

# Nghiên cứu ổn định chất lượng lớp phủ UHPC liên hợp cầu Thăng Long

TS. Trần Bá Việt<sup>1\*</sup>, KS. Lương Văn Hùng<sup>2</sup>, Bùi Xuân Chiến<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hội bê tông Việt Nam

<sup>2</sup> Công ty Sáng tạo và chuyên giao công nghệ Việt Nam

## TỪ KHOÁ

UHPC  
 Kết cấu liên hợp nhẹ  
 Sợi thép,  
 Kéo  
 Nén  
 Uốn  
 Độ chảy xoè  
 Thời gian ninh kết  
 Độ dốc ngang  
 Phụ gia hoá học

## KEYWORDS

Ultra high performance concrete (UHPC)  
 Light composite structure  
 Stell fiber  
 Tensile  
 Compression  
 Flexible  
 spread  
 setting time  
 Horizontal slope  
 Addmixture chemical

## TÓM TẮT

Bài báo đã trình bày các yêu cầu kỹ thuật và chất lượng thi công lớp phủ UHPC liên hợp, được áp dụng cho dự án sửa chữa mặt cầu Thăng Long vào cuối năm 2020. Các kết quả cho thấy chất lượng lớp phủ UHPC (ultra high performance concrete) liên hợp với 2.000 m<sup>3</sup> tương ứng 28.000 m<sup>2</sup> mặt cầu đã thi công đạt và vượt yêu cầu thiết kế.

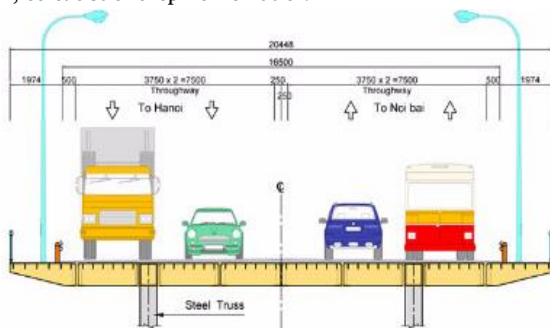
## ABSTRACT

This paper presents the technical requirements and construction quality of the UHPC composite coating, which has been applied to the Thang Long bridge deck repair project at the end of 2020. The results show that the coating quality using up to 2,000 m<sup>3</sup> UHPC, equivalent to 28,000 m<sup>2</sup> of bridge deck, is higher than design requirements.

## 1. Tổng quan

### 1.1. Cầu Thăng Long hiện trạng trước khi sửa chữa

Cầu Thăng Long là công trình thế kỉ, mang đậm biểu tượng hữu nghị của 2 nước Việt Nam – Liên Xô. Cầu được khởi công xây dựng ngày 26 tháng 11 năm 1974 và chính thức khánh thành vào ngày 09 tháng 05 năm 1985. Cầu chính là kết cấu nhịp giàn thép gồm 15 nhịp 112 m, 3 nhịp = 1 liên, 366x5 = 1680 m, độ dốc ngang cầu: 2%. Làn xe cơ giới 16,5 m với 4 làn xe chạy, tải trọng thiết kế là XB80. Phần kết cấu bản mặt cầu trực hướng là thép hợp kim cường độ cao, dày 14 mm, có các sườn thép hờ bên dưới.



Hình 1. Mặt cắt phần mặt cầu tầng 2, cần được sửa chữa.

Do cầu thuộc hệ giao thông vành đai 3 là một trong những tuyến đường huyết mạch kết nối Hà Nội với các tỉnh phía bắc nên lưu lượng giao thông qua cầu là rất lớn. Theo khảo sát tháng 02 năm 2020, lưu lượng xe qua cầu trên 47.000 lượt/ngày đêm với 2 thời điểm nhiều xe nhất là: 8 h đến 10 h sáng và 16 h đến 19 h chiều. Tổng tải trọng của các loại xe chủ yếu qua cầu là trên 45 tấn, lớn hơn rất nhiều so với giá trị cho phép (30 tấn) theo TT46/2015/BGTCT. Sau hơn 25 năm khai thác, cầu đã được sửa chữa lớn vài lần (ở các năm 2009, 2010, 2012) chủ yếu là làm lại lớp thảm nhựa phủ bề mặt nhưng không đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật, bị bong rộp, trôi trượt, gây mất an toàn giao thông và làm tốc độ chạy xe chỉ còn 20 km/h.

Theo báo cáo đánh giá của liên danh Công ty TNHH Tư vấn & Xây dựng Đại học Giao thông Vận tải và Công ty CP Tư vấn Xây dựng Công trình Giao thông 2:

- Năm 2018, mặt nhựa bị rạn nứt khoảng 8.730 m<sup>2</sup> với diện tích hằn lún dưới 2,5 cm là khoảng 1.300 m<sup>2</sup>, từ 2,5 đến 7,0 cm là khoảng 570 m<sup>2</sup>.
- Tại các lỗ khoan thăm dò kiểm tra cho thấy bê tông nhựa không bám dính với bản mặt thép, bị xô dòn về 2 bên lề đường và nước xuất hiện tại vị trí tiếp giáp giữa lớp phủ bê tông nhựa và bản mặt thép trực hướng.

\*Liên hệ tác giả: vietbach57@yahoo.com

Nhận ngày 28/09/2021, sửa xong ngày 04/11/2021, chấp nhận đăng 01/04/2022

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2022.262>

- Tất cả các nhịp xuất hiện nhiều vết nứt dọc, nhiều vị trí có mật độ dày, đặc biệt là vị trí song song với thanh biên giàn chủ – bản chịu kéo ngang.
- Bản thép trực hướng bị biến dạng tích lũy dưới tác dụng của tải trọng chủ yếu do biến dạng tại vị trí liên kết bằng bu lông trên các dầm ngang, không đảm bảo về độ cứng, độ võng lớn hơn rất nhiều so với giới hạn cho phép.
- Các kết quả gia tải mặt cầu cho thấy ứng suất lớn nhất tại đỉnh các dầm ngang – theo phương dọc cầu và đỉnh của thanh mã thượng – theo phương ngang mặt cầu.



Hình 2. Hiện trạng hư hỏng mặt cầu trước khi sửa chữa.

