

Nghiên cứu công nghệ bê tông siêu tính năng (UHPC) ứng dụng để thiết kế chế tạo dầm cầu tiết diện chữ U, nhịp 50m

Ultra High Performance Concrete (UHPC) technology to manufacture bridge girders with U-section, 50m span

> TS TRẦN BÁ VIỆT¹, THS ĐẶNG VĂN HIẾU², KS LÊ HOÀNG PHÚC², KS LƯƠNG TIẾN HÙNG²

¹Hội Bê tông Việt Nam - VCA; Email: vietbach57@yahoo.com;

²Công ty CP Sáng tạo và CGCN Việt Nam.

TÓM TẮT:

Nghiên cứu công nghệ về bê tông siêu tính năng (UHPC) ứng dụng cho kết cấu hạ tầng xây dựng chung, đặc biệt là hạ tầng giao thông (cầu đường bộ) là một lĩnh vực nghiên cứu nhận được nhiều sự quan tâm trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Với nhiều tính năng vượt trội hơn so với bê tông cốt thép thường, UHPC cho phép chế tạo các dầm cầu với chiều dày mỏng, khối lượng nhẹ, mức độ kháng ăn mòn cao, cùng tuổi thọ cao, thời gian thi công ngắn và có chi phí bảo trì rất nhỏ. Bài báo trình bày những nghiên cứu sử dụng UHPC để thiết kế và chế tạo dầm cầu tiết diện chữ U nhịp 50m, dự ứng lực căng sau.

Từ khóa: Bê tông siêu tính năng - UHPC; trạng thái giới hạn cường độ; trạng thái giới hạn sử dụng; sợi thép cường độ cao; độ chảy xoè; cường độ chịu nén; cường độ chịu uốn; cường độ chịu kéo; modul đàn hồi.

ABSTRACT:

Research on Ultra High Performance Concrete (UHPC) technology applied to construction infrastructure in general, especially traffic infrastructure (road bridges) is a research area of interest to the world as well as in Vietnam. With many superior features compared to conventional reinforced concrete, UHPC allows the production of fishing girders with thin dimensions, light weight, high corrosion resistance and long service life, short construction time and very small maintenance fee. This paper presents studies on using UHPC to fabricate U-section bridge girders.

Keywords: Ultra High Performance Concrete - UHPC, post-tensioning; ultimate limit state; serviceability limit state; micro steel fiber; flow; compressive strength; flexural strength; tensile strength; modulus.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mặc dù đã được ứng dụng tại các nước phát triển trong khoảng gần 30 năm nay, nhưng UHPC đối với Việt Nam vẫn là một công nghệ vẫn còn khá mới với triển vọng ứng dụng cao vì có nhiều tính năng vượt trội hơn so với bê tông thông thường. Các nghiên cứu cũng như các công trình đã được thi công tại Việt Nam đã kiểm chứng sự hiệu quả của UHPC khi có cường độ chịu nén từ 120 ÷ 190 MPa, cường độ chịu kéo 6 ÷ 14 MPa, cường độ chịu uốn 20 ÷ 36 MPa và các tiêu chí khác. Điều này có được là nhờ sự phối trộn một hỗn hợp UHPC với các tỉ lệ vật liệu thành phần hợp lý tạo ra sự tối đa về độ đặc chắc tối đa cùng sự phân tán 3D của cốt sợi thép cấu trúc.

Hiện tại ở Việt Nam chủ yếu sản xuất UHPC và chế tạo dầm Double T với kích thước còn hạn chế. Điều này thể hiện ở chiều dài dầm, dẫn đến hiệu quả của UHPC trong ứng dụng giao thông chưa được khai thác tối đa. Để cải thiện, có rất nhiều phương án thiết kế khác như dầm máng hình hộp kín hay các dầm tiết diện chữ I, chữ T, chữ U.

Trong bài viết này nhóm nghiên cứu trình bày về phương án sử dụng công nghệ UHPC chế tạo dầm chữ U nhịp dài 50m, tải HL93.

