

HIỆU QUẢ ỨNG DỤNG BÊ TÔNG CHẤT LƯỢNG SIÊU CAO CHO CÔNG TRÌNH CẦU NGHIÊN CỨU CHO CẦU DÂN SINH AN THUƠNG - THÀNH PHỐ HƯNG YÊN

Trần Văn Tấn^{a,*}, Vũ Thị Kim Dung^a, Trần Đức Bình^a, Đặng Văn Dừa^a, Vũ Kim Yến^a

^a*Khoa Kinh tế và Quản lý xây dựng, Trường Đại học Xây dựng,
số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 22/11/2019, Sửa xong 21/01/2020, Chấp nhận đăng 21/01/2020

Tóm tắt

Bê tông chất lượng siêu cao là một loại vật liệu xây dựng mới có nhiều tính năng cơ lý và kỹ thuật vượt trội so với bê tông truyền thống (bê tông thường), đã được nghiên cứu chế tạo và ứng dụng vào các công trình xây dựng, đặc biệt là công trình cầu, ở các nước tiên tiến từ những năm 90 của thế kỷ trước. Ở Việt Nam loại vật liệu này cũng đang ở giai đoạn nghiên cứu phát triển và ứng dụng thử nghiệm. Vì vậy việc nghiên cứu đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật ứng dụng bê tông chất lượng siêu cao là rất cần thiết. Bài báo trình bày một nghiên cứu đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật ứng dụng bê tông chất lượng siêu cao thông qua việc so sánh phương án sử dụng bê tông chất lượng siêu cao với bê tông thường để thiết kế và xây dựng cầu dân sinh An Thuơng, thành phố Hưng Yên.

Từ khoá: bê tông; bê tông chất lượng siêu cao; hiệu quả kinh tế - kỹ thuật; xây dựng công trình cầu.

EFFICIENCY OF ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE USING FOR BRIDGE CONSTRUCTION – CASE STUDY OF AN THUONG BRIDGE, HUNG YEN CITY

Abstract

Ultra high performance concrete is a new construction material with many advantages of technical characteristic in comparison with normal concrete, which has been studied and applied in construction field, especially in bridge construction, in developed countries since the nineties of the last century. In Vietnam the Ultra high performance concrete is also studying and applying to experiment construction. So that it is very necessary to evaluate economic-technical efficiency of the Ultra high performance concrete. The article presents a study of economic-technical efficiency of the Ultra high performance concrete by comparing the alternative of Ultra high performance concrete usage to the alternative of normal concrete usage to construct An Thuong bridge in Hung Yen city.

Keywords: concrete; ultra high performance concrete; economic-technical efficiency; bridge construction.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(1V\)-05](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(1V)-05) © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Bê tông chất lượng siêu cao (Ultra High Performance Concrete - UHPC) là loại vật liệu mới, với thành phần cấu tạo hoàn toàn khác biệt với bê tông thông thường (Normal Concrete – NC), hay còn gọi là bê tông truyền thống. UHPC được bắt đầu nghiên cứu và ứng dụng vào xây dựng ở các nước tiên tiến như Pháp, Đức, Hoa Kỳ, Canada ...từ những năm đầu thập niên 90 của thế kỷ XX và được

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: tantv@nuce.edu.vn (Tấn, T. V.)

coi là một trong những sản phẩm mang tính bước ngoặt của sự phát triển mới đối với công nghệ xây dựng nói chung và công nghệ bê tông nói riêng. Đây là một loại vật liệu tiên tiến với các tính năng tuyệt vời và vượt trội so với vật liệu NC [1] với: cường độ chịu nén cao hơn, cường độ chịu kéo cao hơn và độ bền tăng lên [2]. UHPC là vật liệu hỗn hợp sử dụng xi măng với sợi cốt thép không liên tục, có cường độ chịu nén vượt quá 21,7 ksi (150 MPa) [3]. Tuy vậy, khi chịu tải trọng, loại vật liệu này sẽ phát sinh các vết phá hủy trên bề mặt và như vậy sẽ không thể chấp nhận trong các kết cấu xây dựng. Nhằm tăng cường đặc tính chịu uốn của UHPC, các sợi thép siêu nhỏ sẽ được thêm vào hỗn hợp. Các sợi thép thường có đường kính 0,15 mm và độ dài từ 4 mm đến 20 mm với cường độ chịu uốn vào khoảng 3000 N/mm². Việc sử dụng các sợi thép đã cho phép gia tăng khả năng chịu kéo của UHPC và tạo tiềm năng khai thác các tính năng tuyệt vời của loại vật liệu này. Do đó, sử dụng vật liệu UHPC để chế tạo các kết cấu công trình xây dựng thay thế cho những kiểu kết cấu truyền thống như kết cấu NC, kết cấu bê tông dự ứng lực trước, kết cấu thép... đang là bài toán được nhiều nhà khoa học quan tâm.

Đã có nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước tập trung vào các đặc tính cơ lý của UHPC và đều chứng minh được sự vượt trội về mặt chịu lực của UHPC so với NC. Tuy nhiên, muốn ứng dụng UHPC vào thực tiễn, cần đánh giá một cách cụ thể các hiệu quả kinh tế - kỹ thuật mà loại vật liệu mới này mang lại. Trên thực tế có rất ít công trình nghiên cứu về hiệu quả của UHPC khi so sánh với số lượng tài liệu xuất bản về vật liệu và tính chất kỹ thuật của nó. Hiện nay trên thế giới mới chỉ có một vài nghiên cứu đề cập đến hiệu quả kinh tế - kỹ thuật của UHPC [4–7], nhưng các nghiên cứu này chỉ dừng lại ở việc so sánh một vài chỉ tiêu hiệu quả riêng rẽ của UHPC so với NC, mà thiếu đi sự so sánh mang tính tổng thể. Ở Việt Nam UHPC còn đang trong giai đoạn nghiên cứu thử nghiệm nên các nghiên cứu chủ yếu mới chỉ tập trung vào tính năng kỹ thuật của UHPC mà chưa có nghiên cứu đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật của UHPC một cách đầy đủ. Ngoài ra, việc ứng dụng một loại vật liệu xây dựng mới còn phụ thuộc vào từng trường hợp và hoàn cảnh cụ thể, cho nên đòi hỏi cần phải có phương pháp đánh giá phù hợp.