## 1.2. Công nghệ bê tông UHPC

Bê tông tính năng siêu cao-UHPC là sản phẩm cao cấp hơn của bê tông cốt sợi truyền thống, thể hiện các đặc tính về cường độ và độ bền, độ dẻo dai vượt trội nên rất phù hợp để sử dụng trong các kết cấu hạ tầng như xây dựng, cầu đường cao tốc, đặc biệt là sửa chữa mặt cầu nhịp giàn thép. UHPC có độ thấm thấu rất thấp và khả năng chống hư hại băng giá rất tốt. Do đó, khả năng xâm nhập của các chất ăn mòn và hư hỏng do đông lạnh, tan băng giảm đáng kể so với các vật liệu phủ thông thường, giúp tăng cường độ bền. UHPC có khả năng chống mài mòn tốt, điều này có nghĩa là giảm nguy cơ hằn lún. So với bê tông thông thường, hỗn hợp UHPC được thiết kế tốt sẽ có cường độ chịu kéo cao vì vậy giảm được nguy cơ nứt do co ngót. Giả sử, nếu UHPC bị nứt, bề rộng vết nứt thường nhỏ hơn đáng kể so với những vết nứt hình thành trong bê tông thông thường do đã được gia cố bằng các cốt sợi thép rất nhỏ phân tán trong UHPC. Do UHPC có độ bền, độ chịu kéo, độ dẻo dai và độ cứng rất cao, vì vậy một lớp mỏng có thể đáp ứng cả cường độ lẫn độ cứng với tính tải tăng thêm ít nhất [5].

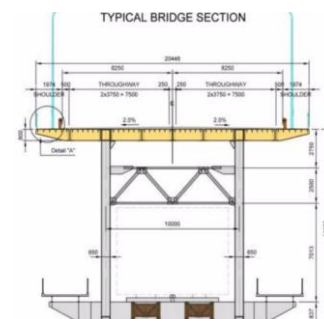
Hiện tại, UHPC đã được sử dụng cho cầu và các thành phần cầu và xây dựng cầu ở nhiều quốc gia khác nhau, bao gồm Úc, Áo, Canada, Trung Quốc, Cộng hòa Séc, Pháp, Đức, Ý, Nhật Bản, Malaysia, Hà Lan, New Zealand, Slovenia, Hàn Quốc, Thụy Sĩ, Việt Nam và Hoa Kỳ. Sử dụng UHPC trong nhiều ứng dụng xây dựng và phục hồi cầu, bao gồm: các phần tử cầu là kết cấu đúc sẵn được làm hoàn toàn bằng UHPC; trang bị và sửa chữa mặt cầu, dầm, kết cấu phụ; và kết nối đúc tại hiện trường giữa các phần tử cầu đúc sẵn [5].

## 2. Nội dung kỹ thuật

### 2.1. Nghiên cứu tổng thể giải pháp sửa chữa

Cục quản lý đường cao tốc Liên Bang Hoa Kỳ – FHWA thuộc Bộ Giao thông vận tải Hoa Kỳ đã xuất bản các tài liệu FHWA IF 12-027-2012: “Manual for design, construction and maintenance of Orthotropic Steel Deck Bridges” (Chỉ dẫn thiết kế, xây dựng và bảo trì bản mặt cầu thép dầm trực hướng – OSDs) vào năm 2012, FHWA HRT 17-097: “Ultra-High Performance Concrete for Bridge Deck Overlays” (lớp phủ mặt cầu bằng bê tông siêu tính năng – UHPC) và FHWA HIF 19-053: “The Use of Thin Asphalt Overlays for Pavement Preservation” (Sử dụng lớp Aspalts mỏng cho bảo tồn mặt đường) vào năm 2019. Trung Quốc cũng đã ban hành GDJTG/T A01-2015: “Chỉ dẫn thiết kế thi công mặt cầu nhẹ UHPC”, DB43/T1173-2016: “Quy phạm thiết kế thi công lớp mặt cầu liên hợp nhẹ (bê tông dẻo dai siêu cao) cho bản mặt cầu thép trực hướng” và gần đây là tiêu chuẩn quốc gia T/CHTS 10036-2021: “Chỉ dẫn lớp bê tông siêu dẻo dai (STC) kết cấu liên hợp bản mặt thép”.

Đặc biệt, tài liệu FHWA HRT 17-097 đã nhận xét rằng lớp phủ bê tông siêu tính năng UHPC là một vật liệu phủ có thể cung cấp cả về việc tăng cường cấu trúc lẫn khả năng bảo vệ khỏi sự xâm nhập của các chất gây ăn mòn bằng cách sử dụng lớp vật liệu dày từ 25mm đến 51mm. Điều này giảm thiểu khối lượng vật liệu cần thiết và có thể giảm thiểu tính tải gia tăng lên kết cấu cầu so với một số giải pháp lớp phủ BTCT truyền thống. Các tiêu chuẩn và chỉ dẫn cho thấy việc sửa chữa mặt cầu thép với giải pháp cơ bản hiện nay là thiết kế chế tạo lớp bê tông siêu tính năng UHPC có tính dẻo dai cao, mỏng và nhẹ. UHPC sẽ làm việc liên hợp với bản mặt thép trực hướng nhằm tăng độ cứng mặt cầu, giảm biến dạng, giảm độ võng, giảm góc uốn và giảm dao động dẫn tới làm giảm ứng suất kéo mặt trên của bản thép. Đồng thời, nó cũng là một lớp trung gian tăng bám dính cho lớp phủ mỏng như là SMA hay Polymer Asphalts.



Hình 3. Mặt cắt điển hình phần cầu chính giàn thép hai tầng cầu Thăng Long.

Từ đầu năm 2019 đến giữa năm 2020, Tổng Cục đường bộ Việt Nam-DRVN đã giao Hội Bê tông Việt Nam-VC chủ trì phối hợp cùng với Trung tâm Khoa học công nghệ GTVT- ĐH GTVT Hà Nội thực hiện, nghiên cứu lớp liên hợp UHPC với bản mặt cầu thép dầm hờ trực hướng trên lần lượt các mô hình nhỏ và lớn. TS. Trần Bá Việt (PCT kiêm tổng thư ký Hội Bê tông Việt Nam) chủ trì nhóm nghiên cứu đã báo cáo Thứ trưởng Bộ GTVT Lê Đình Thọ và Tổng cục Đường bộ Việt

Nam về kết quả thử nghiệm mô hình nhỏ lớp UHPC liên hợp bản mặt cầu thép OSDs do Hội Bê tông Việt Nam phối hợp với Trung tâm KHCNGTVT- ĐHGTVT thực hiện.

Đây là kết quả quan trọng, thuyết phục để Bộ GTVT và Tổng Cục đường bộ Việt Nam định hướng lựa chọn giải pháp áp dụng trong dự án sửa chữa cầu Thăng Long, chính là tăng cường độ cứng cho bản mặt cầu, biến cải kết cấu OSD với lớp phủ SMA thông thường thành kết cấu liên hợp nhẹ. Sử dụng lớp phủ bê tông UHPC cấp 120/7 MPa, dày 60 mm liên kết cùng đỉnh neo Studs + lưới thép hai phương đã làm tăng cứng bản mặt cầu trực hướng.



