứng, khả năng chịu tải của kết cấu BTCT bị hư hỏng trong lúc vẫn giữ nguyên được kết cấu ban đầu của nó. Ý tưởng này cũng đã được phát triển từ năm 1999 với nhiều nghiên cứu đa dạng cho việc sử dụng UHPC gia cường và sửa chữa các kết cấu cầu, nhà cao tầng, hầm, và tường chắn [6-9]. Mặt khác UHPC có cường độ và độ bền cũng cao, cho nên rất khả thi khi làm lớp bê tông bảo vệ cho các kết cấu BTCT truyền thống [6-7]. Các nghiên cứu [6-9] đã nêu ra một số hướng chính áp dụng của UHPC trong gia cường hoặc sửa chữa kết cấu cũ ở châu Âu và châu Mỹ như sau:

- Lớp phòng nước cho bản mặt cầu
- Gia cường các dầm cầu cũ
- Gia cường bản mặt cầu cũ
- Lớp bê tông bảo vệ cho tường chắn hoặc dải phân cách đường cao tốc
- Cột và những cấu kiện chịu tải nén cao

Hiện nay quốc gia ứng dụng UHPC trong việc sửa chữa hoặc gia cường các kết cấu của công trình cầu nhiều nhất là Mỹ do sự xuống cấp theo thời gian của kết cấu BTCT thường dưới tác động các yếu tố khắc nghiệt của môi trường, sự ăn mòn cốt thép chủ, dẫn đến các vết nứt và sự phá vỡ bê tông. Kết quả là tính toàn vẹn và khả năng chịu tải của các kết cấu công trình cầu bị suy giảm nghiêm trọng, vì vậy cần thiết phải phát triển các phương pháp gia cường sửa chữa mới đáp ứng tiêu chí quan trọng nhất đó là đảm bảo việc khai thác sử dụng kết cấu lâu dài. Việc gia cường các kết cấu dầm, sàn, bản mặt cầu, nút giao giữa cột - dầm bằng UHPC đã được nghiên cứu và đưa vào ứng dụng thực tế nhiều, trong khi đó các nghiên cứu dùng UHPC gia cường kết cấu trụ cầu còn rất hạn chế. Chính vì thế, gần đây một số nhóm nghiên cứu đã tập trung trong việc đưa ra giải pháp sử dụng UHPC để gia cường kết cấu trụ cầu và thực hiện nhiều thí nghiệm với các cột lớn để phản ánh chính xác sự làm việc thực

Bảng 1. Các nghiên cứu gia cường trụ cầu bằng UHPC

Tác giả	Nội dung nghiên cứu	Hình ảnh
Farzad và cộng sự (2019) [11]; Azizinaminia và Farzad (2018) [12]	11 trụ cầu BTCT tiết diện tròn bằng BTCT thường với tỉ lệ thu nhỏ được mô phỏng giống thực tế để gia cường UHPC dày 1.3 - 5.1cm sử dụng hàm lượng sợi thép 2% và 4%. Các cột gia cường được thí nghiệm chịu tải trọng đứng và ngang	
Massicotte và Boucher-Proulx (2009) [13];	2 trụ cầu BTCT tiết diện hình chữ nhật với tỉ lệ thu nhỏ được gia cường với mục đích chịu tải kháng chấn được thí nghiệm thực tế	

tế dưới các loại tải trọng khác nhau.

Hiện nay Việt Nam là nước phát triển mạnh mẽ trong việc xây dựng mới cũng như sửa chữa các công trình cầu. Bản mặt cầu thép của cầu Thăng Long đã được sửa chữa bằng công nghệ UHPC và đã hoàn thành năm 2021, đánh một dấu mốc lớn cho sự lan tỏa của loại vật liệu mới này ở Việt Nam. Trên cơ sở nhận định các nghiên cứu trước và tính khả thi cao trong ứng dụng thực tế của UHPC, bài báo sẽ trình bày tổng quan các nghiên cứu thực nghiệm trên thế giới về việc sử dụng UHPC gia cường kết cấu trụ cầu, đánh giá so sánh ưu nhược điểm của UHPC với các giải pháp gia cường truyền thống khác. Kết quả nghiên cứu của bài báo cho thấy được tiềm năng của loại vật liệu này khi gia cường kết cấu trụ cầu và có tính thực tiễn cao.