Trường Đại học Xây dựng đã triển khai Chương trình khoa học và công nghệ cấp bộ “Nghiên cứu ứng dụng bê tông chất lượng siêu cao (UHPC) trong xây dựng cầu quy mô nhỏ và trung bình”. Đây là một chương trình nghiên cứu gồm nhiều đề tài thành phần, nghiên cứu về phương pháp thiết kế, chế tạo, thi công... cầu sử dụng dầm UHPC. Đề tài nghiên cứu khoa học đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật của UHPC là một trong số các đề tài nghiên cứu thuộc Chương trình này. Mục đích nghiên cứu của Đề tài là đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật sử dụng UHPC cho công trình cầu quy mô vừa và nhỏ ở Việt Nam.

2. Phương pháp nghiên cứu

Để đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật sử dụng UHPC cho công trình cầu, nhóm nghiên cứu đã đề xuất mô hình đánh giá bằng cách so sánh phương án xây dựng cầu bằng UHPC với phương án xây dựng cầu bằng NC, áp dụng cụ thể cho cầu dân sinh An Thượng, thành phố Hưng Yên. Để thực hiện bài toán so sánh này, nhóm nghiên cứu đã sử dụng kết hợp nhiều phương pháp nghiên cứu.

2.1. Phương pháp so sánh bằng chỉ tiêu tổng hợp không đơn vị đo

Sử dụng UHPC vào công trình xây dựng cầu là việc sử dụng vật liệu mới vào xây dựng công trình. Để đánh giá hiệu quả của việc sử dụng vật liệu mới thì thường sử dụng phương pháp so sánh phương án sử dụng vật liệu mới với phương án sử dụng vật liệu truyền thống. Có nhiều phương pháp so sánh. Để thực hiện đề tài này, nhóm nghiên cứu đã sử dụng phương pháp so sánh bằng chỉ tiêu tổng hợp không đơn vị đo [8–11], nội dung như sau:

Giả sử có n phương án được đưa ra so sánh, có m chỉ tiêu được đưa vào tính toán (mỗi chỉ tiêu đặc trưng cho một nhân tố ảnh hưởng đến việc so sánh chọn phương án). Chỉ tiêu tổng hợp không đơn vị đo của từng phương án chính là hàm mục tiêu, có thể lựa chọn hướng tiến tới Max hoặc hướng tiến tới Min tùy thuộc vào từng trường hợp cụ thể, được tính toán như sau:

$$V_j = \sum_{i=1}^m P_{ij} \times W_i \quad (1)$$

trong đó V_j là chỉ tiêu tổng hợp không đơn vị đo của phương án j ; W_i là trọng số phản ánh tầm quan trọng của chỉ tiêu i , thường được xác định bằng phương pháp lấy ý kiến chuyên gia; P_{ij} là trị số của chỉ tiêu i thuộc phương án j đã được làm mất đơn vị đo, xác định như sau:

$$P_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{j=1}^n C_{ij}} \quad (2)$$

trong đó C_{ij} là giá trị thực được xác định phù hợp với đơn vị đo của chỉ tiêu i thuộc phương án j . Trong trường hợp chỉ tiêu i không có đơn vị đo cụ thể (tức là chỉ tiêu định tính) thì sử dụng phương pháp chuyên gia để cho điểm. Trong trường hợp chỉ tiêu i có hướng biến thiên ngược với hướng của hàm mục tiêu đã chọn thì phải lấy nghịch đảo trị số của nó để đưa vào tính toán làm mất đơn vị đo. Sau khi tính toán chỉ tiêu tổng hợp không đơn vị đo của từng phương án theo công thức (1) thì so sánh, xếp hạng phương án theo hướng của hàm mục tiêu đã chọn.

2.2. Phương pháp lập dự toán để xác định một số chỉ tiêu đánh giá

Trong hệ chỉ tiêu đưa vào tính toán, so sánh giữa phương án sử dụng vật liệu xây dựng mới với vật liệu xây dựng truyền thống có nhiều chỉ tiêu phải sử dụng phương pháp lập dự toán để xác định trị số cho các chỉ tiêu này, ví dụ như chỉ tiêu chi phí đầu tư xây dựng (ĐTXD) kết cấu hoặc công trình, chỉ tiêu chi phí bảo trì kết cấu và công trình, hao phí lao động sống...

2.3. Phương pháp xác định và so sánh bằng chỉ tiêu chi phí vòng đời

Chi phí vòng đời (Life Cycle Cost - LCC) là chỉ tiêu phản ánh chi phí xảy ra trong suốt vòng đời của sản phẩm từ giai đoạn sản xuất, chế tạo cho đến giai đoạn sử dụng sản phẩm có tính đến giá trị tiền tệ theo thời gian, được tính toán như sau:

$$LCC = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (3)$$

trong đó n là số năm vòng đời của sản phẩm gồm cả giai đoạn sản xuất, chế tạo và giai đoạn sử dụng; C_t là chi phí cho sản phẩm xảy ra ở năm t ; i là tỷ lệ lãi suất chiết khấu được xác định dựa trên lãi suất của thị trường vốn. Chỉ tiêu LCC vừa có thể dùng để so sánh trực tiếp giữa phương án sử dụng vật liệu mới với phương án sử dụng vật liệu truyền thống, vừa là một chỉ tiêu được đưa vào hệ chỉ tiêu để so sánh phương án bằng chỉ tiêu tổng hợp không đơn vị đo.