**Hình 4.** Mô hình lớn thử nghiệm lớp UHPC liên hợp bản mặt thép trực hướng OSD.

2.2. Các dự án tương tự trên thế giới



**Hình 5.** Các cầu tại Hà Lan như: cầu Caland được sửa chữa năm 2003, Moerdijk được sửa chữa năm 2005, Hagenstein được sửa chữa năm 2005.



**Hình 6.** Cầu Shonan Ohashi tại Nhật Bản được sửa chữa năm 2005.



**Hình 7.** Cầu Illzach tại Pháp được sửa chữa năm 2009.

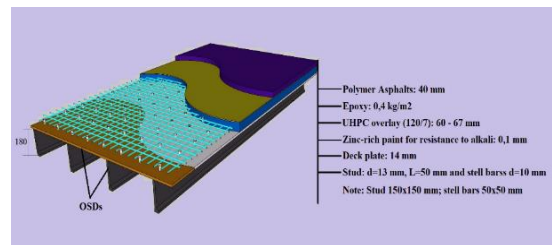


**Hình 8.** Các cầu tại Trung Quốc như: Mã phòng sửa chữa năm 2011, Shantou Queshi sửa chữa năm 2016, Động Đình sửa chữa năm 2017, Hongtang sửa chữa năm 2019.

2.3. Yêu cầu kỹ thuật công nghệ

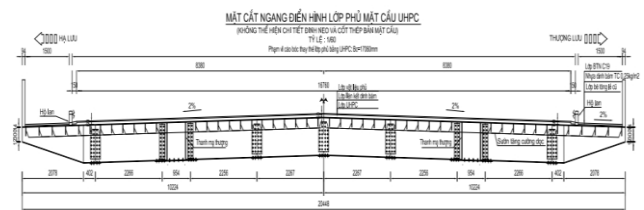
Các yêu cầu kỹ thuật của dự án đối với lớp phủ UHPC đã được nghiên cứu, đánh giá, xác định như sau:

- Độ chảy xoè thử bằng nhớt kettartsau trộn  $\geq 100$  mm và không quá 150mm; và nhiệt độ hỗn hợp UHPC sau trộn  $< 35$  °C;
- Hàm lượng sợi thép trong hỗn hợp UHPC  $\geq 2,5$  % và khối lượng thể tích hỗn hợp UHPC trong khoảng  $2450 \div 2520$  kg/m<sup>3</sup>;
- Thời gian ninh kết của bê tông UHPC lớn hơn 8 tiếng và không quá 12 tiếng;
- Cường độ chịu nén tuổi  $R_{28} \geq 120$  MPa (đối với mẫu trụ d100 x h200 mm), cường độ chịu kéo ở tuổi  $R_{28} \geq 7$  MPa (đối với mẫu  $50 \times 100 \times 500$  mm) và Modul đàn hồi  $\geq 42$  GPa;
- Biến dạng co khô  $\leq 550$   $\mu\text{m}/\text{m}$ ; biến dạng co khô sau bảo dưỡng nhiệt ẩm nhỏ hơn 100 micromet.



**Hình 9.** Cấu tạo các lớp mặt cầu Thăng Long cho thiết kế sửa chữa năm 2020.

2.4. Lựa chọn vật liệu thành phần chính



**Hình 10.** Mặt cắt bản mặt tầng 2 với độ dốc ngang mặt cầu 2 %.

#### 2.4.1. Yêu cầu kỹ thuật về vật liệu

- Xi măng PC50 đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật được quy định trong TCVN 2682:2020 “Xi măng Poóc lăng – Yêu cầu kỹ thuật”;
- Phụ gia khoáng – silica fume đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật được quy định trong TCVN 8827:2011 “Phụ gia khoáng hoạt tính cao dùng cho bê tông và vữa – Silicafume và tro trấu nghiền mịn”;
- Tro xi hoạt tính nghiền mịn đáp ứng TCVN 11586:2016 “Xi lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa”;
- Cát thạch anh đã qua sàng tuyển đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật được quy định trong TCVN 9036:2011 “Nguyên liệu để sản xuất thủy tinh – Cát – Yêu cầu kỹ thuật”;
- Phụ gia hoá học (phụ gia dẻo thể hệ 4, phụ gia lưu biến và chất ổn định) đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật được quy định trong TCVN 8826:2011 “Phụ gia hoá học cho bê tông”;
- Nước hoà trộn đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật quy định trong TCVN 4506:2012 “Nước cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật”;
- Cốt sợi thép được nhập khẩu, đáp ứng ASTM 2019-A 820.

#### 2.4.2. Chất kết dính

Xi măng pooc lăng là chất kết dính chủ yếu trong thành phần hỗn hợp UHPC. Để đảm bảo chất lượng với cường độ nén ổn định mà tỉ lệ sử dụng tối thiểu giúp giảm độ co ngót, đã lựa chọn xi măng PC50 có hoạt tính cường độ > 60 MPa. Để cải thiện tính chất của UHPC, bảo đảm an toàn cho kết cấu thép bản mặt cầu, hệ lưới thép và đinh neo Stud và cốt sợi thép phân tán ít bị ăn mòn nên xi măng Type II được ưu tiên sử dụng.

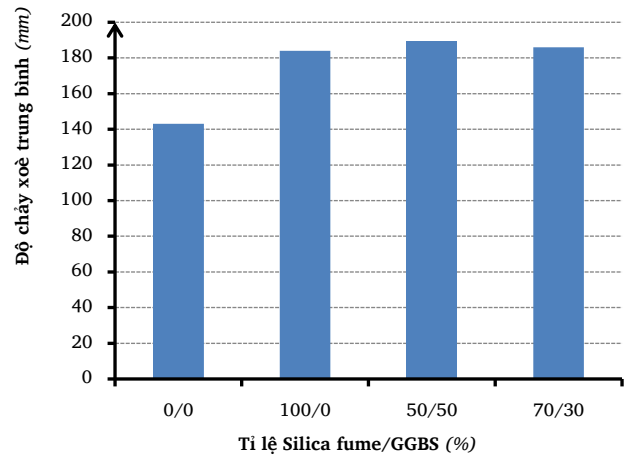
Với hàm lượng xi măng có trong thành phần là rất lớn, đồng thời với một lượng nước trộn thấp dẫn đến hỗn hợp UHPC có tính công tác kém, do đó có sự co ngót rất lớn. Việc bổ sung Silica Fume và xi hoạt tính lò cao GGBS làm chất kết dính có thể cải thiện khả năng làm việc của UHPC nhờ kích thước hạt của các loại này mịn hơn nhiều và có dạng hình cầu tối ưu. Trong quá trình nghiên cứu, đã có rất nhiều chủng loại Silica Fume được đưa vào thử nghiệm như: BASF, SIKA, EKEM, IPRO, BESTMIX. Việc bổ sung Silica Fume và GGBS cho kết quả độ chảy xoè của UHPC lớn hơn khoảng 30 đến 40 % so với việc không sử dụng khi mà cấp phối có cùng tỷ lệ N/CKD.

