

ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ BÊ TÔNG TÍNH NĂNG SIÊU CAO (UHPC) TRONG XÂY DỰNG CẦU MIỀN NÚI THÍCH ỨNG BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU TẠI TỈNH CAO BẰNG

Application of ultra-high performance concrete (UHPC) technology in the construction of mountainous bridges adapting to climate change in Cao Bang province



TS. Ngô Văn Thúc¹, TS. Nguyễn Văn Xuân¹, TS. Trần Bá Việt², PGS.TS. Hoàng Việt Hải³, ThS. Trần Quang Minh³

Tóm tắt: Bài báo phân tích tiềm năng ứng dụng bê tông tính năng siêu cao (Ultra-High Performance Concrete – UHPC) trong xây dựng cầu miền núi tại tỉnh Cao Bằng. Các đặc trưng vật liệu của UHPC như cường độ chịu nén rất cao (khoảng 150 MPa), khả năng chịu kéo được cải thiện nhờ sợi thép phân tán, cùng đặc tính chống thấm và chống ăn mòn vượt trội cho phép thiết kế kết cấu mảnh, giảm trọng lượng bản thân và tăng khả năng thoát lũ của công trình cầu.

Kết quả nghiên cứu cho thấy việc sử dụng UHPC có thể giảm kích thước móng trụ, giảm tải trọng truyền xuống nền móng và nâng cao độ bền lâu của công trình trong điều kiện môi trường khắc nghiệt. So với bê tông thông thường, UHPC có tiềm năng nâng cao khả năng chống chịu trước các hiện tượng mưa lũ cực đoan, rút ngắn thời gian thi công và giảm chi phí bảo trì. Những kết quả này cho thấy UHPC là một giải pháp vật liệu và kết cấu có triển vọng trong phát triển hạ tầng giao thông bền vững tại các khu vực miền núi.

Từ khóa: UHPC, cầu miền núi, biến đổi khí hậu, kết cấu cầu, vật liệu bê tông tiên tiến.

Abstract: This study investigates the potential application of Ultra-

High Performance Concrete (UHPC) in mountainous bridge construction in Cao Bang Province. UHPC exhibits outstanding mechanical and durability properties, including compressive strength up to 150 MPa, improved tensile performance due to steel fiber reinforcement, superior waterproofing and corrosion resistance allow for the design of slender structures, reducing self-weight and increasing the flood discharge capacity of the bridges.

As a result, the use of UHPC can reduce the size of piers and the loads transmitted to the foundation, and the overall durability of bridge structures can be enhanced under harsh environmental conditions.

The findings indicate that UHPC structures can significantly improve resilience against extreme flood events while reducing construction time and maintenance costs. Therefore, UHPC represents a promising material for sustainable bridge construction in mountainous regions.

Keywords: UHPC, bridge structures, mountainous infrastructure, climate change adaptations.

Nhận bài ngày 10/01/2026, chỉnh sửa ngày 25/01/2026, chấp nhận đăng ngày 25/02/2026.

I. GIỚI THIỆU

Cao Bằng là tỉnh miền núi thuộc vùng Đông Bắc Việt Nam, có địa hình bị chia cắt mạnh bởi hệ thống núi đá vôi xen kẽ các thung lũng hẹp và mạng lưới sông suối dày đặc. Độ cao địa hình biến đổi lớn, phổ biến từ 200–600 m, nhiều khu vực vượt quá 1.000 m so với mực nước biển [1]. Mạng lưới giao thông tại Cao Bằng chủ yếu bao gồm các tuyến đường đèo dốc, cầu nhịp nhỏ và công trình vượt suối phân bố rải rác nhằm kết nối các khu dân cư miền núi. Do đặc điểm lưu vực nhỏ, độ dốc lớn, sông, suối chảy qua miền núi và cao nguyên nên nước chảy xiết, nhiều thác ghềnh, khả năng tập trung dòng chảy mạnh [2]. Theo các nghiên cứu về thủy văn miền núi phía Bắc, xu thế gia tăng mưa cực đoan trong bối cảnh biến đổi khí hậu đã làm tăng tần suất lũ quét và xói lở cục bộ tại nhiều địa phương [3]. Đối với Cao Bằng, các trận mưa lớn trong thời gian ngắn có thể làm gia tăng nhanh lưu lượng và vận tốc dòng chảy, cuốn theo đất đá phong hóa và vật trôi từ sườn dốc hai bên bờ sông. Trong điều kiện đó, nhiều công trình cầu cũ với khẩu độ hạn chế, bố trí nhiều trụ trong lòng sông hoặc có tiết diện kết cấu lớn đã bộc