2.4. Phương pháp đánh giá tác động vòng đời

Phương pháp đánh giá tác động vòng đời (Life Cycle Assessment - LCA) được dùng để tính toán các chỉ số tác động lên môi trường [12, 13]. Ở đây nhóm nghiên cứu sử dụng chỉ tiêu Nhu cầu năng lượng tích lũy (MJ Quang năng Eq) và chỉ tiêu Tiềm năng nóng lên toàn cầu (kg CO₂ Eq) cho từng

phương án UHPC và NC. Việc đánh giá tác động vòng đời của công trình cầu được thực hiện bằng phần mềm OpenLCA và bộ cơ sở dữ liệu Ecoinvent. Trước tiên, nhóm nghiên cứu tính toán tác động môi trường của 1 m³ UHPC và 1 m³ NC bằng cách tổng hợp số liệu tác động môi trường của từng thành phần vật liệu cấu thành nên UHPC và NC. Những số liệu này được khai thác trên cơ sở dữ liệu Ecoinvent. Sau đó, tác động môi trường của 2 phương án so sánh, tính riêng cho đầm, được xác định bằng cách nhân lên theo khối lượng đầm của từng phương án. Tác động môi trường tính chung cho toàn bộ cầu được tính bằng tổng hợp tác động môi trường của các loại vật liệu cấu tạo cầu

2.5. Phương pháp điều tra xã hội học

Phương pháp điều tra xã hội học được sử dụng để thu thập ý kiến của chuyên gia nhằm kiểm định sự phù hợp của hệ chỉ tiêu đánh giá được đề xuất, xác định tầm quan trọng (trọng số) của các chỉ tiêu đánh giá cũng như xác định giá trị của các chỉ tiêu định tính. Nhóm nghiên cứu sử dụng phương pháp nghiên cứu định lượng thông qua bộ câu hỏi khảo sát. Đối tượng khảo sát nhắm tới là các chuyên gia trong lĩnh vực vật liệu xây dựng, thiết kế, xây dựng, quản lý công trình cầu. Nội dung của bộ câu hỏi khảo sát gồm 3 phần:

Phần 1: Thông tin về người được khảo sát. Nhóm nghiên cứu hỏi thông tin về số năm hoạt động trong lĩnh vực xây dựng, vai trò hoạt động của người được khảo sát trong lĩnh vực xây dựng.

Phần 2: Khảo sát mức độ hiểu biết về UHPC và về thiết kế, xây dựng công trình cầu. Nhóm nghiên cứu đưa ra các câu hỏi riêng về mức độ hiểu biết về UHPC và mức độ hiểu biết về thiết kế, xây dựng, bảo trì, quản lý công trình cầu của chuyên gia, từ đó đánh giá mức độ tin cậy của các thông tin phản hồi từ các chuyên gia được khảo sát.

Phần 3: Khảo sát về hệ chỉ tiêu đánh giá, so sánh phương án sử dụng UHPC và phương án sử dụng NC trong thiết kế, xây dựng và quản lý sử dụng, bảo trì công trình cầu quy mô vừa và nhỏ. Các câu hỏi trong phần này nhằm thu thập ý kiến của chuyên gia về hệ chỉ tiêu đánh giá, trọng số của các chỉ tiêu được dùng so sánh phương án sử dụng UHPC và phương án sử dụng NC trong thiết kế, xây dựng và quản lý sử dụng, bảo trì công trình cầu quy mô vừa và nhỏ. Trong phần này các chỉ tiêu định tính trong mô hình so sánh cũng được các chuyên gia cho điểm theo hướng dẫn.

3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

Kết quả nghiên cứu của đề tài được thể hiện cả ở phần đề xuất phương pháp luận và phần áp dụng thực tiễn đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật sử dụng UHPC vào công trình cầu quy mô vừa và nhỏ ở Việt Nam, cụ thể như sau:

3.1. Đề xuất mô hình đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật ứng dụng UHPC vào công trình cầu

Để đạt được mục đích nghiên cứu là đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật ứng dụng UHPC vào công trình cầu nhóm nghiên cứu đã xây dựng mô hình so sánh giữa phương án sử dụng UHPC với phương án sử dụng NC vào công trình cầu. Hàm mục tiêu để so sánh là chỉ tiêu tổng hợp không đơn vị đo. Số phương án đưa ra so sánh là 02 phương án với điều kiện cả 2 phương án đều thỏa mãn yêu cầu về công năng của công trình. Số chỉ tiêu được đề xuất đưa vào mô hình tính toán là 35 chỉ tiêu, được chia làm 4 nhóm như được chỉ ra ở Bảng 1. Chi tiết các chỉ tiêu đề xuất được trình bày ở phần kết quả tính toán áp dụng mô hình đánh giá cho cầu dân sinh An Thượng.

Bảng 1. Đề xuất các nhóm chỉ tiêu đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật

Nhóm chỉ tiêu	Các mục tiêu cần đạt được của phương án	Số chỉ tiêu
Kỹ thuật	Đáp ứng các tiêu chuẩn thiết kế của dự án cũng như tiêu chuẩn ngành	16
Kinh tế	Tối thiểu hóa chi phí và/ hoặc mang lại thu nhập dương cho dự án	7
Môi trường	Đáp ứng các yêu cầu của luật và văn bản pháp quy liên quan và tối thiểu hóa các tác hại (và/ hoặc tối đa hóa các tác động có lợi) lên môi trường đất, không khí, nước chịu tác động bởi dự án	8
Xã hội	Đáp ứng các yêu cầu của luật và văn bản pháp quy liên quan và tối thiểu hóa các tác hại (và/ hoặc tối đa hóa các tác động có lợi) lên môi trường văn hóa, dân cư, di sản, khảo cổ, sức khỏe, thẩm mỹ	4

3.2. Kết quả điều tra xã hội học

Từ 200 bộ phiếu câu hỏi khảo sát được gửi đi, có tất cả 160 phiếu phản hồi được thu thập từ các chuyên gia xây dựng, tương ứng với tỷ lệ phản hồi 80%. Trong đó có 6 phiếu bị loại bỏ do không hợp lệ (thiếu câu trả lời hoặc câu trả lời không thống nhất). Như vậy có 154 phiếu khảo sát được sử dụng để phân tích.

