

KIẾN TRÚC TRONG KỶ NGUYÊN VẬT LIỆU MỚI: GIẢI PHÁP THIẾT KẾ VỚI UHPC

Nguyễn Tất Cường

Viện Kiến trúc Quốc gia

Email: ntcuong68.viar@gmail.com, 0912 872 081

DOI: <https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses1-3>

TÓM TẮT: Trong kỷ nguyên vật liệu mới, UHPC (Bê tông hiệu suất cao) nổi lên như một giải pháp thiết kế đầy tiềm năng cho kiến trúc hiện đại. Với ưu điểm vượt trội về cơ học, thẩm mỹ và khả năng thi công, vật liệu này đang định hình lại ngôn ngữ kiến trúc đương đại. Bài viết phân tích đặc điểm, ứng dụng và thách thức khi sử dụng UHPC, đồng thời đề xuất hướng tích hợp hiệu quả vào công trình kiến trúc, góp phần thúc đẩy thiết kế bền vững, linh hoạt và sáng tạo trong thời đại công nghệ vật liệu phát triển mạnh mẽ.

TỪ KHÓA: Kiến trúc hiện đại; Vật liệu mới; Thiết kế bền vững; Tạo hình linh hoạt; Ngôn ngữ kiến trúc đương đại.

ASBTRACT: *In the era of advanced materials UHPC (Ultra-High Performance Concrete) have emerged as one promising design solutions for contemporary architecture. With outstanding advantages in mechanics, aesthetics, and constructability, this material is reshaping the language of modern architectural design. This paper analyzes the characteristics, applications, and challenges of using artificial UHPC, while proposing effective integration strategies into architectural projects. The aim is to contribute to the advancement of sustainable, flexible, and innovative design in a time of rapid material technology development.*

KEYWORDS: *Modern Architecture; New Materials; Sustainable Design; Flexible Formability; Contemporary Architectural Language.*

1. KHÁI NIỆM VÀ ĐẶC TRƯNG CỦA VẬT LIỆU UHPC

UHPC (Ultra-High Performance Concrete) là một trong những vật liệu tiên tiến nhất trong lĩnh vực bê tông hiện đại, đánh dấu bước phát triển vượt bậc về cơ tính, độ bền và tính thẩm mỹ. Với cường độ nén thường vượt 150 MPa, UHPC cho phép hình thành các kết cấu mảnh, nhẹ nhưng có khả năng chịu lực rất cao, đồng thời duy trì tuổi thọ sử dụng lên đến hàng trăm năm trong điều kiện khắc nghiệt.

Thành phần cơ bản của UHPC bao gồm xi măng mịn, cốt liệu siêu nhỏ, silica fume, phụ gia hoạt tính và sợi kim loại hoặc sợi polymer gia cường. Sự phối trộn này giúp tối ưu hóa cấu trúc vi mô, giảm thiểu lỗ rỗng và tăng khả năng liên kết ma trận, từ đó nâng cao tính chống thấm, chống mài mòn và chống xâm thực hóa học vượt trội so với bê tông truyền thống.

Nhờ đặc tính cơ học và thẩm mỹ cao, UHPC được ứng dụng rộng rãi trong các công trình yêu cầu độ bền, độ chính xác và hình thức kiến trúc

tinh tế như cầu bộ hành, mặt dựng kiến trúc, cầu kiện đúc sẵn mỏng hoặc công trình ven biển. Tính dẻo, linh hoạt và khả năng tạo hình tự do của UHPC mở ra nhiều hướng sáng tạo mới cho kiến trúc sư - nơi mà thẩm mỹ, hiệu năng và bền vững cùng hội tụ trong một vật liệu duy nhất.

2. GIẢI PHÁP THIẾT KẾ TRONG KIẾN TRÚC

2.1. Giải pháp kỹ thuật

UHPC có những đặc tính nổi bật giúp nâng cao hiệu quả kỹ thuật trong thiết kế và xây dựng:

a. Tăng cường độ bền và độ cứng

UHPC sở hữu độ bền cơ học vượt trội, có thể chịu lực nén, lực kéo và chịu uốn rất cao. Nhờ việc bổ sung sợi thép, sợi carbon hoặc các sợi tổng hợp, UHPC không chỉ cứng mà còn rất dẻo dai, giúp giảm khả năng nứt vỡ, tăng khả năng chống thấm nước và tăng tuổi thọ công trình. Điều này cực kỳ quan trọng trong các công trình có yêu cầu bền bỉ lâu dài như cầu, đường cao tốc, tường chắn và nhà cao tầng.

Ví dụ ứng dụng: Tấm UHPC sử dụng cho hệ thống mặt dựng công trình cho phép giảm độ dày của kết cấu mà vẫn đảm bảo độ bền, khả năng chịu tải, đặc biệt là trong các công trình công cộng, nhà ở cao tầng.