¹ Trường Đại học Xây dựng Miền Tây;

² Hội Bê tông Việt Nam;

³ Trường Đại học Giao thông vận tải

Email: ¹ngovanthuc@mtu.edu.vn

lộ những bất cập về khả năng thoát lũ. Bên cạnh đó, lớp phủ phong hóa dày và vật liệu trên sườn dốc có cường độ suy giảm mạnh khi bão hòa nước, dễ phát sinh trượt lở trong mùa mưa. Sự kết hợp giữa xói lở chân trụ, trượt mái dốc và tác động va đập của vật trôi làm gia tăng rủi ro suy giảm khả năng khai thác an toàn của công trình cầu miễn núi. Trong bối cảnh điều kiện tiếp cận bảo trì còn hạn chế và nguồn lực đầu tư chưa đồng đều, yêu cầu đặt ra là phải lựa chọn giải pháp kết cấu và vật liệu có khả năng chịu lực cao, bền lâu và thích ứng với môi trường khắc nghiệt.

Bê tông tính năng siêu cao (Ultra-High Performance Concrete – UHPC) đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi trong các công trình cầu yêu cầu độ bền và tuổi thọ cao tại châu Âu, Hoa Kỳ và châu Á [4-6]. Cường độ chịu nén có thể đạt khoảng 150 MPa hoặc cao hơn tùy theo cấp phối và điều kiện dưỡng hộ. Cấu trúc vi mô đặc chắc với tỷ lệ nước/chất kết dính thấp và hàm lượng silica fume cao giúp giảm đáng kể độ rỗng mao quản và hệ số thấm ion chloride [7][8]. Trong lĩnh vực cầu, việc sử dụng đầm và bản mặt cầu UHPC có thể làm giảm chiều cao kết cấu, giảm trọng lượng bản thân và tăng khẩu độ hiệu dụng so với bê tông cường độ thường [9]. Đối với điều kiện miền núi như Cao Bằng, việc giảm trọng lượng bản thân giúp giảm nội lực truyền xuống hệ móng, từ đó hạn chế kích thước móng, trụ và giảm mức độ can thiệp vào lòng dẫn tự nhiên. Đồng thời, khả năng kiểm soát nứt và kháng thấm cao góp phần giảm nguy cơ ăn mòn cốt thép và suy giảm độ bền trong môi trường ẩm ướt kéo dài.

Từ góc độ kinh tế – kỹ thuật, mặc dù chi phí vật liệu UHPC ban đầu cao hơn so với bê tông thông thường, nhiều nghiên cứu cho thấy khi xét theo chi phí vòng đời, UHPC có thể mang lại hiệu quả kinh tế nhờ giảm chi phí bảo trì và kéo dài tuổi thọ khai thác [8]. Xuất phát từ những đặc điểm địa hình – địa chất đặc thù của Cao Bằng và yêu cầu thích ứng với biến đổi khí hậu, bài viết này tập trung phân tích tiềm năng và đề xuất giải pháp ứng dụng công nghệ UHPC trong xây dựng cầu miễn núi tại tỉnh Cao Bằng.

II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu thành phần của UHPC

Các vật liệu thành phần sử dụng để chế tạo UHPC bao gồm xi măng, silica fume, cát thạch anh, bột thạch anh nghiền, sợi thép, phụ gia siêu dẻo và nước trộn. Xi măng sử dụng trong nghiên cứu là xi măng mác PC40, phù hợp với tiêu chuẩn TCVN 2682:2009. Bên cạnh đó, silica fume được sử dụng theo yêu cầu kỹ thuật của ASTM C1240.

Cát thạch anh là nguồn vật sẵn có và phổ biến ở nước ta, nhất là vùng ven biển khắp các tỉnh dọc bờ biển Việt Nam. Điều này tạo điều kiện thuận lợi để sản xuất UHPC.