Tất cả các chuyên gia được hỏi đều hoạt động trong lĩnh vực thiết kế, thi công và quản lý xây dựng cầu, trong đó 44,16% có kinh nghiệm từ 5 năm đến 15 năm và 14,94% có kinh nghiệm trên 15 năm trở lên. Điều này giúp đảm bảo độ tin cậy của các câu trả lời khảo sát.

Có 95,45% số chuyên gia tham gia khảo sát đồng ý với hệ chỉ tiêu kinh tế - kỹ thuật mà nhóm nghiên cứu đề xuất, nên nhóm quyết định giữ nguyên hệ chỉ tiêu đánh giá đã đề xuất để đưa vào mô hình đánh giá. Sau khi thu thập được các ý kiến của chuyên gia về tầm quan trọng của các chỉ tiêu đánh giá, nhóm nghiên cứu chuyển đổi các mức độ tầm quan trọng thành số theo thang đo Likert từ 1 đến 5 điểm và xác định trọng số của các chỉ tiêu đánh giá theo bình quân điểm số các chuyên gia đã cho.

3.3. Kết quả so sánh giữa phương án sử dụng UHPC với phương án sử dụng NC cho cầu dân sinh An Thượng

a. Giới thiệu hai phương án xây dựng cầu dân sinh An Thượng

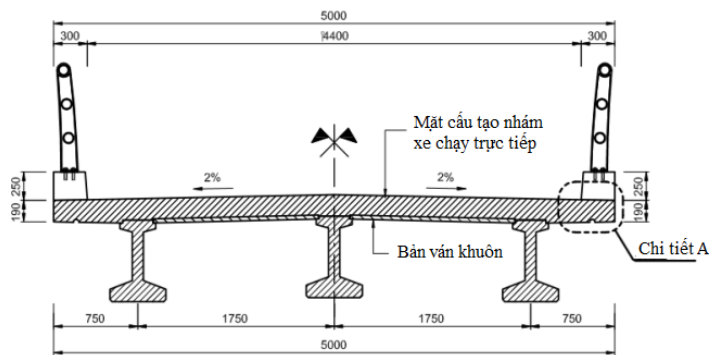
Cầu dân sinh An Thượng là cây cầu vượt kênh thủy lợi tại phường An Tảo, thành phố Hưng Yên, tỉnh Hưng Yên (Hình 1), được thí điểm áp dụng UHPC. Đây là công trình cầu được ĐTXD mới, thay thế cho cầu An Tảo đã cũ, gây mất an toàn giao thông cho người và phương tiện qua lại. Công trình thuộc dự án nhóm C, chủ đầu tư là Công ty TNHH dây & cáp điện Ngọc Khánh, tư vấn thiết kế là Công ty cổ phần tư vấn và xây dựng Tân Phong, Trường Đại học Xây dựng chịu trách nhiệm thiết kế và chế tạo 3 dầm chủ sử dụng UHPC.

Để đánh giá hiệu quả sử dụng UHPC, nhóm nghiên cứu đã đưa ra 2 phương án so sánh. Một phương án thiết kế, thi công cầu An Thượng sử dụng dầm chủ UHPC, một phương án thiết kế, thi công cầu sử dụng dầm chủ NC.

Phương án cầu sử dụng dầm UHPC được thiết kế sơ đồ 1 nhịp dài 21 m, tổng chiều dài cầu 31,1 m, cầu rộng 5 m, gồm 3 dầm chủ UHPC tiết diện chữ I, cao 0,72 m, đặt cách nhau 1,75 m (Hình 2). Bản mặt cầu bằng BTCT dày 19 cm, được đỡ bởi hệ ván khuôn chét sử dụng UHPC dày 35 mm, có kích thước $1,47 \times 1$ m. Mố cầu bằng BTCT, móng cọc BTCT 30×30 cm gồm 14 cọc/mố.

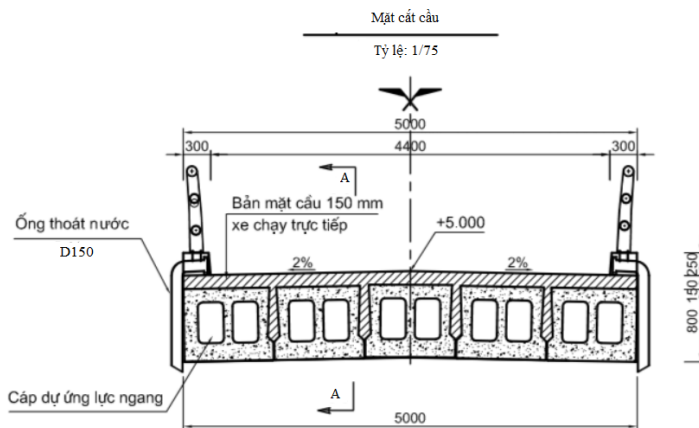


Hình 1. Vị trí xây dựng cầu dân sinh An Thượng sử dụng đầm UHPC



Hình 2. Mặt cắt ngang cầu An Thượng sử dụng UHPC

Phương án sử dụng đầm NC thiết kế sơ đồ 1 nhịp 21 m, tổng chiều dài cầu 31,1 m, cầu rộng 5 m gồm 5 phiến đầm chủ sử dụng NC dạng đầm hộp, đặt liền nhau, đầm cao 0,8 m (Hình 3). Bản mặt cầu bằng BTCT dày 15 cm. Mố cầu bằng BTCT, móng cọc 30×30 cm gồm 20 cọc/mố.



Hình 3. Mặt cắt ngang cầu An Thượng sử dụng NC

Hai phương án thiết kế khác nhau chủ yếu ở kết cấu dầm, kết cấu hệ mặt cầu và số lượng cọc, ngoài ra, dự án thi công công trình cầu An Thượng còn thực hiện các công việc khác như thi công đường dẫn đầu cầu, bao gồm nền đường và mặt đường, thi công 2 móng cầu, đắp đất tứ nón chân khay... Các công việc này coi như giống nhau giữa 2 phương án so sánh.

b. Xác định giá trị các chỉ tiêu và so sánh theo từng chỉ tiêu thành phần

Có 35 chỉ tiêu chia thành 4 nhóm chỉ tiêu như đã đề xuất. Các chỉ tiêu định lượng thì được xác định giá trị cụ thể theo phương án ĐTXD đã đề xuất, các chỉ tiêu định tính thì được lượng hóa bằng cách lấy ý kiến chuyên gia.