Hình 1: Dự án “The One”, Thành phố Hồ Chí Minh: Ứng dụng panel UHPC cho mặt dựng nhằm giảm tải trọng và tăng khả năng chịu nhiệt.
(Ảnh Internet)

b. Giải pháp cấu kiện mỏng và nhẹ

Với khả năng tạo hình linh hoạt và sản xuất các cấu kiện mỏng (chỉ từ 10 - 30 mm), UHPC giúp tiết kiệm không gian và giảm trọng lượng công trình mà vẫn đảm bảo chất lượng kết cấu. Các cấu kiện bê tông mỏng nhẹ này có thể được đúc tại nhà máy và vận chuyển lắp đặt trực tiếp, tiết kiệm thời gian và chi phí thi công.

Ví dụ ứng dụng: Các tấm mặt dựng, lam chắn nắng hoặc các cấu kiện kiến trúc trang trí có thể được đúc sẵn tại xưởng, sau đó vận chuyển và lắp ghép dễ dàng tại công trường mà không cần nhiều phương tiện nặng.

c. Ứng dụng vào công trình chịu tải và chống động đất

UHPC có khả năng chịu tải cao, rất phù hợp cho các công trình có yêu cầu đặc biệt về sức bền như cầu, công trình hạ tầng hoặc các công trình ở khu vực dễ bị động đất. Việc sử dụng UHPC giúp các cấu trúc như dầm, cột và hệ thống khung chịu lực có thể giảm kích thước mà vẫn đảm bảo độ bền vững trong mọi điều kiện môi trường.

2.2. Giải pháp kiến trúc

UHPC mở ra nhiều cơ hội mới trong việc sáng tạo và thể hiện thẩm mỹ trong kiến trúc hiện đại:

a. Tính linh hoạt trong tạo hình

Với khả năng gia công linh hoạt, UHPC có thể được đúc thành các hình khối phức tạp, tạo ra những thiết kế kiến trúc ấn tượng mà vật liệu truyền thống không thể thực hiện được. Cùng với khả năng chịu lực vượt trội, UHPC cho phép các công trình có mặt tiền uốn lượn, các dạng hình học phi tuyến hoặc các cấu trúc với độ mỏng cao, từ đó mở rộng phạm vi sáng tạo cho các kiến trúc sư.

Ví dụ ứng dụng: Các mặt dựng uốn cong, các tấm chắn nắng hay các chi tiết trang trí tinh xảo có thể được chế tác dễ dàng với UHPC, từ đó tạo ra những công trình với tính thẩm mỹ cao.



Hình 2: Verdala Terraces, Malta: Tấm ốp mặt tiền UHPC với chi tiết tinh xảo và bề mặt hoàn thiện liền mạch hai mặt.
(Ảnh Internet)

UHPC không chỉ mang lại tính thẩm mỹ vượt trội mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc tối ưu hóa hiệu suất công trình. Các công trình sử dụng UHPC có thể giảm thiểu sự tiêu tốn năng lượng do khả năng cách nhiệt, cách âm vượt trội, đồng thời vẫn đảm bảo tính thẩm mỹ và thiết kế độc đáo.

Ví dụ ứng dụng: Các hệ mặt dựng được tạo hình từ UHPC có thể đáp ứng tốt yêu cầu về cách nhiệt và giảm tải cho hệ thống điều hòa không khí, tối ưu hóa hiệu quả năng lượng của công trình.

b. Tính bền vững trong thiết kế

Với khả năng tái chế và sản xuất từ các nguyên liệu dễ kiếm và bền vững, UHPC góp phần vào xu hướng thiết kế công trình bền vững. Vật liệu này giúp giảm chi phí bảo trì, tăng tuổi thọ của công trình, đồng thời tiết kiệm năng lượng và giảm thiểu các tác động tiêu cực đến môi trường.

Ví dụ ứng dụng: Việc sử dụng UHPC cho các tấm bê tông tiền chế giúp giảm sự cần thiết của các vật liệu truyền thống và sử dụng ít năng lượng hơn trong suốt vòng đời công trình.

2.3. Giải pháp kinh tế

Sự phát triển và ứng dụng của UHPC cũng mang lại các lợi ích kinh tế rõ rệt cho các chủ đầu tư và nhà thầu xây dựng:

a. Giảm chi phí xây dựng và bảo trì

Mặc dù chi phí ban đầu của UHPC có thể cao hơn so với bê tông truyền thống, nhưng tổng chi phí của công trình có thể được giảm xuống nhờ vào các lợi ích lâu dài như giảm thiểu bảo trì, tăng tuổi thọ công trình và giảm thời gian thi công. Các cấu kiện UHPC có thể được sản xuất hàng loạt và đúc sẵn, giúp giảm chi phí nhân công và chi phí vận hành công trình.

Ví dụ ứng dụng: Trong các công trình giao thông, sử dụng UHPC cho cầu và hạ tầng giúp giảm chi phí bảo trì, bởi vì vật liệu này có độ bền rất cao và không dễ bị hư hỏng theo thời gian.

b. Tiết kiệm không gian và trọng lượng

Việc sử dụng UHPC trong các cấu kiện mỏng giúp giảm được trọng lượng tổng thể của công trình, từ đó giảm bớt chi phí cho các kết cấu chịu tải nặng và chi phí vận chuyển, lắp đặt. Điều này có thể đặc biệt quan trọng trong các công trình xây dựng ở đô thị, nơi không gian và khả năng tiếp cận công trường thường có hạn.