Hình 1. Cát thạch anh được khai thác dọc theo bờ biển Việt Nam



Hình 2. Sợi thép cường độ cao

Để cải thiện khả năng chịu kéo và khả năng kháng nứt của UHPC, sợi thép cường độ cao (Hình 2) được đưa vào cấp phối với cường độ chịu kéo không nhỏ hơn 2400 MPa và tỷ số chiều dài trên đường kính (L/D) từ 65 đến 125. Sự có mặt của sợi thép giúp kiểm soát sự phát triển của vi nứt, tăng khả năng truyền ứng suất sau nứt và cải thiện ứng xử cơ học của vật liệu khi chịu tải kéo.

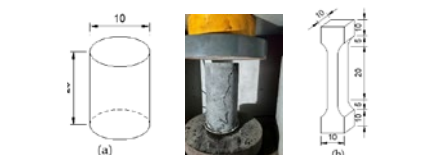
2.2. Đánh giá ảnh hưởng của các vật liệu thành phần đến các tính năng UHPC

UHPC được chế tạo từ hệ vật liệu đặc biệt gồm hàm lượng chất kết dính cao, silica fume, bột thạch anh mịn, phụ gia siêu dẻo và sợi thép phân tán. Sự thay đổi tỷ lệ các thành phần này ảnh hưởng trực tiếp đến cấu trúc vi mô, khả năng kháng nứt và các đặc trưng cơ học của vật liệu. Vì vậy, việc đánh giá ảnh hưởng của từng thành phần là cần thiết nhằm tối ưu cấp phối, đảm bảo đạt yêu cầu về cường độ, độ bền lâu và hiệu quả kinh tế.

Tính công tác của hỗn hợp được kiểm tra bằng thí nghiệm độ chảy xòe theo ASTM C230 nhằm đảm bảo khả năng thi công các cấu kiện đầm, bản mỏng và kết cấu đúc sẵn. Cường độ chịu nén được xác định trên mẫu trụ 10×20 cm để đánh giá khả năng chịu lực nén và phát triển cường độ theo tuổi. Cường độ chịu kéo được thí nghiệm trên mẫu “dog-bone” kích thước 5×10×50cm nhằm đánh giá khả năng kháng nứt và ứng xử kéo của UHPC.



Hình 3. Trộn và thí nghiệm độ chảy xòe hỗn hợp UHPC

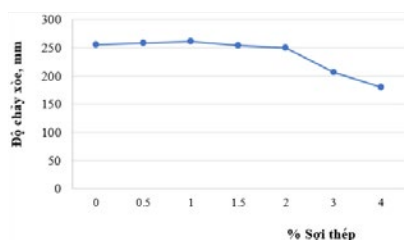


Hình 4. Thí nghiệm cường độ chịu nén và kéo mẫu UHPC

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

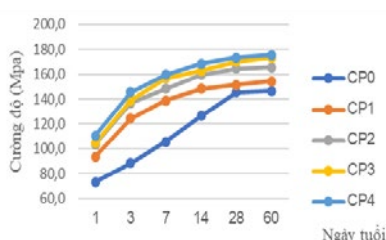
3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến tính năng của UHPC

Một chương trình thí nghiệm trong các nghiên cứu trước đây của nhóm tác giả được thực hiện để đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép (0–4%) đến các tính công tác của hỗn hợp UHPC [6]. Kết quả được thể hiện thông qua các biểu đồ Hình 5, Hình 6 và Hình 7.



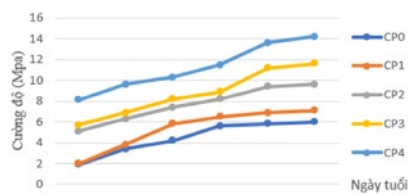
Hình 5. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến độ chảy xòe của hỗn hợp UHPC [6]

Kết quả độ chảy xòe của hỗn hợp UHPC theo Hình 5 cho thấy khi hàm lượng sợi thép tăng từ 0% đến khoảng 1–1,5%, độ chảy xòe thay đổi không đáng kể và vẫn duy trì ở mức cao (khoảng >250mm), chứng tỏ hỗn hợp vẫn đảm bảo tính tự chảy tốt. Tuy nhiên, khi hàm lượng sợi vượt 2%, độ chảy xòe giảm rõ rệt; tại 3% chỉ còn khoảng 205 mm và tại 4% giảm xuống khoảng 180 mm. Sự suy giảm này có thể được lý giải do sự gia tăng ma sát nội và hiện tượng cản trở chuyển động giữa các sợi thép trong ma trận vữa, làm tăng độ nhớt và giảm khả năng chảy lan.