#### 2.4.3. Cốt liệu và cốt sợi

Việc sử dụng cốt liệu chính là cát thạch anh mà không sử dụng cốt liệu lớn nhằm làm giảm thiểu các lỗ rỗng ITZ dẫn đến độ xốp tổng thể thấp hơn trong matrix, dẫn đến độ bền cơ học tăng cao. Loại cát thạch anh được sử dụng là cát trắng ven biển ngay tại Việt Nam, đã qua sàng tuyển kỹ lưỡng và rửa trôi độ mặn.

Để đáp ứng được yêu cầu về cường độ chịu kéo, UHPC bắt buộc phải sử dụng cốt sợi là sợi thép. Sợi thép được lựa chọn là sợi thép thẳng mạ đồng nhập khẩu, có cường độ cao ( $R_{kéo} > 2800$  MPa) và tỉ lệ hướng sợi là 65. Khi có thêm sợi thép, UHPC tăng vượt trội

về đặc tính cường độ chịu kéo. Độ bền kéo tăng tuyến tính với hàm lượng sợi thép, sự gia tăng khi bổ sung sợi thép là từ 150 ÷ 300 % so với việc không sử dụng nó. Ngoài ra, sợi thép cũng giúp tăng đáng kể khả năng chịu nén mặc dù không nhiều (10 ÷ 25 %) nhờ việc bọt khí bị giữ lại ít hơn và khả năng chịu biến dạng ngang đã được tăng cường.



Hình 11. Biểu đồ đánh giá tác dụng của Silica Fume, GGBS đến độ chảy xoè hỗn hợp UHPC.



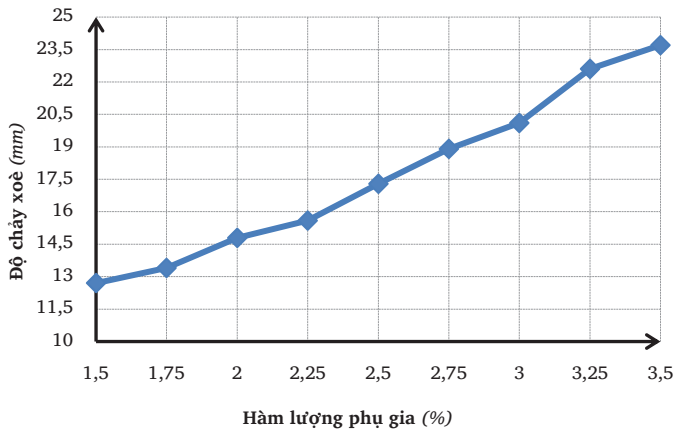
Hình 12. Cát thạch anh và cốt sợi thép cường độ cao

#### 2.4.4. Phụ gia siêu dẻo gốc PCE

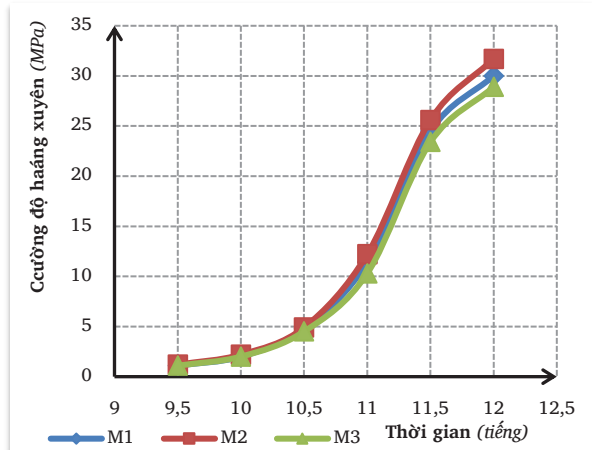
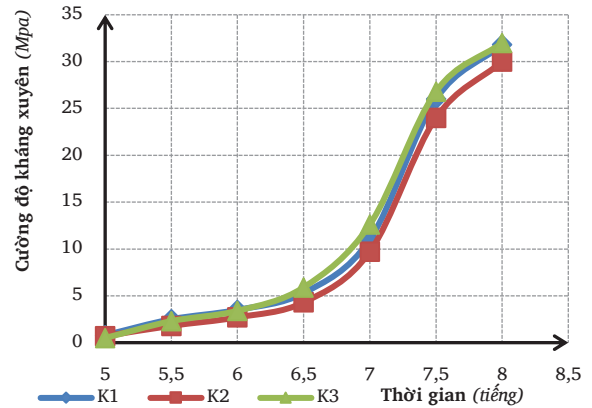
Tính công tác của UHPC giảm do tỉ lệ N/CKD rất thấp có thể được cải thiện bằng cách cho thêm phụ gia dẻo gốc PCE thể hệ 4 giảm nước ở mức cao, việc bổ sung này đã tạo thành một lớp bôi trơn lên bề mặt các hạt, đặc biệt là tạo thành dòng hiệu ứng phân tán của cốt sợi.



Hình 13. Chất ổn định P-BASF, phụ gia dẻo và phụ gia lưu biến PCE-R.



Hình 14. Biểu đồ đánh giá tác dụng của phụ gia siêu dẻo đến độ chảy xoè hỗn hợp UHPC.

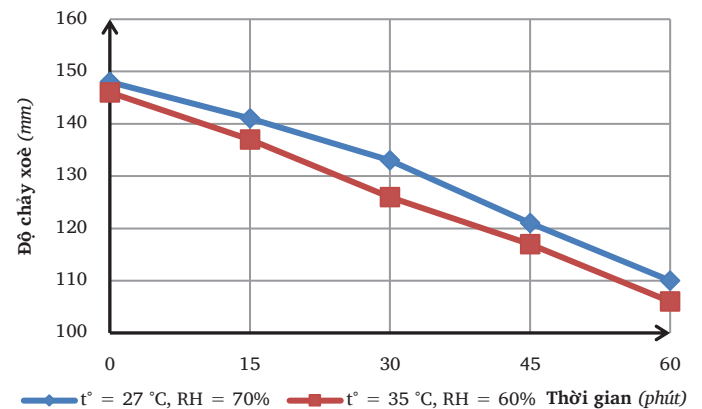


Hình 15. Thời gian ninh kết của mẫu UHPC không có và có PCE-R.