Ví dụ ứng dụng: Các công trình nhà cao tầng, nơi không gian và trọng lượng là yếu tố quan trọng, có thể tận dụng UHPC để giảm độ dày kết cấu mà vẫn đảm bảo sự vững chắc.

c. Tăng giá trị thẩm mỹ và nâng cao thương hiệu

Các công trình sử dụng UHPC không chỉ có độ bền cao mà còn nổi bật với tính thẩm mỹ, tính biểu tượng, mang lại giá trị thương mại lớn hơn. Các công trình này thường được xem là biểu tượng của sự hiện đại và bền vững, tạo dấu ấn mạnh mẽ trong mắt khách hàng và cộng đồng.

Ví dụ ứng dụng: Các tòa nhà văn phòng cao cấp, khách sạn hoặc trung tâm thương mại sử dụng UHPC không chỉ thu hút khách hàng nhờ vào tính thẩm mỹ mà còn khẳng định đẳng cấp của thương hiệu.

Các giải pháp này chứng minh rằng UHPC không chỉ là một vật liệu kỹ thuật cao mà còn mở ra nhiều cơ hội cho thiết kế kiến trúc sáng tạo và tiết kiệm chi phí trong quá trình thi công và bảo trì. Từ đó, UHPC trở thành lựa chọn lý tưởng cho các công trình hiện đại và bền vững trong kỷ nguyên vật liệu mới.

2.4. Giải pháp thiết kế theo hướng tối ưu hóa môi trường và tiết kiệm năng lượng

a. Tối ưu hóa cách nhiệt và cách âm

UHPC có khả năng điều chỉnh và kiểm soát hiệu quả nhiệt độ cũng như âm thanh nhờ cấu trúc vi mô đặc biệt, mật độ cao và độ rỗng rất thấp. Điều này giúp vật liệu đạt hiệu suất cách nhiệt và cách âm vượt trội so với các vật liệu truyền thống, góp phần nâng cao hiệu quả năng lượng cho công trình.

Cụ thể, hệ số dẫn nhiệt của UHPC dao động trong khoảng 1.6 - 2.0 W/m·K, thấp hơn đáng kể so với bê tông thông thường (2.5 - 3.5 W/m·K). Khả năng hấp thụ âm thanh của UHPC ở dải tần trung bình đạt 0.15 - 0.25, trong khi bê tông thông thường chỉ đạt khoảng 0.05 - 0.10. Nhờ đó, các kết cấu sử dụng UHPC có thể giúp giảm tới 15 - 25% tải năng lượng cho hệ thống điều hòa và giảm 20 - 30% cường độ tiếng ồn truyền qua vách trong môi trường đô thị.

Ví dụ ứng dụng: Các mặt dựng hoặc tấm ốp ngoài của công trình văn phòng, trung tâm thương mại hoặc khu dân cư cao tầng có thể sử dụng UHPC để giảm hấp thụ nhiệt từ bức xạ mặt trời, hạn chế hiện tượng tăng nhiệt trong không gian nội thất. Việc này không chỉ giúp tiết kiệm năng lượng cho hệ thống điều hòa mà còn cải thiện sự thoải mái vì khí hậu bên trong, đặc biệt trong điều kiện khí hậu nhiệt đới hoặc khu vực có mật độ giao thông cao.

b. Tiết kiệm năng lượng và sử dụng năng lượng tái tạo

Việc ứng dụng UHPC trong thiết kế kiến trúc không chỉ giúp gia tăng độ bền mà còn mang lại hiệu quả rõ rệt trong tiết kiệm năng lượng và giảm phát thải carbon. Với khối lượng riêng thấp hơn 25 - 30% và độ bền nén cao gấp 4 - 6 lần so với bê tông thông thường, UHPC cho phép giảm đáng kể khối lượng vật liệu sử dụng trong kết cấu, từ đó giảm trung bình 20 - 40% lượng CO₂ phát thải trong quá trình sản xuất và thi công.

Khi được kết hợp với các giải pháp thiết kế bền vững như lớp cách nhiệt phản xạ năng lượng mặt trời ($SR \geq 0.70$) hoặc vật liệu tái chế thân thiện môi trường, UHPC có thể giúp giảm 15 - 20% nhu cầu năng lượng cho điều hòa và chiếu sáng so với công trình sử dụng bê tông truyền thống. Ngoài ra, nhờ bề mặt mịn và khả năng chống thấm cao, UHPC thuận lợi cho việc tích hợp tấm pin năng lượng mặt trời (PV) hoặc hệ thống turbine gió nhỏ, góp phần khai thác năng lượng tái tạo một cách hiệu quả.