Trên thế giới có Công ty Dura, Malaysia đã thiết kế chế tạo dầm cầu UHPC nhịp đơn trên 100m.



Hình 1. Cầu Batu 6 UHPC - nhịp 100m



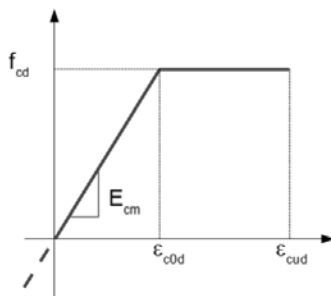
Hình 2. Cầu Sungai Langat UHPC - nhịp 105m. Kỷ lục thế giới với dầm UHPC, 2022.

2. TÀI LIỆU, TIÊU CHUẨN ÁP DỤNG

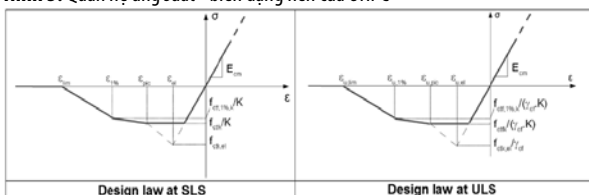
- TCVN 1651:2018, thép cốt bê tông.
- TCVN 11823-3:2017, thiết kế cầu đường bộ.
- TCCS 02:2017/IBST, bê tông tính năng siêu cao UHPC - Hướng dẫn thiết kế kết cấu.
- NF P18-470:2017, concrete - ultra-high performance fibre-reinforced concrete - specifications, performance, production and conformity.
- NF P18-710:2016, national addition to Eurocode 2 - design of concrete structures: specific rules for ultra-high performance fibre-reinforced concrete.
- NF P18-451:2018, concrete - execution of concrete structures - specific rules for ultra-high performance fibre-reinforced concrete.
- ASTM C230/C230M-21, standard specification for flow table for use in tests of hydraulic cement.
- ASTM A416/A416M-16, standard specification for low-relaxation, seven-Wire steel strand for prestressed concrete.
- ASTM C469/C469M-14e1, standard test method for static Modulus of elasticity and Poisson's ratio of concrete in compression.
- ACF 04:2020, materials UHPC - technicals specification.
- K-UHPC:2014, Design guidelines for UHPC.

3. PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ DẦM

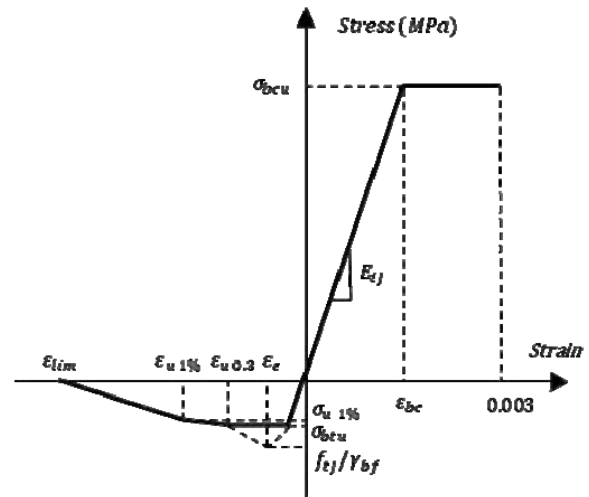
Để thiết kế dầm UHPC ở 2 trạng thái giới hạn cường độ (ULS) và trạng thái giới hạn sử dụng (SLS), NF-P18 cho phép sử dụng kết hợp mối quan hệ ứng suất - biến dạng khi nén và khi kéo của UHPC.