2.4.5. Nhóm phụ gia đặc biệt

Là nhóm phụ gia đặc biệt, thường là gốc xelluloz hoặc keo gôm. Chúng có tác dụng ổn định tính chất lưu biến của hỗn hợp UHPC trong thi công. Do cầu có 2 tầng tách biệt, ở tầng 1 phần đường bộ và đường sắt vẫn hoạt động bình thường nên việc thi công lớp phủ UHPC phải đảm bảo các tác động do tàu hoả di chuyển qua với tốc độ 15 km/h, mà không làm ảnh hưởng đến chất lượng lớp UHPC đang thi công cán rải đầm. Phụ gia lưu biến PCER trong nhóm này cho phép duy trì tính công tác của UHPC khi có chấn động nhẹ trong suốt thời gian thi công 1 nhịp đổ, mà không làm ảnh hưởng đến các tính chất cơ lý của nó theo thời gian, kéo dài thời gian ninh kết của hỗn hợp UHPC lên thành 8 đến 10 tiếng.

Để đảm bảo sau khi thi công xong lớp phủ UHPC vẫn giữ được độ dốc ngang mặt cầu 2 % là độ dốc thoát nước ngang mặt cầu, độ chảy của xoè của hỗn hợp UHPC sau trộn phải nằm trong khoảng 100 đến 150 mm. Nhưng với độ chảy trên thì sợi sẽ không được phân tán tốt, vì thế đã sử dụng chất ổn định P-BASF trong nhóm phụ gia này cho vào hỗn hợp UHPC và trộn tiếp khoảng 2 phút, sau khi đã trộn sợi phân tán tốt, hỗn hợp đồng nhất và đẳng hướng, độ chảy xoè > 180 mm. Sau khi có thêm P-BASF độ chảy xoè của hỗn hợp UHPC giảm xuống 100 ÷ 150 mm mà không ảnh hưởng đến tính chất cơ lý của UHPC.



Hình 16. Tác dụng duy trì tính công tác của PCE-R tại các điều kiện môi trường khác nhau.

2.4.6. Thử nghiệm đánh giá cấp phối

Mẫu cấp phối thử nghiệm, đánh giá chất lượng ở các điều kiện khác nhau cho kết quả rất tốt, có hệ số an toàn cao: cường độ chịu nén cao hơn mức yêu cầu > 30 %, cường độ chịu kéo > 40 %.

**Bảng 1.** Thống kê kết quả thí nghiệm cấp phối UHPC các lần kiểm tra khác nhau.

Nội dung		lần 1	lần 2	lần 3	lần 4	lần 5
t°-môi trường (°C)		20 ± 2	27 ± 2	31 ± 2	22	36
RH-môi trường, %		50 ± 2 %	80 ± 2	65 ± 2	85	65
Thời tiết chung		-	-	-	Mưa	Nắng
Vị trí đúc mẫu		Phòng TN	Phòng TN	Phòng TN	Sân có mái che	Sân có mái che
Độ chảy xoè 1, (mm) (chưa thêm P-BASF)		191	196	187	194	183
Độ chảy xoè 2, (mm) (sau thêm P-BASF)		145	146	141	142	127
Thời gian đông kết, (tiếng)	B/đầu	10:05	10:20	10:00	10:15	9:50
	K/thúc	11:30	12:00	11:20	11:35	11:15
Hàm lượng sợi,(%)		2,62/Đạt	2,57/Đạt	2, 56/Đạt	2,60/Đạt	2,57/Đạt
Cường độ chịu nén(MPa)	R <sub>4</sub>	148,3	154,3	151,4	150,8	146,7
	R <sub>7</sub>	152,4	154,7	151,0	153,2	151,0
	R <sub>28</sub>	152,6	156,9	152,7	154,5	151,3
Cường độ chịu kéo(MPa)	R <sub>4</sub>	9,2	8,6	10,1	11,6	9,4
	R <sub>7</sub>	9,1	10,7	11,6	11,1	9,8
	R <sub>28</sub>	10,6	9,3	9,8	12,5	11,3
Modul đàn hồi, (GPa)	R <sub>28</sub>	51,6	52,7	52,3	53,1	50,9

Nhận xét : Các chỉ tiêu đều vượt yêu cầu thiết kế và chỉ dẫn thi công nghiệm thu.

**2.3. Nghiên cứu giải pháp thi công**

Ngoài ra, UHPC cũng phải đáp ứng được điều kiện thi công trên mặt cầu: nhiệt độ không khí không quá 40 °C, độ ẩm không khí không nhỏ hơn 60 %. Nhằm đảm bảo yêu cầu trên, toàn bộ mặt cầu được chia thành 32 phân đoạn với các kích thước chiều dài khác nhau (90 m, 112m, 134 m), mỗi phân đoạn được thi công trong khoảng thời gian từ 6 ÷ 10 tiếng, trong nhà có mái che chắn kín 2 bên để tránh mưa nắng trực tiếp và khi phun nước, không bị gió thổi cuốn đi. Để thời gian thi công được rút ngắn và chất lượng UHPC được ổn định ở mức cao, đồng thời phân chia quá trình trộn thành 2 giai đoạn: trộn khô UHPC (trộn trước tại nhà máy) và trộn ướt UHPC (tại hiện trường):

- Sử dụng bột khô UHPC trộn sẵn đã có sẵn sợi thép được trộn sẵn trên máy trộn tăng cường của Châu Âu và đóng gói theo định lượng từng mẻ trộn tại nhà máy nhằm rút ngắn thời gian trộn.

- Bột khô được trộn trước thời điểm thi công trong khoảng thời gian 2 ÷ 3 ngày để đem lại hiệu quả cao nhất về chất lượng sản phẩm, nhiệt độ hỗn hợp bột < 60 °C.
- Trộn ướt UHPC với thời gian trộn ≥ 8 phút và không quá 14 phút với điều kiện nhiệt độ môi trường thi công phải nằm trong khoảng 5°C ≤ t° ≤ 40 °C.