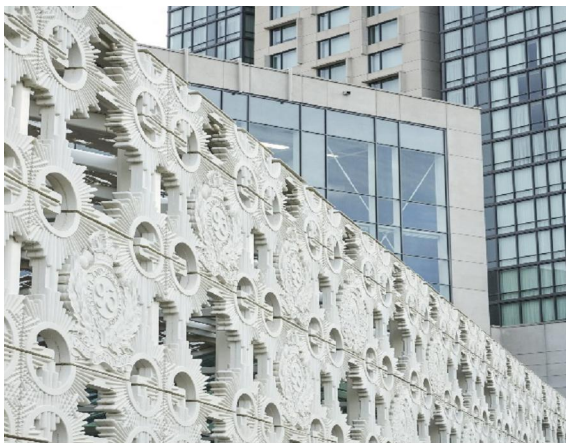
Ví dụ ứng dụng: Các công trình văn phòng hoặc nhà ở sử dụng mặt dựng UHPC tích hợp tấm pin mặt trời hiệu suất 18 - 22% có thể giảm trung bình khoảng 25 kWh/m²/năm điện năng tiêu thụ, đồng thời hạ phát thải CO₂ hàng năm xuống 30 - 35 kg/m², hướng đến tiêu chuẩn công trình xanh (LEED Gold hoặc Lotus Gold).

2.5. Giải pháp cho công trình yêu cầu khả năng chống cháy cao

UHPC thể hiện khả năng chống cháy vượt trội nhờ cấu trúc vi mô đặc chắc, tỷ lệ nước/xi măng cực thấp (≤ 0.20) và sự gia cường bằng các loại sợi chịu nhiệt như sợi thép không gỉ, sợi PVA hoặc sợi polypropylene (PP). Khi được thiết kế đúng kỹ thuật, UHPC có thể duy trì cường độ nén trên 80 - 90% sau khi chịu nhiệt độ 400°C, trong khi bê tông truyền thống thường chỉ giữ lại khoảng 50 - 60% cường độ ở cùng điều kiện.

Ở mức nhiệt cao hơn, UHPC có thể chịu được tới 800°C trong 2 giờ mà không xuất hiện nứt tách lớn, nhờ hiện tượng tạo vi mao quản đồng nhất và khả năng giãn nở thấp. Ngoài ra, khi được bổ sung 2% sợi PP theo khối lượng, UHPC có thể giảm nguy cơ nổ tách (spalling) tới 90% so với bê tông thường, giúp tăng đáng kể độ an toàn của kết cấu trong trường hợp hỏa hoạn.

Ví dụ ứng dụng: Trong các công trình công cộng, bệnh viện hoặc tòa nhà cao tầng, UHPC có thể được sử dụng làm tấm vách ngăn, cửa chống cháy hoặc cấu kiện chịu lực bảo vệ khu vực kỹ thuật. Các thử nghiệm thực tế cho thấy tường UHPC dày 40 mm có giới hạn chịu lửa (fire resistance rating) đạt 120 phút, tương đương tường



Hình 3: Insignia - Khách sạn X, Toronto (Canada): Công trình sử dụng 494 tấm UHPC trang trí tinh xảo, tạo hiệu ứng thoáng sáng và thẩm mỹ độc đáo khi nhìn từ cả bên trong lẫn bên ngoài. (Ảnh Internet)

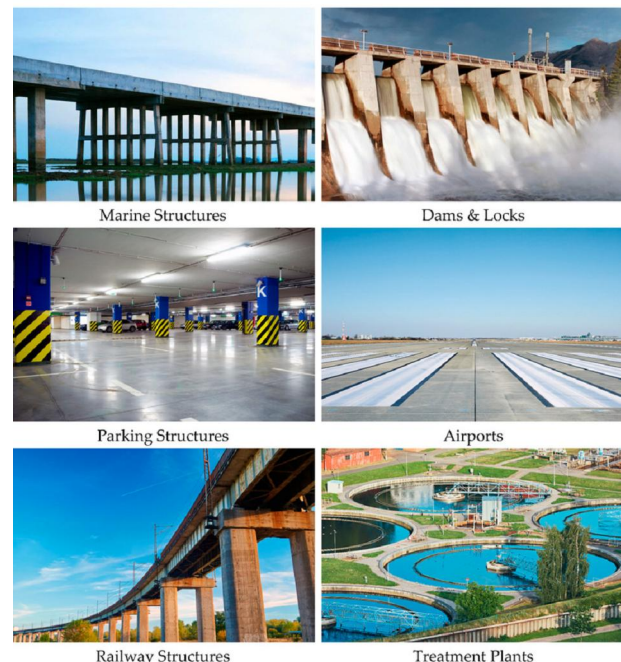
bê tông thường dày 100 mm. Điều này giúp giảm trọng lượng công trình, tăng diện tích sử dụng và vẫn đảm bảo tiêu chuẩn an toàn cháy nổ theo ISO 834 hoặc EN 1363-1.

2.6. Giải pháp thiết kế cho công trình trong điều kiện địa hình phức tạp

a. Ứng dụng trong công trình hạ tầng giao thông và xây dựng tại các khu vực địa chất phức tạp

UHPC đặc biệt thích hợp với các công trình cần độ bền cao trong điều kiện địa hình phức tạp, nơi các yếu tố như động đất, biến đổi địa chất hoặc điều kiện khí hậu cực đoan có thể tác động đến kết cấu công trình. Với khả năng chịu lực lớn và tính năng chống thấm vượt trội, UHPC có thể được sử dụng trong xây dựng cầu, hầm và các công trình hạ tầng khác ở những khu vực này.