2. CÁC NGHIÊN CỨU VÀ CÔNG TRÌNH THỰC TẾ SỬ DỤNG UHPC GIA CƯỜNG TRỤ CẦU

Bảng 1 tóm tắt một số các công trình nghiên cứu của các nhóm tác giả trên thế giới liên quan đến gia cường trụ cầu bằng UHPC [11-18]. Mô hình thí nghiệm trong các nghiên cứu này đều có tỉ lệ gần như kích thước của trụ cầu thực tế. Các nghiên cứu trong bảng 1 đều đưa kết luận rằng UHPC là một loại vật liệu phù hợp để gia cường các trụ cầu, đặc biệt là những trụ cầu có yêu cầu chống ăn mòn cốt thép hoặc công trình cầu nằm trong môi trường xâm thực cao. Đồng thời các nghiên cứu đã khẳng định dùng UHPC gia cường trụ cầu là một hướng nghiên cứu mới cần được quan tâm nhiều hơn nữa.

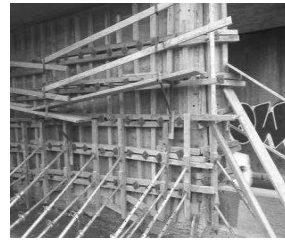
Rabehi và cộng sự (2014) [10] trình bày một nghiên cứu thực nghiệm so sánh ứng xử chịu nén đúng tâm của cột BTCT gia cường bởi sợi polymer, bê tông thường NSC và bê tông UHPC có sử dụng sợi. 15 cột tròn có đường kính 110mm và cao 220mm được bọc bởi NSC, sợi carbon CFRP, sợi thủy tinh GFRP và bê tông UHPC có sợi thép gia cường với hàm lượng 2.5%. Kết quả thí nghiệm cho thấy cột gia cường UHPC làm tăng cường độ 58% và biến dạng 50% so với cột gia cường bê tông thường, trong khi đó so với cột gia cường bằng CFRP và GFRP thì lớp gia cường UHPC làm tăng cường độ nén 15%. Các tác giả kết luận gia cường bằng lớp bọc UHPC là một kỹ thuật mới làm tăng độ dẻo dai, độ bền và giảm sự mở rộng vết nứt do độ đồng nhất rất cao của hỗn hợp UHPC.

Bảng 1. Các nghiên cứu gia cường trụ cầu bằng UHPC

Tác giả	Nội dung nghiên cứu	Hình ảnh
Reggia và cộng sự (2020) [14]	1 trụ cầu được thu nhỏ với tỉ lệ 1/4 so với trụ cầu thực tế (cao 23m, kích thước hộp rỗng hình chữ nhật 6.0 x 2.5m) được gia cường bởi lớp UHPC dày 3cm	
Koo (2017) [15]	3 trụ cầu được thu nhỏ với kích thước 30x30cm, cao 1.26m được gia cường bởi lớp UHPC với 1.5% sợi thép được thí nghiệm chịu tải đứng và ngang đồng thời	
Franssen và cộng sự (2018) [16]	3 trụ cầu với tỉ lệ thu nhỏ (cao 2.3m, rộng 1.5m, dày 23cm) được gia cường bởi lớp UHPC với 1.25% sợi thép. Lớp UHPC có chiều dày 3cm và 5cm. Các cột được thí nghiệm chịu tải đứng và ngang đồng thời	
Sun và cộng sự (2019) [17]	Đưa ra mô hình bọc các trụ của cầu cảng bị ăn mòn bằng lớp bê tông UHPC với các chiều dày khác nhau. Tác giả đã mô phỏng tính toán cường độ của trụ cầu vuông bọc bởi lớp UHPC có chiều dày khác nhau dưới tác dụng của tải đứng và ngang	
Meda và cộng sự (2015) [18]	Thí nghiệm 2 cột với tỉ lệ thực tế được tạo ăn mòn bê tông và thép chủ, sau đó 2 cột này được bọc bởi lớp bê tông UHPC có chiều dày 4cm. Các cột được thí nghiệm chịu tải theo chu kỳ (cyclic load)	