Hình 6. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến cường độ nén theo thời gian [6]

Kết quả cho thấy cường độ nén tăng theo tuổi ở tất cả các cấp phối và tăng đáng kể khi hàm lượng sợi thép tăng. Ở tuổi 28 ngày, cường độ tăng từ 145,4 MPa (0% sợi) lên 173,5 MPa (4% sợi). Tuy nhiên, mức gia tăng có xu hướng giảm dần khi hàm lượng sợi vượt 3%. Điều này cho thấy việc bổ sung sợi thép góp phần nâng cao cường độ nén và cải thiện hiệu quả cơ học của UHPC, đặc biệt trong giai đoạn phát triển cường độ sớm.

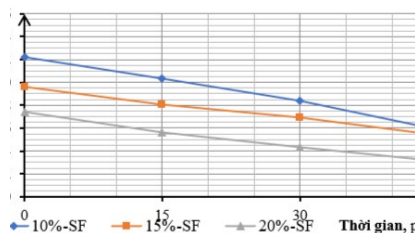


Hình 7. Ảnh hưởng hàm lượng sợi thép đến phát triển cường độ chịu kéo [6]

Kết quả cho thấy cường độ chịu kéo tăng theo tuổi ở tất cả các cấp phối, đồng thời tăng đáng kể khi hàm lượng sợi thép tăng. Ở tuổi 28 ngày, cường độ kéo tăng từ khoảng 5,7 MPa (CP0 – 0% sợi) lên khoảng 13,5 MPa (CP4 – 4% sợi), tăng hơn 200%. Xu hướng này tiếp tục duy trì ở 60 ngày, trong đó cấp phối có hàm lượng sợi cao nhất đạt khoảng 14 MPa. Sự gia tăng rõ rệt này chứng tỏ sợi thép đóng vai trò quan trọng trong việc khống chế sự phát triển vi nứt, tăng khả năng truyền ứng suất sau nứt và cải thiện cơ chế làm việc chịu kéo của UHPC.

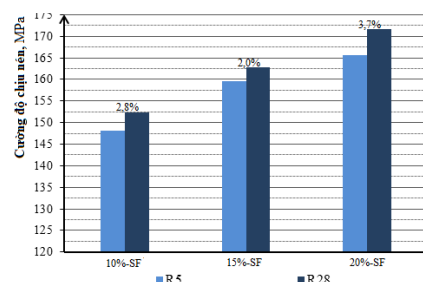
3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng silica fume đến tính năng của UHPC

Các thí nghiệm được thực hiện để đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng silica fume đến các tính năng của UHPC. Hàm lượng silica fume thay đổi lần lượt 10%, 15% và 20% theo tổng khối lượng chất kết dính [7].



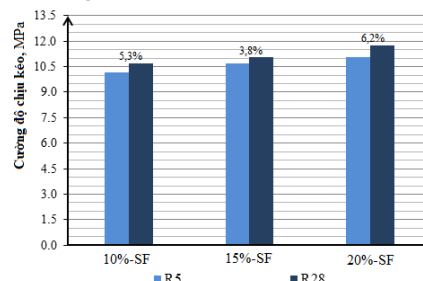
Hình 8. Tổn thất độ chảy xòe của các mẫu hỗn hợp UHPC theo thời gian [7]

Kết quả thí nghiệm cho thấy các cấp phối UHPC sử dụng hàm lượng silica fume từ 10% đến 20% đều đảm bảo yêu cầu về tính công tác trong thi công. Độ chảy xòe giảm dần theo thời gian nhưng vẫn nằm trong phạm vi cho phép, chứng tỏ hỗn hợp có khả năng duy trì tính linh động phù hợp cho quá trình đổ và tạo hình. Tuy nhiên, khi tăng hàm lượng SF, độ chảy xòe có xu hướng giảm nhẹ do diện tích bề mặt riêng lớn của hạt silica fume làm tăng nhu cầu nước và ma sát nội trong hỗn hợp.