Để đảm bảo được nhiệt độ hỗn hợp UHPC sau trộn không vượt quá 35 °C theo NF P18-470 “Tiêu chuẩn Quốc gia Pháp về vật liệu UHPC – Yêu cầu kỹ thuật”[ 1,2], các phương pháp đã được đề xuất áp dụng là :

- Ổn định nhiệt độ môi trường tại trạm trộn bằng các thiết bị phun tia nước bụi – sương ẩm xung quanh các trạm trộn, đặc biệt là thành cối trộn < 35°C;
- Đá khô CO<sub>2</sub> được xếp xung quanh với mục đích làm lạnh thành cối trộn < 15°C;
- Sử dụng Chiller – thiết bị làm lạnh và nước đá cây công nghiệp để làm lạnh nước trộn luôn ổn định < 5°C ;

Mỗi đợt đổ UHPC sử dụng khoảng 12 tấn đá cây công nghiệp và khoảng 60kg đá khô CO<sub>2</sub> (tuỳ vào nhiệt độ môi trường khi thi công để thay đổi lượng sử dụng). Và yêu cầu phủ bạt che kín lên xe vận chuyển hỗn hợp UHPC sau trộn khi điều kiện thời tiết không thuận lợi như trời nắng hoặc có mưa nhỏ và vừa.



**Hình 17.** Hỗn hợp bột UHPC, đá khô CO<sub>2</sub>, đá cây công nghiệp và bạt phủ xe xúc lật.

Để tránh việc UHPC bị bay hơi nước, đã giảm co mềm, ngăn nứt do co mềm hiệu quả, nhóm nghiên cứu đã đề xuất sử dụng màng fiml PVC có sẵn các hạt Silicagen bên trong bề mặt, phủ lên bề mặt UHPC ngay sau khi vừa thi công cán – rải cùng công tác phun nước ẩm liên tục.



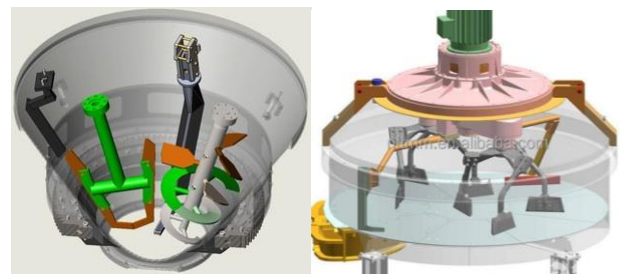
**Hình 18.** Nhà có mái che kín và màng fiml PVC có sẵn các hạt Silicagen.

Sau thi công 24 tiếng, sẽ áp dụng công nghệ bảo dưỡng nhiệt ẩm ( $80 \pm 5$  °C) ở điều kiện áp suất thường, liên tục trong 72 tiếng để thúc đẩy UHPC phát triển cường độ tuổi sớm ngày. Phương pháp này gần như triệt tiêu co khô và rút ngắn được thời gian thi công cả dự án. Trong suốt quá trình bảo dưỡng, mức ổn định nhiệt độ được theo dõi và tự động khống chế liên tục, tốc độ tăng – hạ nhiệt không được vượt quá lần lượt 12 °C/h và 15 °C/h để tránh phần lớp phủ UHPC bị sốc nhiệt làm giảm chất lượng hay nứt. Và sau đó, phun nước liên tục trong 7 ngày tiếp theo sau khi kết thúc bảo dưỡng nhiệt ẩm với tần suất 4 lần/ngày để UHPC không bị bay hơi nước và gây biến dạng nhiệt ẩm có thể gây nứt.

#### 2.4. Nghiên cứu lựa chọn thiết bị liên quan

Tại nhà máy sử dụng máy trộn SKAKO – Đan mạch để trộn hỗn hợp bột khô UHPC. Với thiết kế thùng trộn hình côn đồng ROTOCONIX® kết hợp các nguyên tắc trộn khác nhau đồng thời nên không có vùng chết nào trong máy trộn, độ đồng nhất cao khi trộn cả cốt sợi thép. Đặc biệt, máy trộn có tốc độ lớn, rút ngắn được thời gian trộn, không làm tăng quá mức nhiệt độ hỗn hợp bột khô (yêu cầu < 60 °C).

Tại công trường sử dụng 2 trạm trộn với 4 máy trộn liên hoàn CO-NELE – Trung Quốc, đây là máy trộn hành tinh trục đứng, có thể cải thiện hiệu quả độ bám dính của cốt liệu mịn với vữa xi măng và giảm vết nứt của UHPC. Máy trộn có khả năng truyền động êm, hiệu quả trộn cao, chất lượng trộn cao, thiết bị làm kín cao, độ bền cao, dễ dàng vệ sinh bên trong và không gian bảo trì lớn. Máy trộn kiểu này kết hợp hai chuyển động trên cùng một mặt phẳng nên cho hỗn hợp bột có mức độ đồng nhất không cao nhưng độ mài mòn ít. Để đạt được hiệu quả tối ưu về chất lượng sản phẩm đầu ra lẫn thời gian hoạt động trang thiết bị và kịp thời gian thi công 1 phân đoạn mà ở đây là thời gian trộn, sau các lần chạy thử có tải lần không tải, đã quyết định dung tích mẻ trộn là 0,45 m<sup>3</sup>/mẻ/máy trộn. Với nguyên tắc làm việc so le giữa 2 trạm trộn, hỗn hợp UHPC sẽ được trộn ra liên tục, giúp phần thi công không bị ngắt quãng.



**Hình 19.** Nguyên lý làm việc của máy trộn tăng cường SKAKO và CO-NELE.

Để vận chuyển hỗn hợp UHPC sau khi trộn đến vị trí thi công một cách kịp thời, hiệu quả với số lượng công nhân điều khiển tối thiểu, sử dụng 5xe xúc lật với dung tích gầu chứa > 1m<sup>3</sup>.



**Hình 20.** Trạm trộn tại hiện trường, xe xúc lật vận chuyển hỗn hợp UHPC.

Máy rải-đầm-cán liên hợp được sử dụng để đầm chặt lớp phủ UHPC, có thể lấp kín các khe giữa lưới thép, đỉnh neo và bản mặt thép mà bề mặt cũng được hoàn thiện với độ dốc ngang 2%. Máy cũng được cài đặt sẵn chiều cao làm việc để lớp phủ UHPC có chiều dày tối thiểu là 60 mm. Tốc độ của máy được duy trì ổn định ở mức  $11 \div 2$  m/h, góp phần quan trọng trong việc rút ngắn thời gian thi công của từng phân đoạn. Ngoài ra, tại công trường còn sử dụng một sàn thao tác đi động chạy ngay sau máy rải-đầm-cán để công nhân có thể xoa lại mặt lớp phủ tại các vị trí chưa được hoàn thiện và dán màng film PVC bảo dưỡng ẩm.