Ngoài ra, một số công trình trụ cầu trên thế giới được gia cường sửa chữa bằng lớp bọc UHPC đã được thực hiện và cho thấy tính hiệu quả cao của công nghệ này trong các báo cáo quan sát và đo đạc sau một thời gian nhất định đưa công trình vào sử dụng. Hình 12 mô tả các công trình trụ cầu thực tế trên thế giới được gia cường bằng công nghệ UHPC. Điều đáng chú ý nhất là ngay từ năm 1992, 254 cột trụ cầu của công trình cầu cảng Venterminales ở Venezuela bị ăn mòn xâm thực rất nặng đã được sửa chữa gia

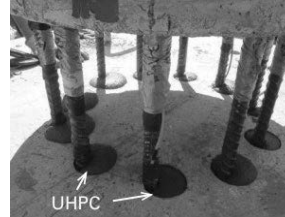
cường bằng lớp bê tông UHPC dày 2cm sử dụng cốt sợi thép 2% bọc bên ngoài [19]. Cho đến ngày nay, các trụ cầu này vẫn được quan trắc theo dõi thường xuyên. Kết quả là không có sự hư hỏng cũng như dấu hiệu ăn mòn nào, trong khi đó ở Venezuela với cách gia cường tương tự nhưng sử dụng bê tông thường thì chỉ sau 2 năm đến 5 năm là bị hư hỏng. Như vậy dựa trên các công trình thực tế có thể kết luận rằng UHPC hoàn toàn là một loại vật liệu gia cường có độ bền tuổi thọ cao.



Cầu CN Rail Bridge (Montreal, Quebec, Canada), trụ cầu tiết diện hình chữ nhật cao 3.3m, rộng 8m, dài 7m. Lớp UHPC gia cường dày 10cm. Hoàn thành gia cường tháng 10/2013 [20]



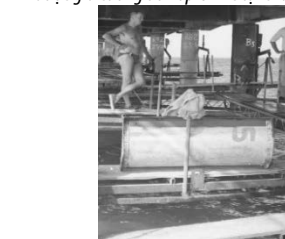
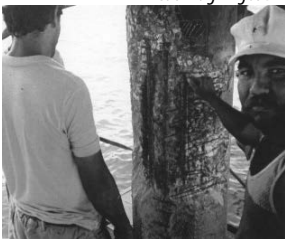
Cầu Mission Bridge (Abbotsford, British Columbia, Canada), trụ cầu gồm 2 chữ V tiết diện hình chữ nhật 2.1 x 2.6m, cao 3.2m. Lớp UHPC gia cường dày 22.5cm kết hợp với các neo thép (rebar) tạo dính bám giữa bê tông cũ và UHPC. Hoàn thành gia cường tháng 6/2014 [20]



Cầu Hooper Rd (Town of Union, New York, USA), trụ cầu tiết diện tròn có đường kính 1.07m được gia cường bởi lớp UHPC tại vị trí kết nối với kết cấu xà mũ. Hoàn thành tháng 9/2014 [20]



Cầu Haqwilget Bridge, New Hazelton, Canada, trụ cầu bằng kết cấu thép hình được gia cường bởi lớp UHPC tại chân cột và hoàn thành năm 2015 [20]



Gia cường các trụ của cầu cảng Venterminales ở Venezuela, trụ cầu có tiết diện tròn có đường kính 50cm, lớp bê tông bảo vệ 10cm bị xâm thực nặng. Lớp UHPC gia cường bên ngoài dày 3cm sử dụng 2% sợi thép. Hoàn thành năm 1992 [19]



Cầu Grafstal Bridge ở Thụy Sĩ, trụ cầu hình tròn được gia cường bởi lớp UHPC [7]

Hình 1. Các công trình trên thế giới có trụ cầu được gia cường bằng UHPC

3. SO SÁNH GIẢI PHÁP GIA CƯỜNG TRỤ CẦU BẰNG UHPC VỚI CÁC GIẢI PHÁP TRUYỀN THỐNG KHÁC

Việt Nam có đường bờ biển dài, cùng với cơ sở hạ tầng phát triển

mạnh mẽ theo sự phát triển kinh tế thì các công trình cầu được đầu tư xây dựng tăng đáng kể, trong đó hệ thống cầu cảng chiếm tỷ trọng lớn và tiếp xúc trực tiếp nhất với môi trường biển. Theo tổng hợp số liệu kết