Ví dụ ứng dụng: Các cầu treo, cầu vượt hoặc công trình giao thông quan trọng có thể sử dụng UHPC để gia tăng tính an toàn và độ bền của công trình, giảm nguy cơ hư hỏng trong điều kiện khí hậu khắc nghiệt hoặc trong các khu vực dễ xảy ra động đất.



Hình 4: Ứng dụng đa dạng của bê tông UHPC trong các công trình hạ tầng như cầu, đập, bãi đỗ xe và nhà máy xử lý nước (Ảnh internet)

b. Ứng dụng trong các công trình xây dựng trên biển hoặc khu vực ven biển

UHPC có khả năng chống lại tác động của nước mặn, độ ẩm và điều kiện khí hậu khắc nghiệt ven biển, giúp giảm thiểu nguy cơ bị ăn mòn, bảo vệ các kết cấu trong điều kiện môi trường khó khăn này.

Ví dụ ứng dụng: Các công trình cầu cảng, bến tàu, nhà ga tàu thủy hoặc các công trình giao thông ven biển có thể sử dụng UHPC để đảm bảo độ bền trong môi trường ẩm ướt và chống mài mòn do muối biển.

2.7. Giải pháp thiết kế cho công trình biểu tượng và nghệ thuật (Ứng dụng trong thiết kế nghệ thuật và điêu khắc kiến trúc)

Với khả năng tạo hình linh hoạt và độ sắc nét cao, UHPC có thể được ứng dụng trong các thiết kế nghệ thuật, tạo ra các công trình biểu tượng hoặc tác phẩm điêu khắc có tính nghệ thuật cao. Việc sử dụng UHPC trong các tác phẩm nghệ thuật kiến trúc giúp các nghệ sĩ và kiến trúc sư thỏa sức sáng tạo với các chi tiết tinh xảo, đồng thời giữ được độ bền và khả năng chống chịu với thời gian.

Ví dụ ứng dụng: Các tác phẩm điêu khắc trong các quảng trường, công viên công cộng hoặc các tượng đài lịch sử có thể được chế tác từ UHPC, đảm bảo tính thẩm mỹ và độ bền vượt trội so với các vật liệu truyền thống.

2.8. Giải pháp cho các công trình tái sử dụng và phục hồi (Ứng dụng trong bảo tồn và cải tạo công trình lịch sử)

UHPC có thể là một giải pháp lý tưởng cho việc bảo tồn và cải tạo các công trình kiến trúc lịch sử hoặc các công trình có giá trị văn hóa. Việc sử dụng UHPC trong việc phục hồi các chi tiết kiến trúc hoặc các cấu kiện hư hỏng có thể mang lại những công trình không chỉ đảm bảo tính nguyên vẹn về mặt lịch sử mà còn đáp ứng yêu cầu về độ bền và khả năng chịu lực của công trình.

Ví dụ ứng dụng: Cải tạo các di tích hoặc các công trình văn hóa như chùa, đền, lăng tẩm có thể sử dụng UHPC để thay thế các cấu kiện bị hư hỏng, mang lại sự cân bằng giữa bảo tồn giá trị văn hóa và cải tiến tính bền vững của công trình.

Các giải pháp trên cho thấy rằng UHPC không chỉ là một vật liệu đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật mà còn mở rộng khả năng sáng tạo trong thiết kế, đáp ứng các yêu cầu về bảo vệ môi trường và kinh tế trong xây dựng, tạo nên những công trình bền vững và thẩm mỹ trong tương lai.

3. THÁCH THỨC VÀ TRIỂN VỌNG CỦA VẬT LIỆU UHPC TRONG KIẾN TRÚC

Dù có rất nhiều ưu điểm, nhưng việc áp dụng UHPC (Ultra-High Performance Concrete) trong kiến trúc cũng đối mặt với không ít thách thức. Tuy nhiên, nếu vượt qua được các vấn đề này, vật

liệu này sẽ mở ra những cơ hội lớn cho ngành xây dựng và thiết kế kiến trúc hiện đại. Dưới đây là một số thách thức chính và triển vọng ứng dụng của UHPC trong tương lai.

3.1. Thách thức trong việc áp dụng UHPC

a. Chi phí đầu tư ban đầu cao

Một trong những thách thức lớn nhất khi sử dụng UHPC là chi phí đầu tư ban đầu tương đối cao. Mặc dù vật liệu này có tuổi thọ cao và ít yêu cầu bảo trì, nhưng giá thành của các thành phần cấu tạo, như cát siêu mịn, xi măng đặc biệt và sợi thép, có thể làm tăng chi phí sản xuất và thi công công trình. Điều này đôi khi làm cho các nhà đầu tư và chủ công trình ngại khi lựa chọn vật liệu này, đặc biệt trong những công trình có quy mô lớn.