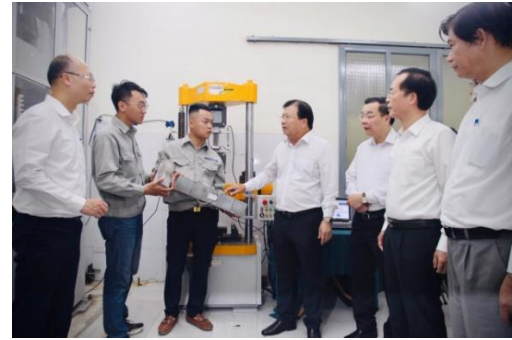
Hình 21. Máy rải – đầm – cán và sàn thao tác tại hiện trường thi công.

Thiết bị bảo dưỡng nhiệt ẩm bao gồm nồi hơi, hệ thống dẫn hơi và buồng bảo dưỡng. Với chiều dài một phân đoạn là rất lớn nên cần sử dụng nồi hơi di động, và có số lượng là 5 cái. Hệ thống nồi hơi với lò hơi đốt bằng dầu FO đi kèm cùng với các bộ control nhiệt độ và hệ thống ống dẫn, van, sensor. Với bộ control có thể cài đặt tự động cho chế độ bảo dưỡng với dao động nhiệt trong buồng bảo dưỡng là 5 °C.



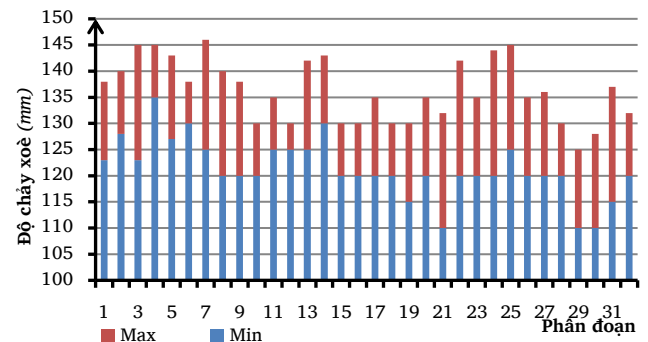
Hình 22. Nồi hơi và buồng bảo dưỡng nhiệt ẩm lớp phủ UHPC.

### 3. Chất lượng thi công

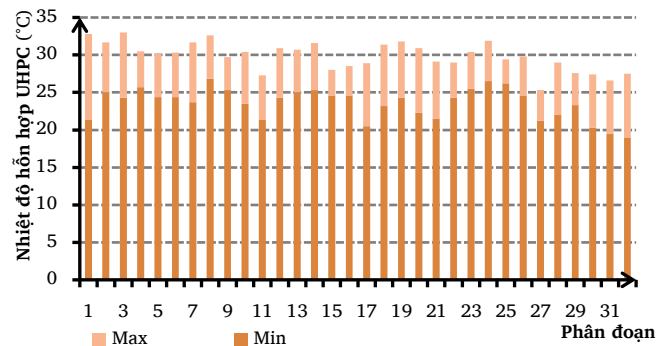


Hình 23. Nguyên Phó TTCP Trịnh Đình Dũng trao đổi về phương pháp kiểm tra, đánh giá chất lượng bê tông UHPC cho mặt cầu Thăng Long, Viện Vật liệu xây dựng – Đơn vị kiểm định chất lượng thi công UHPC tại hiện trường.

- Kiểm tra nhiệt độ UHPC của 32 phân đoạn thi công cho kết quả tương đối ổn định, chứng tỏ việc sử dụng Chiller làm mát nước trộn và các giải pháp làm lạnh khác đi cùng, đem lại hiệu quả cao, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật.
- Kết quả kiểm tra độ chảy xòe của hỗn hợp UHPC của 32 phân đoạn thi công đều đáp ứng yêu cầu kỹ thuật.
- Cả 32 phân đoạn đã thi công đều có kết quả kiểm tra chất lượng lớp phủ UHPC sau bảo dưỡng nhiệt rất tốt – cường độ chịu nén tương đối ổn định, vượt mức yêu cầu thiết kế từ 5 ÷ 40 %.
- Cả 32 phân đoạn thi công đều có kết quả kiểm tra cường độ chịu kéo tương đối ổn định, vượt mức yêu cầu thiết kế từ 20 ÷ 80 %.

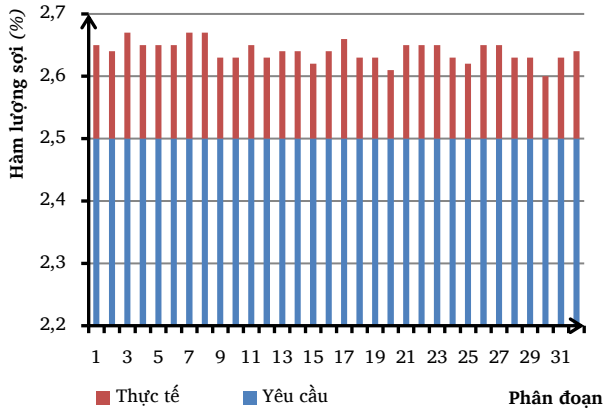


Hình 24. Kiểm soát độ chảy xòe của hỗn hợp UHPC sau trộn của 32 phân đoạn.

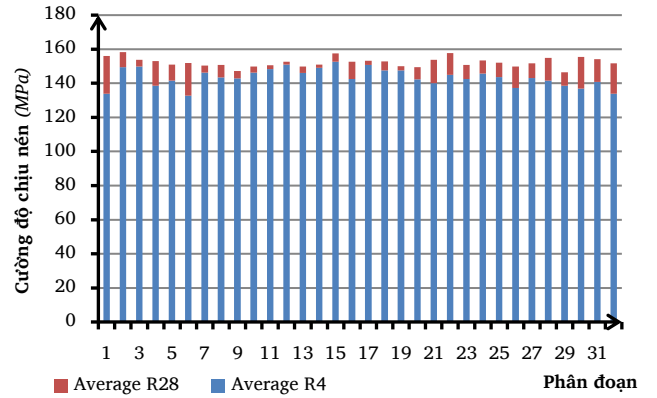


Hình 25. Kiểm soát nhiệt độ của hỗn hợp UHPC sau trộn của 32 phân đoạn.