quả kiểm định định kỳ cảng biển thì hơn 50% bộ phận kết cấu bê tông và BTCT bị nứt, vỡ, ăn mòn, hư hỏng nặng hoặc bị phá hủy trong môi trường nước mặn chỉ sau từ 20-30 năm sử dụng, nhiều công trình hư hỏng nặng sau 7 năm đến 15 năm [21]. Như vậy, tuổi thọ sử dụng của các công trình thực tế nhỏ hơn nhiều so với tuổi thọ thiết kế (theo thống kê của Công ty Necon Việt Nam). Hiện nay ở Việt Nam tồn tại 4 biện pháp thông dụng để sửa chữa gia cường trụ cầu đó chính là: (1) dán sợi carbon FRP hoặc CFRP; (2) Bọc bê tông thường, làm lưới cốt thép và mở rộng cột; (3) Bọc thép hình hoặc dán bản thép; (4) Bơm keo trám vết nứt.

Bảng 2 trình bày so sánh đánh giá ưu nhược điểm của phương pháp gia cường mới sử dụng UHPC so với 4 biện pháp gia cường truyền thống. Có thể thấy các phương pháp truyền thống đều tồn tại nhiều nhược điểm lớn liên quan đến sự làm việc liên hợp giữa vật liệu bọc ngoài và trụ cầu BTCT thường bên trong. Như gia cường bằng lưới sợi carbon có nhược điểm lớn nhất đó là sau thời gian dài sử dụng nhiều trụ cầu bị bong tróc lớp bọc sợi và trụ cầu cũ, đồng thời dính bám của hai lớp vật liệu này bị ảnh hưởng nhiều bởi yếu tố thời tiết, độ ẩm bên ngoài. Tương tự như vậy gia cường bằng cách mở rộng cột bọc bê tông thường, hoặc bọc thép hình, bơm keo trám vết nứt đều có nhược điểm là độ bền không cao, sau thời gian dài sử dụng thì sẽ có vết nứt trở lại hoặc dễ bị xâm thực ăn mòn lớp bọc ngoài. Trong bảng 2 cho thấy gia cường sửa chữa bằng lớp bọc UHPC chỉ có nhược điểm đó là nguồn

Bảng 2. So sánh gia cường trụ cầu bằng UHPC so với các phương pháp truyền thống khác