Giải pháp tiềm năng: Cải tiến quy trình sản xuất và nghiên cứu để giảm thiểu chi phí nguyên liệu là một trong những giải pháp có thể giúp giảm chi phí sản xuất UHPC. Thực hiện các dự án nghiên cứu về việc tái chế hoặc sử dụng các nguyên liệu thay thế rẻ hơn cũng sẽ giúp tiết kiệm chi phí.

b. Khả năng thi công và lắp đặt phức tạp

Việc thi công UHPC yêu cầu trình độ kỹ thuật cao và cần phải tuân thủ các yêu cầu nghiêm ngặt trong quá trình trộn, đúc và bảo dưỡng. Các cấu kiện UHPC thường được sản xuất tại nhà máy rồi chuyển đến công trường, điều này đòi hỏi quy trình lắp đặt phải chính xác và kỹ lưỡng, đặc biệt là đối với các công trình lớn hoặc phức tạp. Các nhà thầu và kỹ sư cần có kiến thức chuyên sâu về vật liệu và kỹ thuật thi công mới có thể tối ưu hóa quá trình này.

Giải pháp tiềm năng: Đào tạo đội ngũ thi công và kỹ sư, đồng thời phát triển các công nghệ hỗ trợ như phần mềm thiết kế BIM (Building Information Modeling) để tối ưu hóa quá trình thi công và giám sát chất lượng.

c. Khả năng bảo trì và sửa chữa trong trường hợp hư hỏng

Mặc dù UHPC có độ bền rất cao, nhưng trong trường hợp xảy ra hư hỏng, việc sửa chữa và bảo trì các cấu kiện UHPC có thể gặp khó khăn. Cấu trúc đặc biệt của vật liệu này làm cho việc thay thế hoặc sửa chữa các phần hư hỏng trở nên phức tạp và đắt đỏ hơn so với các vật liệu thông thường.

Giải pháp tiềm năng: Nghiên cứu phát triển các phương pháp sửa chữa hiệu quả và tiết kiệm

chi phí, ví dụ như công nghệ hàn hoặc đổ thêm vật liệu UHPC vào các vết nứt nhỏ để khôi phục tính năng của công trình mà không phải thay thế toàn bộ cấu kiện.

3.2. Triển vọng ứng dụng UHPC trong tương lai

a. Sự phát triển của các công nghệ sản xuất mới

Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ chế tạo vật liệu và các phương pháp sản xuất hiện đại, chi phí của UHPC có thể giảm xuống trong tương lai. Công nghệ sản xuất bê tông siêu bền ngày càng được cải tiến, giúp giảm chi phí đầu vào và mở rộng khả năng sản xuất ở quy mô lớn.

Triển vọng: Việc ứng dụng công nghệ sản xuất bê tông 3D hoặc các phương pháp sản xuất tự động (Robotic fabrication) sẽ giúp giảm chi phí và thời gian sản xuất, từ đó giúp UHPC trở nên phổ biến hơn và dễ dàng áp dụng cho các công trình dân dụng và công nghiệp.

b. Ứng dụng trong các công trình công cộng và hạ tầng

UHPC đang dần được áp dụng rộng rãi hơn trong các công trình công cộng và hạ tầng, nơi yêu cầu về độ bền và khả năng chịu tải rất cao. Những lợi thế về tuổi thọ, khả năng chống thấm và khả năng chịu lực của UHPC làm cho nó trở thành vật liệu lý tưởng cho các công trình như cầu, đường cao tốc, tường chắn, các công trình bảo vệ môi trường và công trình hạ tầng đô thị.

Triển vọng: Các công trình giao thông, nhà ở xã hội, khu vực công cộng hoặc các công trình phục vụ cộng đồng sẽ ngày càng sử dụng UHPC, đặc biệt là trong các khu vực đô thị phát triển nhanh hoặc khu vực có điều kiện địa lý và khí hậu khắc nghiệt.

c. Ứng dụng trong thiết kế công trình biểu tượng và nghệ thuật

UHPC sẽ ngày càng trở thành lựa chọn phổ biến trong thiết kế các công trình biểu tượng, các tác phẩm điêu khắc hoặc các công trình mang tính nghệ thuật cao, nhờ khả năng tạo hình linh hoạt và độ bền vượt trội. Cùng với việc tích hợp các công nghệ như in 3D, UHPC sẽ mở rộng phạm vi ứng dụng trong các công trình nghệ thuật, tạo nên những biểu tượng kiến trúc độc đáo.

Triển vọng: Các công trình biểu tượng quốc gia, các bảo tàng, trung tâm nghệ thuật, công viên công cộng sẽ ngày càng sử dụng UHPC để tạo ra những tác phẩm kiến trúc và nghệ thuật độc đáo, mang tính biểu tượng cao.



Hình 5: Nhà hát lớn Hàng Châu (Yuhang Grand Theatre) - công trình tiên phong ứng dụng UHPC tại Trung Quốc, với kết cấu “khung chịu lực + bê tông cốt thép” và lớp vỏ UHPC mô phỏng vết nứt tự nhiên, tạo hiệu ứng thị giác mạnh mẽ và giảm chi phí bảo trì (Ảnh Internet)

d. Tiềm năng phát triển bền vững và bảo vệ môi trường

UHPC không chỉ là một vật liệu có độ bền vượt trội, mà còn có thể được sản xuất theo các phương pháp thân thiện với môi trường, giúp giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường. Việc tái chế vật liệu, sử dụng nguồn nguyên liệu sạch và giảm lượng khí thải carbon trong quá trình sản xuất UHPC sẽ làm cho vật liệu này trở thành một phần quan trọng trong các công trình xanh và bền vững trong tương lai.