Hình 9. Sự phát triển cường độ chịu nén của các mẫu UHPC [7]

Kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ chịu nén của UHPC tăng tỷ lệ thuận với hàm lượng silica fume sử dụng. Ở tuổi 28 ngày, cấp phối 10%-SF đạt khoảng 145 MPa, trong khi 15%-SF đạt khoảng 155 MPa và 20%-SF đạt khoảng 165 MPa. So với mẫu 10%-SF, cường độ nén của mẫu 15%-SF và 20%-SF tăng lần lượt 7,3% và 12,3%. Đặc biệt, mẫu 20%-SF đạt cường độ nén trung bình cao nhất là 171,7 MPa. Sự gia tăng này có thể được giải thích bởi hiệu ứng pozzolan và hiệu ứng lấp đầy của silica fume, giúp làm giảm độ rỗng mao quản, tăng mật độ cấu trúc và cải thiện vùng chuyển tiếp cốt liệu – hồ xi măng (ITZ), từ đó nâng cao khả năng chịu nén tổng thể của vật liệu.



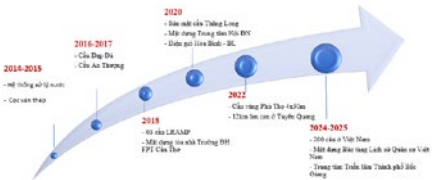
Hình 10. Sự phát triển cường độ chịu kéo của các mẫu UHPC [7]

Tương tự như cường độ nén, cường độ chịu kéo của UHPC cũng tăng theo hàm lượng silica fume. Ở tuổi 28 ngày, cấp phối 10%-SF đạt khoảng 9 MPa, 15%-SF đạt khoảng 10 MPa và 20%-SF đạt khoảng 11 MPa. Mức tăng của các mẫu 15%-SF và 20%-SF so với 10%-SF lần lượt là 6,6% và 13,2%. Mẫu 20%-SF cho giá trị cường độ chịu kéo trung bình cao nhất đạt 12,23 MPa. Kết quả này cho thấy silica fume không chỉ cải thiện cấu trúc vi mô mà còn tăng cường khả năng liên kết trong vữa xi măng, góp phần nâng cao khả năng kháng nứt và truyền ứng suất khi chịu kéo, đặc biệt trong môi trường UHPC có cấu trúc đặc chắc và hàm lượng chất kết dính cao.

3.3. Đề xuất giải pháp kết cấu cầu UHPC cho tỉnh Cao Bằng

3.3.1. Kết quả ứng dụng UHPC trong xây dựng cầu tại Việt Nam

Trong thập kỷ qua, UHPC đã có những bước phát triển mạnh mẽ tại Việt Nam. Từ giai đoạn thử nghiệm ban đầu đến các ứng dụng quy mô lớn, UHPC đã được sử dụng trong xây dựng hơn 200 công trình cầu và nhiều công trình khác.



Hình 11. Quá trình phát triển UHPC tại Việt Nam

Năm 2020, Bộ Giao thông vận tải đã ứng dụng UHPC trong dự án sửa chữa cầu Thăng Long đánh dấu một bước ngoặt quan trọng trong quá trình phát triển và ứng dụng vật liệu tiên tiến tại Việt Nam. Đây là lần đầu tiên UHPC được sử dụng làm lớp phủ mặt cầu cho một công trình giao thông trọng điểm quốc gia, đáp ứng yêu cầu kỹ thuật khắt khe về cường độ, độ bền, khả năng chống nứt và chống thấm.