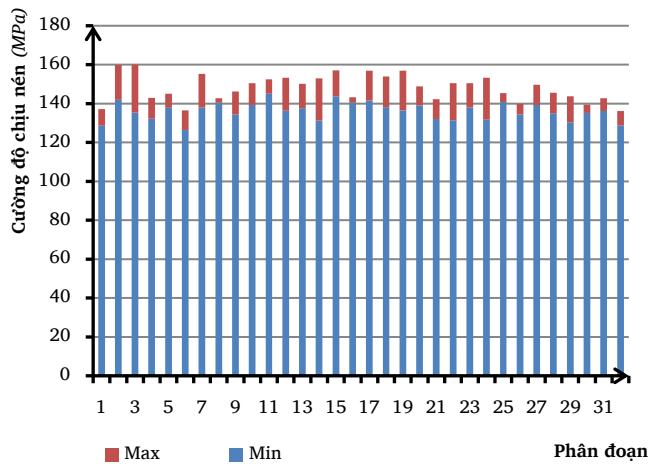




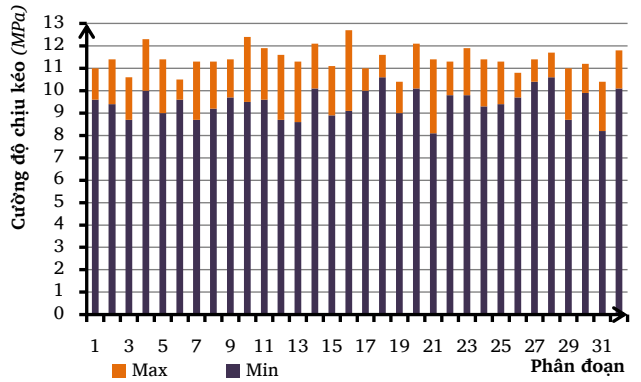
Hình 26. Theo dõi chất lượng hỗn hợp UHPC – hàm lượng sợi thép của 32 phân đoạn.



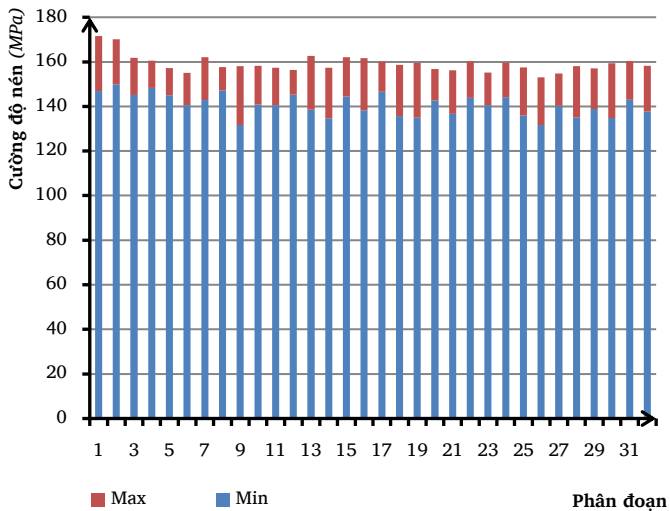
Hình 29. Cường độ chịu nén của UHPC – tại 4 và 28 ngày tuổi.



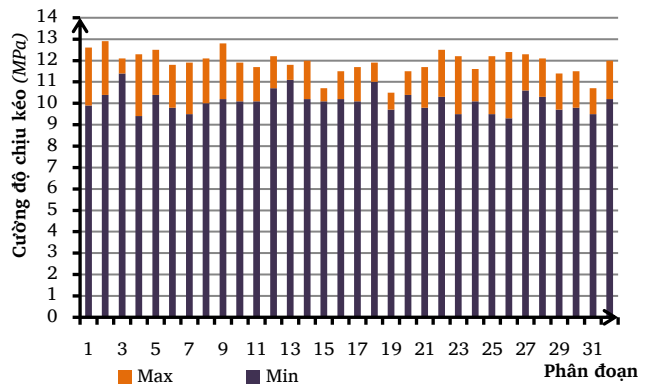
Hình 27. Kiểm tra cường độ chịu nén của UHPC – tại 4 ngày tuổi.



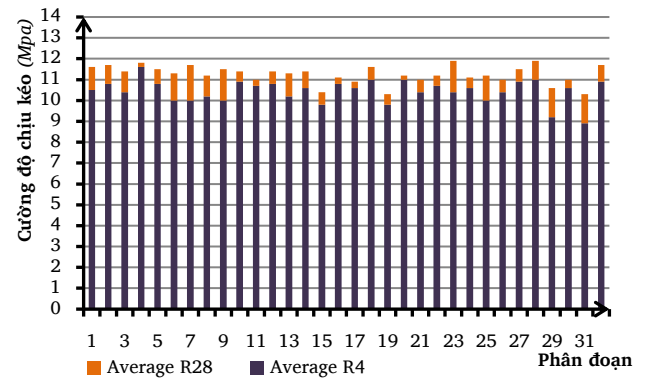
Hình 30. Kiểm tra cường độ chịu kéo của UHPC – tại 4 ngày tuổi



Hình 28. Kiểm tra cường độ chịu nén của UHPC – tại 28 ngày tuổi.



Hình 31. Kiểm tra cường độ chịu kéo của UHPC – tại 28 ngày tuổi.



Hình 32. Cường độ chịu kéo của UHPC – tại 4 và 28 ngày tuổi.

#### 4. Kết luận



**Hình 33.** Đoàn công tác lãnh đạo Hội Bê tông Việt Nam thị sát hiện trường thi công sửa chữa mặt cầu Thăng Long.

- Quá trình thi công đã kiểm lựa chọn và ổn định chất lượng nguyên vật liệu tại Việt Nam và thiết kế cấp phối đáp ứng tất cả các yêu cầu của thiết kế kết cấu và điều kiện công nghệ thi công và thay đổi của thời tiết môi trường trong suốt thời gian thi công.

- Đã thi công với chất lượng ổn định, chế tạo 2000 m<sup>3</sup> UHPC tương đương 28.000 m<sup>2</sup> mặt cầu lớp phủ UHPC liên hợp để sửa chữa cầu Thăng Long, Hà Nội, Việt Nam liên tục trong 3 tháng cuối năm 2020.
- Thông xe trở lại cầu Thăng Long từ ngày 7 tháng 1 năm 2021 tới nay đã qua 9 tháng khai thác với tốc độ xe là 80km/h, lượt xe trên 45.000 lượt xe/ngày đêm, tải xe 35 tấn cho tới 45 tấn ( tải trọng trục 10 tấn) cho thấy chất lượng lớp phủ UHPC liên hợp làm việc là tin cậy, đáp ứng và vượt yêu cầu, chỉ dẫn thiết kế.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. NF P18-710: National addition to Eurocode 2 – Design of concrete structures: specific rules for Ultra-High Performance Concrete.
- [2]. NF P 18-470 Concrete – Ultra-high performance fibre-reinforced concrete - Specifications, performance, production and conformity
- [3]. NF P 18-451 Concrete – Execution of concrete structures - Specific rules for UHPRFC
- [4]. ASTM C1856/C1856M - 17 Standard Practice for Fabricating and Testing Specimens of Ultra-High Performance Concrete
- [5]. FHWA-HRT-18-036 Properties and Behavior of UHPC-Class Materials