Triển vọng: Các công trình xanh và các sáng kiến phát triển bền vững sẽ tiếp tục thúc đẩy việc áp dụng UHPC trong xây dựng, đặc biệt trong các công trình công cộng hoặc các công trình dân cư trong các khu đô thị thông minh.

Việc sử dụng UHPC trong kiến trúc mang lại rất nhiều lợi ích về kỹ thuật, thẩm mỹ và kinh tế. Mặc dù có một số thách thức về chi phí và kỹ thuật thi công, nhưng triển vọng phát triển vật liệu này trong tương lai rất lớn, đặc biệt trong các công trình yêu cầu độ bền cao và tính thẩm mỹ đặc biệt. Với sự phát triển của công nghệ và nghiên cứu, UHPC sẽ tiếp tục đóng vai trò quan trọng trong ngành xây dựng và kiến trúc, mở ra những cơ hội mới cho việc thiết kế các công trình bền vững, hiệu quả và sáng tạo.

4. ĐỀ XUẤT HƯỚNG NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN TRONG TƯƠNG LAI

Mặc dù UHPC (Ultra-High Performance Concrete) đã đạt được nhiều thành tựu đáng kể trong kiến trúc và xây dựng nhưng vẫn còn nhiều tiềm năng

chưa được khai thác hết. Để tối ưu hóa hiệu quả của UHPC và mở rộng phạm vi ứng dụng của vật liệu này, cần có những nghiên cứu và phát triển tiếp theo nhằm giải quyết các thách thức còn tồn tại, cũng như tận dụng các cơ hội mới trong ngành xây dựng. Dưới đây là một số hướng nghiên cứu và phát triển tiềm năng cho UHPC trong tương lai.

4.1. Nghiên cứu về các vật liệu thay thế trong sản xuất UHPC

a. Tăng cường tính bền vững của UHPC bằng cách sử dụng vật liệu tái chế

Một trong những hướng nghiên cứu quan trọng để giảm chi phí và tác động môi trường của UHPC là việc nghiên cứu và phát triển các vật liệu thay thế trong sản xuất. Sử dụng các nguyên liệu tái chế hoặc phụ gia sinh học, chẳng hạn như cốt liệu tái chế từ bê tông cũ, tro bay hoặc vỏ sò và cát biển, có thể giúp giảm thiểu chi phí sản xuất và giảm bớt tác động tiêu cực đến môi trường.

Ví dụ nghiên cứu: Nghiên cứu việc sử dụng tro bay (fly ash) hoặc xi măng pozzolan trong UHPC không chỉ giảm chi phí mà còn giúp giảm lượng khí CO₂ thải ra từ quá trình sản xuất xi măng truyền thống.

b. Phát triển vật liệu UHPC thân thiện với môi trường

Nghiên cứu các phương pháp giảm lượng khí thải carbon trong sản xuất UHPC là một yêu cầu cấp bách trong bối cảnh phát triển bền vững. Các công nghệ mới như sử dụng xi măng xanh hoặc thay thế một phần của xi măng bằng các chất phụ gia có khả năng hấp thụ khí CO₂ có thể được áp dụng để cải thiện tính thân thiện với môi trường của UHPC.

Ví dụ nghiên cứu: Nghiên cứu việc thay thế xi măng truyền thống bằng xi măng có khả năng hấp thụ carbon có thể giúp giảm đáng kể lượng khí thải trong quá trình sản xuất.

4.2. Nghiên cứu và phát triển quy trình thi công hiệu quả hơn

a. Cải thiện quy trình thi công và lắp đặt

Quy trình thi công và lắp đặt UHPC hiện tại vẫn còn một số phức tạp và tốn thời gian, đặc biệt đối với các công trình lớn. Để tăng tính hiệu quả, cần nghiên cứu các công nghệ thi công mới như in 3D bê tông, robot xây dựng hoặc các kỹ thuật đúc sẵn tại nhà máy, giúp giảm chi phí và thời gian thi công, đồng thời đảm bảo chất lượng công trình.

Ví dụ nghiên cứu: Phát triển công nghệ in 3D bê tông với UHPC có thể mang lại những cấu kiện bê

tông siêu bền với độ chính xác cao và khả năng tạo hình linh hoạt.

b. Tối ưu hóa các phương pháp thi công và lắp đặt

Việc ứng dụng công nghệ mới trong thi công và lắp đặt có thể giúp giảm thiểu những khó khăn trong việc vận chuyển và lắp ráp các cấu kiện lớn làm từ UHPC. Việc nghiên cứu các phương pháp lắp ghép thông minh hoặc thi công tại chỗ sẽ giúp tối ưu hóa quy trình thi công và giảm chi phí.

Ví dụ nghiên cứu: Nghiên cứu việc sử dụng hệ thống lắp ráp thông minh cho các cấu kiện bê tông siêu bền, sử dụng robot hoặc các phương tiện tự động hóa trong việc di chuyển và lắp ghép các tấm bê tông UHPC.