Đối với nhóm chỉ tiêu phản ánh về mặt kinh tế: căn cứ vào thành phần cấu tạo và phương pháp tổ chức sản xuất, nhóm nghiên cứu đã tính toán chi phí cho 1 m³ UHPC là 18.859.751 đồng và NC là 3.917.262 đồng. Trên cơ sở khối lượng của từng phương án và mặt bằng giá cả hiện tại, nhóm nghiên cứu đã tính toán các chỉ tiêu so sánh thuộc nhóm chỉ tiêu kinh tế thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Các chỉ tiêu kinh tế của 2 phương án

TT	Chỉ tiêu (i)	Đơn vị	PA dùng UHPC	PA dùng NC	Trọng số (%)
1	Chi phí ĐTXD của cầu	đồng	4.509.222.743	5.060.393.623	3,245
2	Chi phí ĐTXD của dầm cầu	đồng	626.838.203	898.300.764	3,010
3	Chi phí bảo trì cầu (cho cả vòng đời được tính chiết khấu về hiện tại)	đồng	975.648.059	1.040.030.946	2,962
4	Chi phí vòng đời tài chính của cầu	đồng	5.484.693.722	6.100.424.569	2,908
5	Suất đầu tư/m ² mặt cầu	đồng/m ²	39.598.188	44.440.095	2,932
6	Mức nội địa hóa của cầu	%	97,252	100,000	2,826
7	Hao phí lao động sống/m ² mặt cầu	công/m ²	41,927	48,275	2,746

Mặc dù chi phí cho 1 m³ UHPC cao gần gấp 5 lần chi phí cho 1 m³ NC nhưng chi phí ĐTXD cho hệ dầm UHPC vẫn nhỏ hơn chi phí ĐTXD cho hệ dầm NC. Nguyên nhân ở đây là do tính năng vượt trội về khả năng chịu lực của dầm UHPC làm cho số lượng dầm cần thiết của phương án cầu UHPC nhỏ hơn phương án cầu NC. Tương tự như vậy, chi phí ĐTXD của phương án cầu UHPC nhỏ hơn phương án cầu NC bởi vì phương án cầu UHPC có số dầm ít hơn, số gối cầu ít hơn và số cọc ít hơn. Những lợi thế này là do tính năng chịu lực vượt trội của UHPC mang lại.

So sánh bằng chỉ tiêu chi phí bảo trì cầu cũng thấy lợi thế về mặt chi phí của cầu UHPC. Lợi thế này là do tính bền vững của UHPC mang lại. Từ lợi thế về chi phí ĐTXD và chi phí bảo trì cầu dẫn đến chi phí vòng đời của phương án cầu UHPC nhỏ hơn của phương án cầu NC khá nhiều. Đây chính là hiệu quả kinh tế của việc sử dụng UHPC cho cầu dân sinh An Thượng.

Nhóm chỉ tiêu phản ánh về mặt kỹ thuật gồm các chỉ tiêu định lượng và các chỉ tiêu định tính. Các chỉ tiêu định lượng được xác định giá trị dựa trên các số liệu từ mỗi phương án thiết kế, thi công, cũng như các tiêu chuẩn, quy chuẩn về xây dựng công trình cầu. Đối với các chỉ tiêu định tính, giá trị và chỉ số của từng chỉ tiêu được xác định bằng cách lấy ý kiến chuyên gia thông qua bộ câu hỏi khảo sát, lấy phương án sử dụng NC làm gốc so sánh. Kết quả xác định giá trị của các chỉ tiêu phản ánh về mặt kỹ thuật được thể hiện ở Bảng 3 và Bảng 4.

Bảng 3. Các chỉ tiêu kỹ thuật định lượng của 2 PA

STT	Chỉ tiêu (i)	Đơn vị	PA dùng UHPC	PA dùng NC	Trọng số (%)
1	Tuổi thọ đầm cầu	năm	100	100	3,303
2	Tuổi thọ toàn bộ cầu	năm	100	100	3,250
3	Khối lượng đầm cầu	tấn	32,977	146,250	2,877
4	Khối lượng toàn bộ cầu	tấn	1.002,348	1.212,828	2,743
5	Thời gian đúc đầm cầu	tháng	1,5	2,5	2,646
6	Thời gian cầu, lắp đầm cầu cầu ngoài hiện trường	tháng	0,25	0,5	2,606
7	Tổng thời gian xây dựng toàn bộ công trình cầu	tháng	5	5,5	2,879
8	Chu kỳ duy tu bảo dưỡng cầu	năm	30	30	2,863

Do phương án thiết kế cầu An Thượng chỉ sử dụng đầm bằng UHPC, các bộ phận kết cấu khác vẫn dùng NC, nên khi so sánh 2 phương án tạm coi tuổi thọ của đầm, của cầu là như nhau, mặc dù đã có nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng cầu kiện UHPC có tuổi thọ cao hơn NC.

Bảng 4. Các chỉ tiêu kỹ thuật định tính của 2 PA

STT	Chỉ tiêu (i)	Đơn vị	PA dùng UHPC	PA dùng NC	Trọng số (%)
1	Khả năng vượt nhịp của đầm cầu	điểm	3,861	3	3,266
2	Chiều cao thông thuyền của đầm cầu	điểm	3,681	3	2,874
3	Mức độ đơn giản trong khâu chế tạo đầm cầu về mặt kỹ thuật thi công	điểm	2,444	3	2,792
4	Mức độ đơn giản trong khâu chế tạo đầm cầu về mặt tổ chức thi công	điểm	2,597	3	2,692
5	Mức độ đơn giản trong khâu cầu lắp đầm về mặt kỹ thuật thi công	điểm	3,097	3	2,692
6	Mức độ đơn giản trong khâu cầu lắp đầm về mặt tổ chức thi công	điểm	3,083	3	2,641
7	Mức độ đơn giản khi thi công toàn bộ cầu về mặt kỹ thuật thi công	điểm	2,875	3	2,725
8	Mức độ đơn giản khi thi công toàn bộ cầu về mặt tổ chức thi công	điểm	2,903	3	2,715

Phương án sử dụng NC được coi là phương án gốc, do đó các chỉ tiêu có điểm là 3, các chỉ tiêu này đối với phương án sử dụng UHPC được chuyên gia cho điểm từ 1 đến 5 (từ rất kém đến rất tốt).