Hình 3. Quan hệ ứng suất - biến dạng nén của UHPC



Hình 4. Quan hệ ứng suất - biến dạng kéo của UHPC



Hình 5. Tổ hợp ứng suất - biến dạng (nén - kéo) của UHPC (Soft strain)

4. YÊU CẦU KỸ THUẬT VÀ VẬT LIỆU THÀNH PHẦN CỦA UHPC

a) Yêu cầu kỹ thuật của UHPC

- Hàm lượng sợi thép sử dụng: $\geq 1,5 \%$.
- Khối lượng thể tích hỗn hợp UHPC: $\geq 2450 \text{ kg/m}^3$.
- Độ chảy xoè hỗn hợp: $16 \pm 8 \text{ cm}$.
- Cường độ nén (R28): $\geq 150 \text{ MPa}$.
- Modul đàn hồi $\geq 45 \text{ GPa}$.
- Cường độ chịu kéo R28 (vết nứt đầu tiên): $\geq 8,0 \text{ MPa}$.
- Cường độ chịu kéo R28 (giá trị cực đại): $\geq 11,0 \text{ MPa}$.
- Biến dạng co khô sau bảo dưỡng nhiệt ẩm: $\leq 100 \mu\text{m/m}$.

c) Lựa chọn vật liệu thành phần chế tạo UHPC

- Chất kết dính: xi măng PC50 phù hợp với TCVN 2682:2009.
- Phụ gia khoáng bổ sung: Silica Fume phù hợp với TCVN 8827:2020 và xi GGBS phù hợp với TCVN 11586:2016.
- Cốt liệu: cát thạch anh phù hợp với TCVN 9036:2011, ACF 04:2020.
- Sợi thép mạ đồng cường độ cao phù hợp với TCVN 12392:2018.
- Phụ gia hoá học: phụ gia dẻo gốc PCE phù hợp với TCVN 8826:2011 và ACF 04:2020.
- Nước trộn phù hợp với TCVN 4506:2012.

5. KẾT QUẢ KIỂM TRA CÁC TÍNH CHẤT CỦA UHPC

a) Độ chảy xoè

Bảng 1. Các kết quả kiểm tra tính công tác của hỗn hợp UHPC ở các điều kiện khác nhau

STT	Nội dung	Đơn vị	Kết quả
1	Điều kiện LAS		18,3
2	Điều kiện thực tế	Lần 1	17,4
		Lần 2	16,4
		Lần 3	17,1

b) Biến dạng co

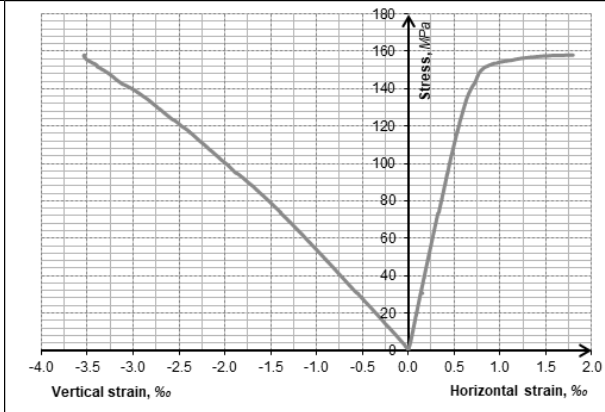
Bảng 2. Các kết quả kiểm tra biến dạng co của UHPC sau bảo dưỡng nhiệt ẩm

STT	Nội dung	Đơn vị	Kết quả
1	Biến dạng co mềm		18,3
2	Biến dạng co khô sau bảo dưỡng nhiệt ẩm	$\mu\text{m/m}$	17,1

c) Cường độ chịu nén

Bảng 3. Các kết quả kiểm tra cường độ chịu nén của UHPC tại các độ tuổi

STT	Nội dung		Đơn vị	Kết quả
1	Thử nghiệm trong LAS	R1	MPa	62,3
		R5		166,7
		R14		168,4
		R28		168,6
2	Thực tế sản xuất	Lần 1	R1	57,8
			R5	155,1
			R14	157,3
			R28	160,0
		Lần 2	R1	61,4
			R5	152,8
			R14	156,5
			R28	157,3
		Lần 3	R1	55,3
			R5	152,6
			R14	156,1
			R28	156,4