Biện pháp gia cường	Ưu điểm	Nhược điểm
Dán sợi các bon FRP hoặc CFRP	<ul style="list-style-type: none"> - Bề dày tấm mỏng nên không tăng tiết diện, không ảnh hưởng đến kiến trúc công trình - Trọng lượng tấm nhẹ nên không tăng tĩnh tải kết cấu - Quy trình thi công đơn giản và nhanh chóng - Không cần thiết phải khoan cắt hoặc đục vào kết cấu hiện hữu - Không tác động cơ học vào kết cấu hiện hữu - Tăng đáng kể khả năng chịu lực và độ dẻo dai của cột - Sợi carbon có cường độ chịu kéo rất cao, mô đun đàn hồi rất lớn, trọng lượng nhỏ, khả năng chống mài mòn cao, cách điện, chịu nhiệt tốt và bền theo thời gian 	<ul style="list-style-type: none"> - Theo tiêu chuẩn ACI 440.2R-08, nếu cột BTCT có tiết diện hình chữ nhật, tỷ lệ chiều dài /chiều rộng lớn hơn 2, hoặc là cạnh ngắn của cột lớn hơn 90cm thì không nên gia cố bằng FRP - Độ dính bám của lớp FRP và bê tông cũ bị suy giảm theo thời gian do các yếu tố bên ngoài của môi trường đặc biệt là tia UV, độ ẩm hoặc thời tiết thay đổi - Nếu mặt gia cường của cột có tiết diện lớn thì độ dính bám phụ thuộc rất nhiều vào quy trình dán keo và kỹ thuật dán của công nhân. - Sản phẩm nhập từ nước ngoài do đó phần nào cản trở sự sử dụng đại trà và phải có kế hoạch cung ứng sản phẩm cho từng dự án - Quy trình bảo trì phức tạp
Bọc bê tông thường, làm lưới cốt thép và mở rộng cột	<ul style="list-style-type: none"> - Biện pháp thi công đơn giản thường được áp dụng đại trà - Thực tế cho thấy có thể tăng khả năng chịu tải của cột lên 1.5-2 lần tùy thuộc vào chiều dày lớp bê tông thường và loại cốt thép sử dụng theo tính toán cụ thể - Vật liệu đại trà có thể sản xuất đại trà mọi nơi 	<ul style="list-style-type: none"> - Tăng tiết diện ảnh hưởng đến kiến trúc của công trình - Tăng thêm tĩnh tải lên kết cấu - Thời gian thi công kéo dài - Đục khoét khoan cắt vào tiết diện hiện hữu, do đó làm suy yếu tiết diện đã xuống cấp - Phải xử lý co ngót giữa bê tông cũ và bê tông mới - Phải bố trí cốt thép dọc chủ đường kính D14 đến D25 - Lớp bê tông bọc thường dày - Bê tông thường cần phải sử dụng biện pháp đầm lèn và rung
Bọc thép hình hoặc dán bản thép	<ul style="list-style-type: none"> - Thi công đơn giản - Giữ nguyên được kích thước, tiết diện cột - Không ảnh hưởng đến không gian sử dụng - Nhanh chóng đưa công trình vào sử dụng - Tăng khả năng chịu lực của cột lên 2-2.5 lần 	<ul style="list-style-type: none"> - Giá thành cao do phải tiêu hao lượng thép nhiều - Việc ốp thép vào những tiết diện không phải hình vuông và hình chữ nhật rất phức tạp - Khó khăn để xử lý phần ma sát làm việc chung giữa bê tông và thép ốp - Thời gian thi công kéo dài, quy trình thi công đòi hỏi yêu cầu cao về máy móc nhân lực - Dễ bị ảnh hưởng bởi độ ẩm môi trường dẫn đến rỉ sét - Quy trình bảo trì phức tạp
Bơm keo trám vết nứt	<ul style="list-style-type: none"> - Biện pháp đơn giản thường được áp dụng đại trà để xử lý tạm thời khi vết nứt không ảnh hưởng đến sự chịu lực của kết cấu 	<ul style="list-style-type: none"> - Thường chỉ được áp dụng khi vết nứt nhỏ không ảnh hưởng đến sự chịu lực của kết cấu - Không xử lý triệt để được vết nứt kết cấu do không giải phóng được năng lượng gây nứt, vết nứt mới xuất hiện lân cận - Chỉ là giải pháp cấu tạo, hỗ trợ cho các phương pháp gia cường kết cấu khác

cung cấp các vật liệu đặc chủng cho việc chế tạo UHPC và máy trộn cường bức để trộn UHPC ít đại trà trên thị trường. Tuy nhiên thực tế cho thấy hoàn toàn có thể khắc phục được vấn đề này. Trong quá trình làm thí nghiệm cũng như nghiên cứu các vấn đề sản xuất chế tạo UHPC ở Việt Nam, tác giả nhận thấy nguồn vật liệu chế tạo UHPC hoàn toàn có thể mua được tại các cơ sở nhà máy sản vật liệu xây dựng ở Việt Nam. Riêng sợi thép thì có thể nhập từ Trung Quốc với nguồn nhập thường xuyên. Máy trộn cường bức trộn UHPC thì có thể chế tạo được ở Việt Nam. Việc gia cường trụ cầu bằng UHPC với chiều dày nhỏ dẫn đến khối lượng không nhiều, do đó hoàn toàn có thể chế tạo các máy trộn với dung tích nhỏ để dễ dàng vận chuyển đến công trường và trộn thành nhiều mẻ khác nhau. Gần đây nhất, dự án gia cường sửa chữa bản mặt cầu bằng thép của cầu Thăng Long bằng cách sử dụng công nghệ UHPC làm lớp phủ liên hợp với bản thép đã được hoàn thành và thông xe vào tháng 01/2021. Quá trình chế tạo và thi công UHPC trong dự án này đã được nghiệm thu đánh giá tốt tạo ra nhiều hứa hẹn cho việc áp dụng UHPC một cách đại trà trong sửa chữa gia cường các kết cấu khác nói chung và trụ cầu nói riêng.

Từ những đánh giá ở trên cho thấy gia cường trụ cầu bằng UHPC là một phương pháp kỹ thuật mới hoàn toàn vượt trội so với các phương pháp truyền thống khác. Do đó phương pháp này có tính khả thi cao để áp dụng thực tế trong thời gian tới.