Theo kết quả khảo sát, các chuyên gia cho rằng phương án sử dụng UHPC đơn giản hơn phương án sử dụng NC trong khâu cầu lắp dầm (cả về mặt kỹ thuật thi công và biện pháp thi công), và phức tạp hơn ở các khâu sản xuất dầm, thi công toàn bộ cầu.

Khi xem xét yếu tố tác động đến môi trường của UHPC và NC, nhóm nghiên cứu sử dụng phương pháp LCA và các chỉ tiêu Nhu cầu năng lượng tích lũy CED (MJ quang năng Eq), Tiềm năng nóng lên toàn cầu (kg CO₂ Eq). Kết quả phân tích của 2 phương án được trình bày trong Bảng 5.

Bảng 5. Các chỉ tiêu môi trường của 2 PA

STT	Chỉ tiêu (i)	Đơn vị	PA dùng UHPC	PA dùng NC	Trọng số (%)
1	Nhu cầu năng lượng tích lũy của hệ dầm cầu	MJ Quang năng Eq	8,654	9,257	2,479
2	Nhu cầu năng lượng tích lũy của toàn bộ cầu	MJ Quang năng Eq	34,434	40,423	2,557
3	Tiềm năng nóng lên toàn cầu của hệ dầm cầu	Kg CO ₂ Eq	28.526,87	51.253,90	2,509
4	Tiềm năng nóng lên toàn cầu của toàn bộ cầu	Kg CO ₂ Eq	140.754,63	190.303,73	2,558
5	Tác động môi trường trong quá trình chế tạo và thi công dầm cầu	Kg CO ₂ Eq	30.611,795	54.249,840	2,847
6	Tác động môi trường trong quá trình chế tạo và thi công toàn bộ cầu	Kg CO ₂ Eq	171.772,63	224.782,59	2,960
7	Tác động môi trường trong quá trình vận hành cầu	Kg CO ₂ Eq	413.753,48	413.777,79	2,902
8	Tác động đến môi trường của cầu trong suốt vòng đời	Kg CO ₂ Eq	585.526,11	638.560,39	2,871

Kết quả tính toán tác động môi trường chỉ ra việc sản xuất 1 m³ UHPC phát thải 2.647,63 kg CO₂ Eq, tính theo chỉ tiêu Tiềm năng nóng lên toàn cầu GWP 100a, và tiêu hao 0,8195 MJ Eq quang năng, tính theo chỉ tiêu Nhu cầu năng lượng tích lũy CED. Hai chỉ tiêu này đối với NC lần lượt là 980 kg CO₂ Eq và 0,177 MJ Eq. Có thể thấy tác động môi trường của UHPC lớn hơn nhiều so với NC do UHPC sử dụng lượng vật liệu cô đặc, hàm lượng cao. Nhưng đối với 2 phương án thiết kế và xây dựng cầu An Thượng, phương án sử dụng hệ dầm UHPC lại thể hiện tác động môi trường thấp hơn phương án sử dụng hệ dầm NC, do phương án sử dụng UHPC sử dụng ít vật liệu hơn khi so sánh tổng thể.

Khi nghiên cứu hiệu quả xã hội của UHPC, nhóm nghiên cứu đã đề xuất chỉ tiêu tính thẩm mỹ của dầm và của cầu. Do UHPC có các tính năng kỹ thuật vượt trội so với NC, thể hiện qua cường độ chịu nén và chịu uốn rất tốt, cho nên khi chịu cùng một loại tải trọng, cầu kiện sử dụng UHPC sẽ có tiết diện (kích thước) yêu cầu nhỏ hơn nhiều so với cầu kiện sử dụng NC. Vậy nên khi ứng dụng UHPC vào công trình cầu, cụ thể là dầm cầu, thì các dầm UHPC sẽ có chiều cao nhỏ hơn, tiết diện thanh mảnh hơn so với dầm NC. Ngoài ra, khâu sản xuất cầu kiện UHPC hiện nay cũng phức tạp hơn nhiều so với cầu kiện NC, do UHPC sử dụng cốt liệu mịn, dễ phát tán trong không khí, hơn nữa, những

sợi thép có đường kính nhỏ cũng có thể gây thương tích cho công nhân trong quá trình sản xuất. Nên nhóm nghiên cứu cũng đề xuất 2 chỉ tiêu vào nhóm hiệu quả xã hội là Khả năng cải thiện mức độ ảnh hưởng đến sức khỏe của người lao động và Khả năng cải thiện mức yêu cầu trang bị bảo hộ lao động. Khi so sánh 2 phương án thì cũng lấy phương án sử dụng NC làm gốc. Kết quả được trình bày trong Bảng 6.

Bảng 6. Các chỉ tiêu xã hội của 2 PA

STT	Chỉ tiêu (i)	Đơn vị	PA dùng UHPC	PA dùng NC	Trọng số (%)
1	Tính thẩm mỹ của dầm cầu	điểm	3,764	3	2,952
2	Tính thẩm mỹ của toàn bộ cầu	điểm	3,653	3	3,151
3	Khả năng cải thiện mức độ ảnh hưởng đến sức khỏe của người lao động trong chế tạo và lắp dựng cầu	điểm	2,931	3	3,030
4	Khả năng cải thiện mức yêu cầu trang bị bảo hộ lao động trong chế tạo và lắp dựng cầu	điểm	2,972	3	3,054

Theo ý kiến chuyên gia, phương án sử dụng UHPC sẽ cải thiện tính thẩm mỹ cho cả dầm và cho toàn bộ cầu khi so sánh với phương án sử dụng NC nhưng cũng sẽ gây ảnh hưởng đến sức khỏe người lao động hơn và cần yêu cầu trang bị bảo hộ lao động nhiều hơn cho công nhân.

c. Kết quả so sánh tổng hợp

Hàm mục tiêu là chỉ tiêu tổng hợp không đơn vị đo với hướng biến thiên là càng nhỏ càng tốt. Căn cứ vào kết quả xác định giá trị của các chỉ tiêu, trọng số của từng chỉ tiêu được xác định bằng phương pháp chuyên gia, việc tính toán chỉ tiêu tổng hợp không đơn vị đo của từng phương án được thể hiện ở Bảng 7.