Đặc biệt, UHPC đã được ứng dụng hiệu quả trong các dự án cầu miền núi, nơi điều kiện địa hình phức tạp và yêu cầu thi công nhanh, ít bảo trì. Tại tỉnh Tuyên Quang, hàng trăm cầu dân sinh sử dụng kết cấu UHPC đã được xây dựng để thay thế các cầu tạm hoặc cầu gỗ trước đây, góp phần cải thiện đáng kể khả năng kết nối giao thông giữa các khu vực miền núi. Việc sử dụng các cấu kiện UHPC đúc sẵn, lắp ghép tại hiện trường giúp giảm khối lượng vận chuyển, rút ngắn thời gian thi công và nâng cao tuổi thọ công trình trong điều kiện môi trường khắc nghiệt.

Đến nay, Việt Nam đã cơ bản làm chủ công nghệ thiết kế, sản xuất và thi công UHPC. Nhiều viện nghiên cứu, trường đại học và doanh nghiệp trong nước đã phát triển các cấp phối UHPC phù hợp với nguồn vật liệu trong nước, đồng thời xây dựng các hướng dẫn thiết kế và tiêu chuẩn kỹ thuật liên quan. Bên cạnh đó, nhiều nhà máy bê tông và cơ sở sản xuất

cấu kiện đúc sẵn đã đầu tư dây chuyền chế tạo cấu kiện UHPC như dầm cầu, bản mặt cầu, cọc và các cấu kiện kiến trúc. Sự phát triển này cho thấy UHPC đang trở thành một giải pháp vật liệu và kết cấu quan trọng trong phát triển hạ tầng giao thông bền vững tại Việt Nam, đặc biệt đối với các công trình cầu quy mô nhỏ và trung bình ở khu vực miền núi và nông thôn.

3.3.2. Tiêu chí lựa chọn giải pháp kết cấu cầu UHPC tại Cao Bằng

Việc lựa chọn giải pháp kết cấu cầu UHPC cho khu vực miền núi tỉnh Cao Bằng cần dựa trên sự tổng hợp giữa điều kiện tự nhiên, yêu cầu khai thác, khả năng thi công và hiệu quả kinh tế – kỹ thuật. Do địa hình chia cắt mạnh, nhiều sông suối nhỏ, nền dốc không ổn định và nguy cơ lũ quét, xói lở cao, kết cấu cầu cần bảo đảm khả năng chịu lực, độ bền lâu và khả năng thích ứng với điều kiện bất lợi của khu vực miền núi.

Trước hết, giải pháp kết cấu cần đáp ứng tốt yêu cầu thoát lũ và giảm cản trở dòng chảy. Đối với các cầu vượt suối và sông nhỏ, nên ưu tiên các kết cấu có chiều cao nhỏ, số lượng trụ ít và khả năng vượt nhịp hợp lý nhằm hạn chế xói lở cục bộ quanh móng và giảm nguy cơ hư hỏng trong mùa mưa lũ. Với ưu điểm cường độ cao và khả năng tạo cấu kiện mảnh, UHPC là vật liệu phù hợp để đáp ứng yêu cầu này.

Bên cạnh đó, điều kiện địa hình và nền móng cũng là tiêu chí quan trọng. Tại các vị trí có nền dốc hoặc địa chất yếu, kết cấu cần có trọng lượng bản thân nhỏ để giảm tải trọng truyền xuống móng, giảm kích thước móng trụ và hạn chế khối lượng xử lý nền. UHPC cho phép giảm tiết diện cấu kiện nhưng vẫn bảo đảm khả năng chịu lực, do đó phù hợp với các công trình cầu miền núi.

Giải pháp kết cấu cần thuận lợi cho thi công và bảo trì trong điều kiện công trường khó tiếp cận. Đối với các khu vực xa trung tâm, mặt bằng chật hẹp và thời gian thi công bị hạn chế bởi mùa mưa, nên ưu tiên các dạng kết cấu có thể thi công nhanh, lắp ghép thuận lợi và giảm khối lượng công việc tại hiện trường. Đồng thời, do công tác duy tu ở miền

núi thường khó khăn và tốn kém, kết cấu cầu cần có độ bền lâu cao, khả năng chống thấm, chống nứt và chống ăn mòn tốt để giảm nhu cầu bảo trì trong quá trình khai thác.