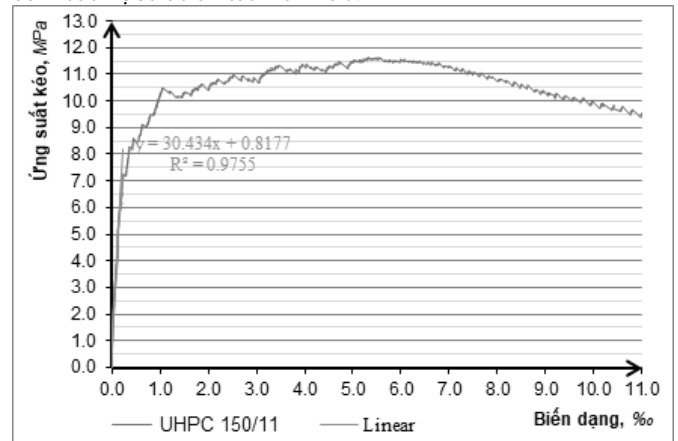
Hình 6. Biểu đồ ứng suất - biến dạng nén của mẫu UHPC

d) Cường độ chịu kéo

Bảng 4.. Các kết quả kiểm tra cường độ chịu kéo của UHPC tại các độ tuổi

STT	Nội dung		Đơn vị	Kết quả
1	Thử nghiệm trong LAS	R5	MPa	9,2/11,8
		R14		8,7/12,1
		R28		9,1/12,4
2	Thực tế sản xuất	Lần 1	R5	8,6/11,3
			R14	9,0/11,5
			R28	8,6/12,1
		Lần 2	R5	8,4/11,7
			R14	9,3/12,5
			R28	9,2/12,3
		Lần 3	R5	8,9/11,6
			R14	8,4/12,1
			R28	8,6/12,4

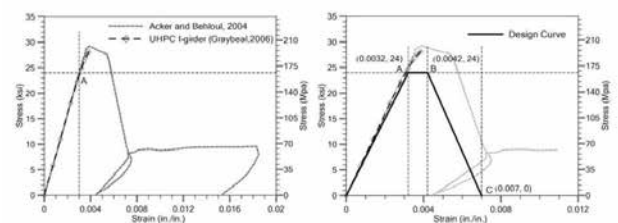
Kết quả thử nghiệm ban đầu trong phòng LAS so với thực tế đảm bảo hệ số dư an toàn là $\approx 10\%$



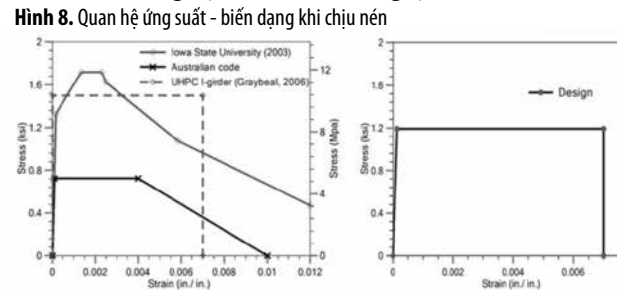
Hình 7. Biểu đồ ứng suất - biến dạng kéo của mẫu UHPC

6. TÍNH TOÁN

6.1 Trạng thái giới hạn cường độ



Hình 8. Quan hệ ứng suất - biến dạng khi chịu nén



Hình 9. Quan hệ ứng suất - biến dạng khi chịu kéo

Tải thiết kế HL93.

Nhịp 50m, dầm U hở, dự ứng lực căng sau UHPC thể hiện khả năng chịu kéo vượt qua cường độ kéo khi nứt, cho tới khi sợi thép bị kéo ra tại biến dạng 0,007;

Hệ số sức kháng có thể lấy 0,8 xét đến mức độ phân tán đồng đều của sợi thép (fiber);

Sức kháng cắt: $V_{yd} = V_{rpd} + V_{fd} + V_{ped}$

Trong đó:

$V_{rpd} = (0,18 \cdot \sqrt{f_{cd}} \cdot b_w \cdot d) / \gamma_b$

$V_{fd} = (f_{vd} \cdot b_w \cdot \tan \beta_w) / \gamma_b$

$\beta_w = 1/2 \tan^{-1}(2r/(\sigma_{xu} - \sigma_{yu})) - \beta_o$

Chú thích:

f_{cd} : Cường độ chịu nén thiết kế của UHPC (MPa);

f_{vd} : Cường độ chịu kéo thiết kế của UHPC (MPa);

b_w : Bề dày sườn;

γ_b : Hệ số chiết giảm 1,3;

β_u : Góc giữa hướng dọc trục và mặt phẳng nứt xiên, góc này $> 30^\circ$;

σ_{xu}, σ_{yu} : Ứng suất nén trung bình theo hướng dọc trục và vuông góc với trục dọc (MPa);

β_0 : Góc mà tại đó vết nứt xiên, nghiêng 45° so với trục của cấu kiện và không tồn tại lực dọc trục;

V_{rpd} : Cường độ chịu cắt của cấu kiện dầm;

V_{fd} : Cường độ chịu cắt của sợi thép.

V_{ped} : Thành phần chịu kéo hiệu dụng của cáp căng dọc, song song với lực cắt =0;

6.2 Trạng thái giới hạn sử dụng

a) Giới hạn ứng suất:

NF P18 710 [4] giữ nguyên giá trị giới hạn ứng suất của bê tông UHPFRC (viết tắt là UHPC) như bê tông ứng suất trước truyền thống theo Eurocode 2.

Bảng 5. Giới hạn ứng suất theo từng giai đoạn cụ thể

Giai đoạn	Ứng suất nén	Ứng suất kéo
Ứng suất tạm thời trước khi mất mát	$0,6.f_{ci}$	$0,4.\sqrt{f_{ci}}$
Ứng suất sau khi hết mất mát	$0,4.f_c$	$0,4.\sqrt{f_c}$

b) Mất mát ứng suất:

Mất mát lâu dài dựa vào các công thức tính kiến nghị từ TCVN 11823:2017 hoặc AASHTO (phần lớn dựa vào thí nghiệm);

NF P18-710 [4] giữ nguyên cách tính mất mát ứng suất của bê tông UHPC như bê tông ứng suất trước thông thường.

Mất mát tức thời của UHPC có thể tính trực tiếp nếu biết mô đun đàn hồi của bê tông.

c) Không chế nứt:

Tiêu chuẩn của Pháp NF P18-710, giới hạn về bề rộng vết nứt của UHPC nhỏ hơn 1mm so với bê tông truyền thống (Eurocode 2) trong cùng điều kiện môi trường tương ứng.

Đối với UHPC không dự ứng lực, cho phép nứt ở TTGH sử dụng, chiều rộng vết nứt cho phép 0.3 mm (bình thường); 0.1 mm (khắc nhiệt); 0.05 mm (rất khắc nhiệt);

Áp dụng TCVN 11823-5, tính khoảng cách tối thiểu giữa cốt thép chịu kéo trong trường hợp có cốt thép thường.

6.3 Phân tích kết cấu

Phân tích theo phần tử hữu hạn. Sử dụng các phần mềm phân tích tính toán kết cấu MIDAS.

Giới hạn về độ võng tuân theo TCVN 11823-2:2017:

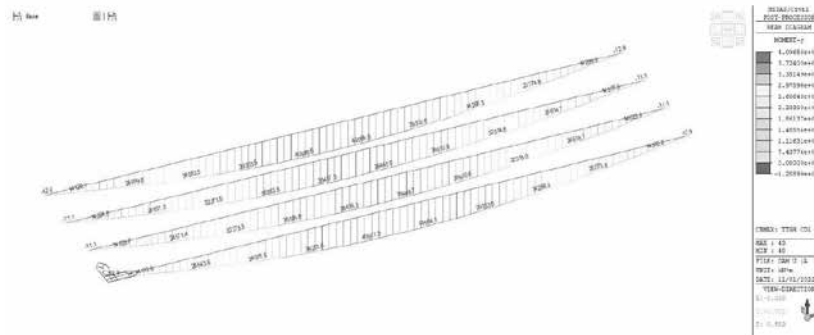
Tải trọng xe nói chung: $L/800$

Tải trọng xe và/hoặc người đi bộ: $L/1000$

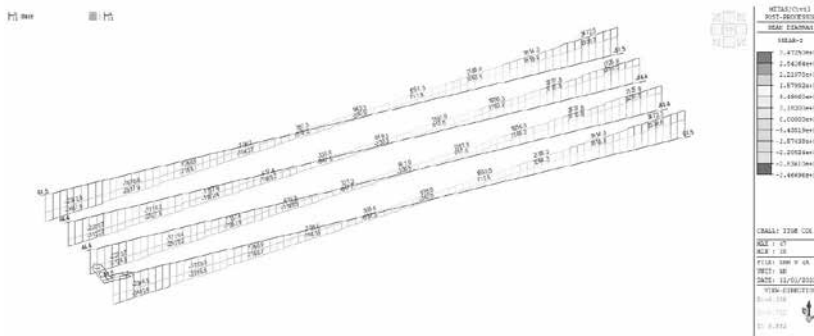
Tải trọng xe phần hẫng: $L/300$

Tải trọng xe và/hoặc người đi bộ phần hẫng: $L/375$

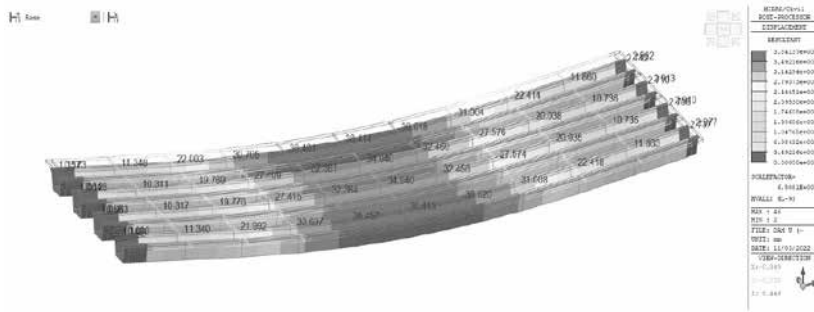
L: Chiều dài nhịp



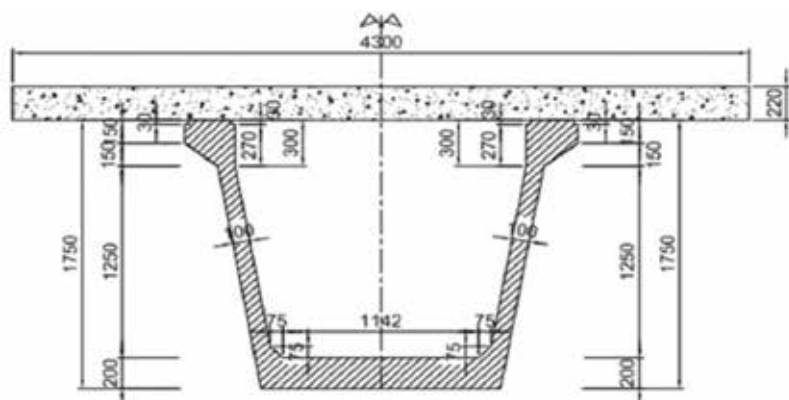
Hình 10. Biểu đồ moment theo TTGH



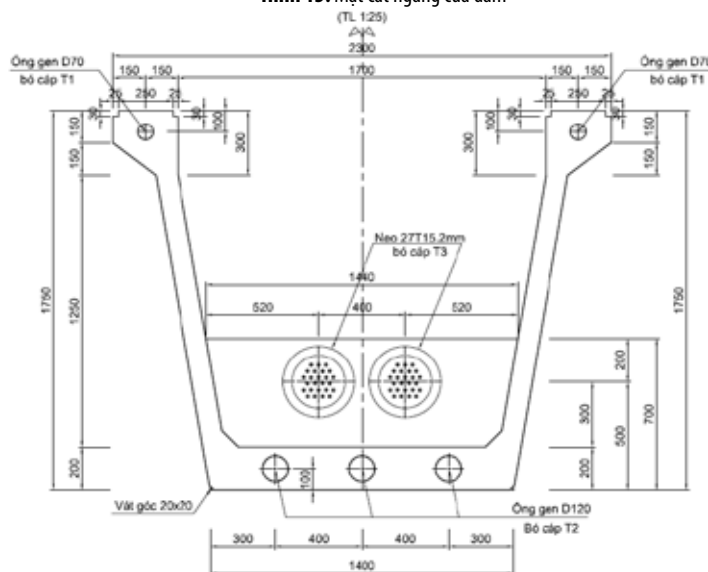
Hình 11. Biểu đồ lực cắt theo TTGH



Hình 12. Biểu đồ độ võng do hoạt tải HL-93



Hình 13. Mặt cắt ngang của dầm



Hình 14. Mặt cắt ngang bố trí cáp dự ứng lực

7. ĐIỀU KIỆN CHẾ TẠO DẦM UHPC

- Nhiệt độ hỗn hợp UHPC: $\leq 35^{\circ}\text{C}$.
- Nhiệt độ môi trường: $\leq 40^{\circ}\text{C}$.
- Độ ẩm không khí: $\geq 65\%$.
- Dung sai định lượng nước trộn: $\pm 1\text{ kg}$.
- Dung sai định lượng phụ gia dẻo: $\pm 0,5\text{ kg}$.
- Tổng thời gian trộn: 11 ± 1 phút.
- Chiều cao gầu xả hỗn hợp UHPC: $\leq 50\text{ cm}$.
- Chiều dày lớp UHPC bảo vệ cốt thép: $\geq 2\text{ cm}$.
- Bảo dưỡng nhiệt ẩm: 80°C trong 72 giờ.

8. KẾT LUẬN

1. Đã nghiên cứu và chế tạo được một hệ UHPC với cường độ chịu nén 150 MPa và cường độ chịu kéo từ 11 MPa.
2. Kết cấu UHPC có độ đặc chắc cao nên tăng độ bền lâu của công trình lên tới trên 100 năm và giảm tối đa các chi phí duy tu, bảo trì trong thời gian khai thác sử dụng.
3. Kết cấu dầm thanh mảnh nên tính tải bản thân nhỏ (giảm khoảng 70% so với tính tải của dầm bê tông thường), giảm được chi phí xây dựng móng và kết cấu đỡ trụ.