Bảng 2. So sánh gia cường trụ cầu bằng UHPC so với các phương pháp truyền thống khác

Biện pháp gia cường	Ưu điểm	Nhược điểm
Sử dụng lớp bọc bằng bê tông UHPC	<ul style="list-style-type: none"> - Thi công đơn giản có thể làm ván khuôn gỗ, nhựa hoặc thép bên ngoài - Bề dày lớp UHPC mỏng cho nên không ảnh hưởng đến kiến trúc cũng như tăng tính tải - Tính tự lèn cao cho nên có thể rót vào ván khuôn dễ dàng không cần đầm lèn hoặc rung - Bề mặt bê tông sau khi tháo khuôn sẽ phẳng và đẹp - Tạo lớp bọc bảo vệ cho cột cực kỳ tốt chống ăn mòn xâm thực cũng như yếu tố thời tiết - UHPC sử dụng sợi nhỏ có thể tăng khả năng chịu vết nứt do cường độ kéo uốn cao - Tăng khả năng chịu tải và độ dẻo dai của cột rất lớn Nhanh đạt cường độ nên có thể tháo ván khuôn sớm, đẩy nhanh tốc độ thi công 	<ul style="list-style-type: none"> - Yêu cầu phải có máy trộn cường bức phù hợp cho nên phải đưa thiết bị trộn chuyên dụng đến công trình - Vật liệu sợi thép, sợi tổng hợp chưa chế tạo được trong nước phải nhập từ Trung Quốc và một số nước châu Âu - Cấp phối bao gồm một số loại vật liệu đặc chủng (cát mịn, bột cát, phụ gia siêu dẻo...) phải có kế hoạch nhập cho công trình cụ thể, khác với bê tông thường có thể chế tạo mọi nơi - Kỹ sư Việt Nam chưa quen với công nghệ UHPC

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày tổng quan các nghiên cứu trước và các công trình thực tế sử dụng công nghệ UHPC để gia cường kết cấu trụ cầu, đồng thời cũng đưa ra so sánh ưu nhược điểm giữa giải pháp gia cường bằng UHPC với các giải pháp truyền thống khác. Trên cơ sở kết quả đạt được của bài báo, một số kết luận được rút ra như sau:

- Sử dụng UHPC gia cường kết cấu trụ cầu là hướng nghiên cứu được quan tâm nhiều hiện nay và đã được ứng dụng trong nhiều công trình thực tế.

- Khi gia cường kết cấu trụ cầu bằng UHPC thì sức chịu tải và độ bền theo thời gian của trụ cầu được cải thiện tăng nhiều.

- Khi so sánh với các giải pháp gia cường truyền thống khác thì giải pháp sử dụng UHPC gia cường có nhiều ưu điểm vượt trội như dễ thi công tại công trường, nhanh đạt cường độ nên tháo ván khuôn sớm, bề dày của lớp gia cường mỏng. Tuy nhiên hạn chế lớn nhất của UHPC đó chính là công nghệ tương đối mới ở Việt Nam, một số vật liệu phải nhập khẩu như sợi thép, hoặc chi phí đầu tư cao cho thiết bị trộn.

- Đối với thực trạng các công trình cầu đang xuống cấp ở Việt Nam thì gia cường trụ cầu bằng UHPC là một giải pháp tiềm năng và là một phương án thiết kế tham khảo tốt cho các kỹ sư.

- Cần thiết có các công trình thí điểm áp dụng UHPC gia cường trụ cầu ở Việt Nam để đánh giá thực tế.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 107.01-2019.325

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. H.A. Le, E. Fehling, Influence of steel fiber content and aspect ratio on the uniaxial tensile and compressive behavior of ultra high performance concrete, *Construction and Building Materials*, 153 (2017) 790-806. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.130>.
- [2]. Nguyễn Văn Tuấn, Phạm Hữu Hanh, Nguyễn Công Thắng, Lê Trung Thành, Văn Viết Thiên Ân, Hoàng Tuấn Nghĩa, Bê tông chất lượng siêu cao - Ultra high performance concrete, NXB Xây dựng, 2017.
- [3]. Nguyễn Công Thắng, Nguyễn Văn Tuấn, Phạm Hữu Hanh, Nghiên cứu chế tạo bê tông chất lượng siêu cao sử dụng vật liệu sẵn có ở Việt Nam, *Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây dựng*, 12 (2012).
- [4]. B.A. Graybeal, Characterization of the behavior of ultra-high performance concrete", Ph.D. Dissertation, University of Maryland, USA, 2005.
- [5]. B.A. Graybeal, J. Tanesi, Durability of an ultra high-performance concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19 (2007) 848-854. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)08991561\(2007\)19:10\(848\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)08991561(2007)19:10(848)).
- [6]. Y. Huang, S. Grünwald, E. Schlangen, M. Luković, Strengthening of concrete structures with ultra high performance fiber reinforced concrete (UHPRC): A critical review, *Construction and Building Materials*, 336 (2022) 127398. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127398>.