3.3.3. Các dạng kết cấu cầu UHPC được nghiên cứu và ứng dụng tại Việt Nam

Dựa trên các công trình nghiên cứu và ứng dụng tại Việt Nam cho thấy UHPC đã được triển khai cho nhiều dạng kết cấu cầu khác nhau, từ dầm I, dầm T, dầm T đôi, dầm Pi, dầm hộp đến dầm chữ U, với phạm vi nhịp từ khoảng 12m đến trên 50 m. Các loại dầm, loại mặt cắt được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Các dạng kết cấu UHPC được nghiên cứu và ứng dụng

TT	Loại dầm	Mặt cắt
1	Dầm T đôi 12-40 m	
2	Dầm I 33m	
3	Dầm T 35m	
4	Dầm Pi 12-40m	
5	Dầm hộp >40m	
6	Dầm T đôi, b=4m, 40m	
7	Dầm U lắp ghép, nhịp <40m	
8	Dầm chữ U hớ nhịp trên 50 m	
9	Dầm thép chữ I liên hợp UHPC, nhịp > 50 m	

3.3.4. Định hướng áp dụng cho tỉnh Cao Bằng

Trong giai đoạn đầu, tỉnh Cao Bằng có thể ưu tiên triển khai các công trình cầu thí điểm tại những khu vực thường xuyên chịu ảnh hưởng của mưa lũ, có điều kiện địa hình phức tạp, khó khăn cho công tác bảo trì hoặc yêu cầu rút ngắn thời gian thi công. Với đặc điểm địa hình miền núi và lòng sông hẹp, việc sử dụng kết cấu nhịp UHPC là giải pháp phù hợp. Nhờ cường độ chịu lực rất cao của UHPC, đối với cùng một chiều dài nhịp, chiều cao dầm chủ có thể giảm đáng kể so với bê tông thông thường. Điều này giúp giảm chiều cao kiến trúc của cầu, đồng thời tăng khả năng thông thủy, góp phần hạn chế cản trở dòng chảy và nâng cao an toàn công trình trong điều kiện lũ.

Với các cầu nhịp nhỏ vượt suối, có thể xem xét áp dụng kết cấu dầm T đôi đúc sẵn với chiều dài nhịp từ 12-24m chịu tải trọng 0.65HL93, có bản mặt cầu 5cm, có sườn ngang phụ, mỗi dầm rộng 2m, nối dọc 2 dầm thành chiều rộng 4m, dễ vận chuyển và cầu lắp. Dạng cầu này đã được ứng dụng trong 200 cầu ở Tuyên Quang.

Đối với cầu nhịp trung bình, có thể ưu tiên dầm I, dầm T hoặc dầm hộp, dầm chữ U hờ UHPC dự ứng lực với chiều dài nhịp có thể lớn hơn 40m.

Trong điều kiện địa hình vận chuyển vật liệu và thiết bị thi công gặp nhiều khó khăn, có thể xem xét áp dụng giải pháp kết cấu dầm U lắp ghép. Các đốt dầm chữ U UHPC được chế tạo sẵn với chiều dài khoảng 1,5-2,0 m tại nhà máy, sau đó vận chuyển đến công trường và tiến hành lắp ghép, căng cáp dự ứng lực để tạo thành các nhịp cầu có chiều dài từ 6-20 m. Giải pháp này giúp giảm khối lượng vận chuyển, thuận lợi cho thi công trong điều kiện địa hình phức tạp, đồng thời rút ngắn thời gian thi công và nâng cao chất lượng công trình.

Những dạng kết cấu này đã có cơ sở nghiên cứu và ứng dụng thực tiễn tại nhiều tỉnh thành Việt Nam, do đó phù hợp để từng bước triển khai trong điều kiện miền núi Cao Bằng. Về mặt kỹ thuật, việc áp dụng cần gắn với lựa

chọn cấp phối UHPC phù hợp với điều kiện sản xuất trong nước và yêu cầu sử dụng tại địa phương. Đây là cơ sở để sử dụng UHPC cho các kết cấu cầu cần giảm chiều cao dầm, giảm trọng lượng bản thân và nâng cao khả năng kháng nứt trong môi trường ẩm ướt, mưa lũ kéo dài.