4. Từ việc thiết kế, chế tạo dầm tiết diện chữ U dài 50m này sẽ tạo tiền đề phát triển ra các mẫu dầm khác và có chiều dài nhịp đơn lớn hơn, có thể tới 100m.

7. Thời gian chế tạo rút ngắn, sản xuất hàng loạt do được modul hoá, dẫn tới công trình sớm được đưa vào vận hành sử dụng.

8. Hiện nay các nhà máy bê tông lớn đều có thể làm chủ công nghệ vật liệu, chế tạo cấu kiện dầm UHPC (bê tông ly tâm Thủ Đức 1, bê tông Thành Hưng, bê tông Xuân Mai).

9. Đã làm chủ phương pháp tính toán, tiêu chuẩn áp dụng, phần mềm thiết kế đã thiết kế và chế tạo dầm các loại cho 65 cầu trên 17 tỉnh thành tại Việt Nam với kết quả tin cậy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. QCVN 07-4:2016/BXD, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia các công trình hạ tầng kỹ thuật - công trình giao thông.
2. AASHTO LRFD 2017, Bridge design specifications.
3. FHWA-HRT-18-036, Material property characterization of ultra high performance concrete.
4. FHWA-HRT-09-069, Structural behavior of a 2nd generation UHPC Pi-girder.
5. FHWA-HRT-10-079, Finite element analysis of UHPC structural performance of an AASHTO type II girder and a 2nd generation Pi-girder.
6. ACI PRC-239-18, Ultra high performance concrete, emerging technology report.
7. WB-DRVN, Report piloting and scaling up building climate resilient bridges in poor rural areas, 2019.