[7]. E. Brühwiler, E. Denarié, Rehabilitation and Strengthening of Concrete Structures Using Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete, *Structural Engineering International*, 4 (2013). <https://doi.org/10.2749/101686613X13627347100437>.

[8]. J. Resplendino, F. Toutlemonde, The UHPFRC revolution in structural design and construction. RILEM-fib-AFGC Int. Symposium on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete, UHPFRC2013, October 1-3, Marseille, France, 2013.

[9]. W. Fan, X. Xu, Z. Zhang, X. Shao, Performance and sensitivity analysis of UHPFRC – strengthened bridge columns subjected to vehicle collisions, *Engineering Structures*, 173 (2018) 251-268. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.113>.

[10]. B. Rabehi, Y. Ghernouti, A. Li, K. Boumchedda, Comparative behavior under compression of concrete columns repaired by fiber reinforced polymer (FRP) jacketing and ultra high-performance fiber reinforced concrete (UHPRC), *Journal of Adhesion Science and Technology*, 28 (2014) 2327-2346. [doi:10.1080/01694243.2014.966885](https://doi.org/10.1080/01694243.2014.966885).

[11]. M. Farzad, M. Shafieifar, A. Azizinamini, Retrofitting of Bridge Columns Using UHPC, *Journal of Bridge Engineering*, ASCE, 24, 12 (2019) 0409121-1. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001497](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001497).

[12]. A. Azizinamini, M. Farzad, Accelerated Retrofit of Bridge Columns using UHPC Shell. Research report, Civil & Environmental Engineering Department Florida International University, 2018.

[13]. B. Massicotte, G. Boucher-proulx, Seismic retrofitting of bridge piers with UHPFRC jackets. Proceeding of UHPFRC 2009, 17-18th November 17th & 18th, Marseille, France, 2009.

[14]. A. Reggiaa, A. Morbib, G.A. Plizzari, Experimental study of a reinforced concrete bridge pier strengthened with HPRC jacketing, *Engineering Structure*, 210 (2020) 110355. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.110355>.

[15]. I.Y. Koo, RC Column Retrofit with Ultra High Performance Concrete, PhD Dissertation, Department of Architecture and Architectural Engineering, College of Engineering, Seoul National University, 2017.

[16]. R. Franssen, L. Courard, B. Mihaylov, Réhabilitation et Renforcement de Piles de Pont avec du Béton Fibré à Ultra Haute Performance. Presentation at University of Liege, Belgium, 2018.

[17]. C. Sun, O. Babarinde O, N. Farzana, D. Kurupparachchi, Use of UHPC Jackets in Coastal Bridge Piles, *International Interactive Symposium on Ultra-High Performance Concrete*, 2 (2019). [doi: https://doi.org/10.21838/uhpc.9724](https://doi.org/10.21838/uhpc.9724).

[18]. I. Meda, S. Mostosi, Z. Rinaldi, P. Riva, Corroded RC columns repair and strengthening with high performance fiber reinforced concrete jacket, *Material and Structures*, 49, 5 (2015). <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0627-1>.

[19]. E. Fehling, M. Schmidt, J. Walraven, T. Leutbecher, S. Fröhlich, Ultra-High Performance Concrete: Fundamental – Design – Example, Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany, 2014.

[20]. G. Doiron, Pier repair/retrofit using UHPC examples of completed project in north America, In Proceeding of 1st International Interactive Symposium on UHPC, IOWA, 18-20 July, 2016.

[21]. Trang web: <https://necon.com.vn/tin-tuc/sua-chua-ket-cau-ha-tang-cang-bien-viet-nam/>