Định hướng áp dụng UHPC cho tỉnh Cao Bằng nên tập trung vào các công trình cầu miền núi có điều kiện thủy văn, địa hình và khai thác bất lợi, ưu tiên những vị trí mà UHPC có thể phát huy lợi thế về giảm trọng lượng, tăng khả năng thoát lũ, rút ngắn thời gian thi công và giảm nhu cầu bảo trì. Đây là hướng đi phù hợp nhằm nâng cao tính bền vững và khả năng thích ứng của hạ tầng giao thông miền núi trước tác động ngày càng gia tăng của biến đổi khí hậu.

IV. KẾT LUẬN

Nghiên cứu cho thấy UHPC có nhiều tiềm năng phù hợp với điều kiện xây dựng cầu miền núi tại tỉnh Cao Bằng, đặc biệt trong bối cảnh địa hình chia cắt mạnh, nền dốc không ổn định và nguy cơ mưa lũ, xói lở ngày càng gia tăng. Với cường độ chịu nén rất cao, khả năng chịu kéo được cải thiện nhờ sợi phân tán, cùng đặc tính chống thấm, chống ăn mòn và kháng nứt tốt, UHPC cho phép thiết kế kết cấu mảnh, giảm trọng lượng bản thân, giảm tải trọng xuống móng và hạn chế cản trở dòng chảy.

Công nghệ UHPC đã được nghiên cứu và ứng dụng tại nhiều dự án ở Việt Nam, hiệu quả kinh tế kỹ thuật đã được kiểm chứng. Các kết quả nghiên cứu cho thấy UHPC hoàn toàn có khả năng đáp ứng yêu cầu về cường độ và độ bền đối với các kết cấu cầu nhịp nhỏ và trung bình. Trên cơ sở đó, vật liệu này có thể được xem xét áp dụng cho cầu dân sinh, cầu vượt suối, cầu trên nền dốc không ổn định và các vị trí khó tiếp cận bảo trì tại Cao Bằng.

Để thúc đẩy khả năng ứng dụng trong thực tế, cần tiếp tục nghiên cứu xây dựng thí điểm, thiết kế điển hình cho một số quy mô nhịp phù hợp và đánh giá hiệu quả kinh tế theo vòng đời công trình. Đây là cơ sở quan trọng

để từng bước mở rộng ứng dụng UHPC trong phát triển hạ tầng giao thông bền vững tại khu vực miền núi.

Bùi Cường (BT)

Tài liệu tham khảo:

- [1] Ủy ban nhân dân tỉnh Cao Bằng, “Địa hình tỉnh Cao Bằng,” Cổng thông tin điện tử tỉnh Cao Bằng. [Online]. Available: <https://caobang.gov.vn/dia-hinh/dia-hinh-tinh-cao-bang-938712>. Accessed: Mar. 1, 2026.
- [2] Cổng thông tin điện tử tỉnh Cao Bằng, “Điều kiện tự nhiên và thủy văn.” [Online]. Available: <https://caobang.gov.vn/thuy-van>. Accessed: Mar. 1, 2026.
- [3] Bộ Tài nguyên và Môi trường, *Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam*. Hà Nội, Việt Nam: NXB Tài nguyên – Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2020.
- [4] U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA), *Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete*, Washington, DC, USA, Aug. 2018.
- [5] J.-S. Kim and B.-S. Kim, *Design Guidelines for K-UHPC*. Korea Institute of Construction Technology, Feb. 2014.
- [6] T. B. Viet, N. V. Thuc, and L. T. Hung, “Research on application of ultra-high performance concrete in bridge girder construction for rural transportation in the Mekong Delta,” *Tap chi Xay dung*, no. 10, pp. 159–162, 2021.
- [7] T. B. Viet, L. T. Hung, and L. H. Phuc, “Influence of silica fume content on properties of ultra-high performance concrete,” *Tap chi Xay dung*, no. 7, pp. 86–90, 2022.
- [8] T. Ngo, N. T. T. Nguyen, B. H. Le, et al., “Development of green ultra-high performance concrete with low cement content using mineral powders and nano-silica extracted from rice husk ash,” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 23, e05537, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e05537>
- [9] T. B. Viet, L. H. Phuc, and L. T. Hung, “Application of ultra-high performance concrete in bridge construction in Vietnam,” *Tap chi Xay dung*, no. 8, pp. 64–69, 2022.