Bảng 7. Bảng tính chỉ tiêu tổng hợp không đơn vị đo

STT	Tên chỉ tiêu (i)	Trọng số (W_i), %	Giá trị các chỉ tiêu đã được làm mất đơn vị đo		Kết quả tính trị số không đơn vị đo	
			P_i^{UHPC}	P_i^{NC}	V_i^{UHPC}	V_i^{NC}
1	2	3	4	5	6=3×4	7=3×5
I	Nhóm chỉ tiêu kỹ thuật					
1	Tuổi thọ dầm cầu	3,303	0,5	0,5	1,652	1,652
2	Tuổi thọ toàn bộ cầu	3,250	0,5	0,5	1,625	1,625
3	Khối lượng dầm cầu	2,877	0,184	0,816	0,529	2,348
4	Khối lượng toàn bộ cầu	2,743	0,452	0,548	1,241	1,502
5	Khả năng vượt nhịp của dầm cầu	3,266	0,437	0,563	1,428	1,838
6	Chiều cao thông thuyền của dầm cầu	2,874	0,449	0,551	1,291	1,583
7	Thời gian đúc dầm cầu	2,646	0,375	0,625	0,992	1,654

STT	Tên chỉ tiêu (i)	Trọng số (W_i), %	Giá trị các chỉ tiêu đã được làm mất đơn vị đo		Kết quả tính trị số không đơn vị đo	
			P_i^{UHPC}	P_i^{NC}	V_i^{UHPC}	V_i^{NC}
1	2	3	4	5	6=3×4	7=3×5
8	Thời gian cầu, lắp dầm cầu cầu ngoài hiện trường	2,606	0,333	0,667	0,869	1,737
9	Tổng thời gian xây dựng toàn bộ công trình cầu	2,879	0,476	0,524	1,371	1,508
10	Chu kỳ duy tu, bảo dưỡng cầu	2,863	0,5	0,5	1,432	1,432
11	Mức độ đơn giản trong khâu chế tạo dầm cầu về mặt kỹ thuật thi công	2,792	0,551	0,449	1,538	1,254
12	Mức độ đơn giản trong khâu chế tạo dầm cầu về mặt tổ chức thi công	2,692	0,536	0,464	1,443	1,249
13	Mức độ đơn giản trong khâu cầu lắp dầm về mặt kỹ thuật thi công	2,629	0,492	0,508	1,293	1,335
14	Mức độ đơn giản trong khâu cầu lắp dầm về mặt tổ chức thi công	2,641	0,493	0,507	1,302	1,338
15	Mức độ đơn giản khi thi công toàn bộ cầu về mặt kỹ thuật thi công	2,725	0,511	0,489	1,392	1,334
16	Mức độ đơn giản khi thi công toàn bộ cầu về mặt tổ chức thi công	2,715	0,508	0,492	1,380	1,335
II	Nhóm chỉ tiêu kinh tế					
1	Chi phí ĐTXD của cầu	3,245	0,471	0,529	1,529	1,716
2	Chi phí ĐTXD của dầm cầu	3,010	0,411	0,589	1,237	1,773
3	Chi phí bảo trì cầu (cho cả vòng đời được tính chiết khấu về hiện tại)	2,962	0,484	0,516	1,434	1,528
4	Chi phí vòng đời tài chính của cầu	2,908	0,473	0,527	1,377	1,531
5	Suất đầu tư/1 m ² mặt cầu	2,932	0,471	0,529	1,382	1,551
6	Mức nội địa hóa của cầu	2,826	0,507	0,493	1,433	1,393
7	Hao phí lao động sống/1 m ² mặt cầu	2,746	0,465	0,535	1,276	1,469
III	Nhóm chỉ tiêu môi trường					
1	Mức tiêu hao năng lượng của dầm cầu	2,479	0,483	0,517	1,198	1,281

STT	Tên chỉ tiêu (i)	Trọng số (W_i), %	Giá trị các chỉ tiêu đã được làm mất đơn vị đo		Kết quả tính trị số không đơn vị đo	
			P_i^{UHPC}	P_i^{NC}	V_i^{UHPC}	V_i^{NC}
1	2	3	4	5	6=3×4	7=3×5
2	Mức tiêu hao năng lượng của toàn bộ cầu	2,557	0,460	0,540	1,176	1,381
3	Mức phát thải khí CO ₂ của đầm cầu	2,509	0,358	0,642	0,897	1,612
4	Mức phát thải khí CO ₂ của toàn bộ cầu	2,558	0,425	0,575	1,087	1,470
5	Tác động môi trường trong quá trình chế tạo và thi công đầm cầu	2,847	0,361	0,639	1,027	1,820
6	Tác động môi trường trong quá trình chế tạo và thi công toàn bộ cầu	2,960	0,433	0,567	1,282	1,678
7	Tác động môi trường trong quá trình vận hành cầu	2,902	0,500	0,500	1,451	1,451
8	Tác động đến môi trường của cầu trong suốt vòng đời (thông qua việc phân tích vòng đời Life Cycle Assessment - LCA)	2,871	0,478	0,522	1,373	1,498
IV	Nhóm chỉ tiêu xã hội					
1	Tính thẩm mỹ của đầm cầu	2,952	0,443	0,557	1,309	1,643
2	Tính thẩm mỹ của toàn bộ cầu	3,151	0,451	0,549	1,421	1,730
3	Mức độ ảnh hưởng đến sức khỏe của người lao động trong chế tạo và lắp dựng cầu	3,030	0,506	0,494	1,533	1,497
4	Mức yêu cầu trang bị bảo hộ lao động trong chế tạo và lắp dựng cầu	3,054	0,502	0,498	1,534	1,520
Chỉ tiêu tổng hợp không đơn vị đo của phương án					45,734	54,266

Với kết quả tính toán chỉ tiêu tổng hợp không đơn vị đo của phương án sử dụng UHPC là 45,734 điểm, phương án sử dụng NC là 54,266 điểm thì phương án sử dụng hệ đầm UHPC có hiệu quả kinh tế - kỹ thuật tổng hợp cao hơn so với phương án sử dụng hệ đầm NC trong mô hình đánh giá cho cầu dân sinh An Thượng.

4. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu đánh giá hiệu quả kinh tế - kỹ thuật của phương án sử dụng UHPC cho xây dựng cầu dân sinh An Thượng so với phương án sử dụng NC rút ra được kết luận như sau:

- Điểm mạnh của UHPC so với NC:
 - + Tính chất cơ lý và tính năng kỹ thuật vượt trội;
 - + Độ bền cao hơn.
- Điểm yếu của UHPC so với NC:
 - + Chi phí đầu tư ban đầu cho 1 m³ cầu kiện UHPC cao hơn nhiều;
 - + Tác động môi trường tính cho 1 m³ cầu kiện UHPC cao hơn.

Tuy nhiên hiệu quả của UHPC thể hiện ở việc khai thác tính ưu việt về cơ lý và kỹ thuật của UHPC làm cho khối lượng xây dựng công trình sử dụng cầu kiện UHPC nhỏ hơn khối lượng xây dựng công trình sử dụng cầu kiện NC khi giải quyết bài toán so sánh tổng thể công trình cầu, từ đó dẫn đến việc sử dụng UHPC có hiệu quả cao hơn so với việc sử dụng NC, cụ thể như sau:

- Hiệu quả tổng hợp thông qua chỉ tiêu tổng hợp không đơn vị đo cho thấy phương án xây dựng cầu UHPC có lợi ích hơn so với phương án xây dựng cầu dùng NC;
- Chi phí ĐTXD của hệ dầm cầu dùng UHPC nhỏ hơn hệ dầm cầu dùng NC;
- Chi phí vòng đời của toàn bộ cầu của phương án dùng UHPC nhỏ hơn so với phương án dùng NC;
- Tác động môi trường của hệ dầm cầu dùng UHPC nhỏ hơn phương án dùng NC;
- Tác động môi trường của cả công trình cầu của phương án dùng UHPC nhỏ hơn so với phương án dùng NC.

Từ những đánh giá trên đây cho thấy việc phát triển và ứng dụng UHPC cho xây dựng công trình cầu nói riêng và xây dựng công trình nói chung hứa hẹn mang lại lợi ích cao hơn, cần phải được khuyến khích.

Tuy nhiên cũng phải thấy rằng việc sử dụng UHPC thay thế cho NC trong xây dựng công trình cần phải được tính toán, so sánh cho từng trường hợp cụ thể bởi lẽ không phải trường hợp nào khi dùng UHPC cũng có hiệu quả hơn so với phương án dùng NC. Có thể khẳng định tổng quát rằng phương án dùng UHPC chỉ có hiệu quả cao hơn phương án dùng NC khi dùng UHPC làm giảm đáng kể khối lượng xây dựng công trình do khai thác được tính năng kỹ thuật vượt trội của UHPC.

Tài liệu tham khảo

- [1] Stengel, T., Schiebl, P. (2014). [Life cycle assessment \(LCA\) of ultra high performance concrete \(UHPC\) structures](#). *Eco-efficient Construction and Building Materials*, Elsevier, 528–564.
- [2] Russell, H. G., Graybeal, B. A. (2013). *Ultra-high performance concrete: A state-of-the-art report for the bridge community*. The Federal Highway Administration, Report No: FHWA-HRT-13-060.
- [3] Alkaysi, M., El-Tawil, S., Liu, Z., Hansen, W. (2016). [Effects of silica powder and cement type on durability of ultra high performance concrete \(UHPC\)](#). *Cement and Concrete Composites*, 66:47–56.
- [4] Lee, C. D., Kim, K.-B., Choi, S. (2013). [Application of ultra-high performance concrete to pedestrian cable-stayed bridges](#). *Journal of Engineering Science and Technology*, 8(3):296–305.
- [5] Ultra High Performance Concrete – Pathway to Commercialization (2011). *Ultra High Performance Concrete (UHPC) Workshop*. Department of Homeland Security - Science and Technology, Columbia University, New York City, NY.
- [6] Tadros, M. K., Morcous, G. (2009). [Application of ultra-high performance concrete to bridge girders](#). Final Reports & Technical Briefs from Mid-America Transportation Center, Report No: SPR-P1(08)P310, University of Nebraska-Lincoln.

- [7] Stengel, T., Schießl, P. (2009). Life cycle assessment of UHPC bridge constructions: Sherbrooke foot-bridge, Kassel Gärtnerplatz footbridge and Wapello road bridge. *Architecture Civil Engineering Environment Journal*, 1:109–118.
- [8] Chơn, N. V. (1996). *Những cơ sở lý luận về kinh tế đầu tư và thiết kế xây dựng*. Tủ sách sau đại học, Trường Đại học Xây dựng.
- [9] Chơn, N. V. (2001). *Kinh tế đầu tư (Tập 1)*. Nhà xuất bản Thống kê.
- [10] Chơn, N. V. (2001). *Kinh tế đầu tư (Tập 2)*. Nhà xuất bản Thống kê.
- [11] Chơn, N. V. (2003). *Kinh tế đầu tư xây dựng*. Nhà xuất bản Xây dựng.
- [12] Bakhoun, E. S., Brown, D. C. (2012). [Developed sustainable scoring system for structural materials evaluation](#). *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(1):110–119.
- [13] Bakhoun, E. S., Brown, D. C. (2015). [An automated decision support system for sustainable selection of structural materials](#). *International Journal of Sustainable Engineering*, 8(2):80–92.