4.3. Nghiên cứu về ứng dụng UHPC trong các lĩnh vực mới

a. Ứng dụng trong các công trình tường bảo vệ và công trình an ninh

UHPC có khả năng chống chịu tác động mạnh mẽ, giúp bảo vệ các công trình khỏi các yếu tố khắc nghiệt hoặc các cuộc tấn công vật lý. Nghiên cứu về việc sử dụng UHPC trong các công trình tường chắn, bảo vệ an ninh hoặc các cấu kiện chịu lực cho các công trình quốc phòng có thể mở rộng ứng dụng của vật liệu này.

Ví dụ nghiên cứu: Phát triển các giải pháp bảo vệ an ninh bằng cách sử dụng UHPC cho các tường chắn, bức tường bảo vệ hoặc các công trình chịu lực có yêu cầu cao về an toàn.

b. Ứng dụng trong các công trình mang tính biểu tượng và nghệ thuật

UHPC cũng có thể được áp dụng trong các công trình nghệ thuật, tượng đài và các công trình biểu tượng có yêu cầu về tính thẩm mỹ cao, đồng thời vẫn đảm bảo độ bền vượt trội. Nghiên cứu và phát triển các phương pháp sử dụng UHPC trong thiết kế điêu khắc và các công trình nghệ thuật có thể mang lại sự sáng tạo độc đáo và vượt thời gian.

Ví dụ nghiên cứu: Tạo ra các tác phẩm nghệ thuật điêu khắc sử dụng UHPC để thiết kế các công trình biểu tượng, đặc biệt là các công trình công cộng, bảo tàng hoặc các khu vực tượng đài.

4.4. Nghiên cứu về tính năng và khả năng cải thiện trong điều kiện địa chất đặc biệt (Cải tiến độ bền của UHPC trong các khu vực có điều kiện địa lý khắc nghiệt)

UHPC có thể được ứng dụng trong các khu vực có điều kiện khí hậu khắc nghiệt, như vùng đất

lạnh, nơi có nhiều động đất hoặc các khu vực ven biển. Việc nghiên cứu và cải tiến độ bền của UHPC trong các điều kiện này sẽ mở rộng khả năng ứng dụng của vật liệu trong các công trình ở các khu vực địa lý khó khăn.

Ví dụ nghiên cứu: Phát triển các phương pháp cải tiến chống ăn mòn và chống biến dạng của UHPC khi áp dụng trong các khu vực có khí hậu lạnh hoặc nhiệt độ thay đổi lớn.

Các hướng nghiên cứu và phát triển trong tương lai sẽ giúp UHPC trở thành vật liệu ngày càng phổ biến và hiệu quả hơn trong ngành xây dựng và kiến trúc. Việc cải tiến quy trình sản xuất, nâng cao tính bền vững và giảm chi phí sẽ giúp mở rộng phạm vi ứng dụng của vật liệu này, từ các công trình hạ tầng lớn đến các công trình dân dụng và công cộng. Bằng cách kết hợp các tiến bộ công nghệ và phương pháp thi công mới, UHPC có thể đóng vai trò quan trọng trong việc xây dựng các công trình bền vững, tiết kiệm năng lượng và mang tính thẩm mỹ cao trong tương lai.

5. KẾT LUẬN

Trong bối cảnh kiến trúc bước vào kỷ nguyên vật liệu mới UHPC không chỉ là sự thay thế cho vật liệu truyền thống, mà còn mở ra một tư duy thiết kế hoàn toàn khác biệt. UHPC đại diện cho bước tiến vượt bậc về hiệu năng cấu kiện, cho phép kiến trúc vươn tới những hình khối mảnh mai, mềm mại nhưng vẫn đảm bảo an toàn và tuổi thọ lâu dài.

Đặc biệt, UHPC (Ultra-High Performance Concrete) đang mở ra những cơ hội mới và giải pháp bền vững cho ngành kiến trúc hiện đại. Với khả năng chịu lực vượt trội, độ bền cao và khả năng chống thấm xuất sắc, UHPC đang trở thành lựa chọn lý tưởng cho các công trình yêu cầu hiệu suất cao, độ bền lâu dài và tính thẩm mỹ. Việc áp dụng UHPC trong các công trình không chỉ giúp tối ưu hóa chi phí bảo trì, tăng khả năng chống chịu trước môi trường khắc nghiệt mà còn hỗ trợ kiến trúc sư trong việc tạo ra những công trình nghệ thuật và biểu tượng giàu tính sáng tạo.

Dù vẫn còn những thách thức như chi phí ban đầu cao, yêu cầu kỹ thuật thi công phức tạp hay khó khăn trong sửa chữa, nhưng với sự tiến bộ của công nghệ sản xuất, những trở ngại này sẽ dần được khắc phục. Trong tương lai, UHPC có tiềm năng không chỉ trong việc xây dựng các công trình có tuổi thọ cao, mà còn trong việc kiến tạo không gian sống bền vững, thân thiện môi trường, gắn với

đô thị thông minh. Các ứng dụng mở rộng của UHPC trong công trình chống cháy, chống thấm, tiết kiệm năng lượng và bảo vệ môi trường sẽ góp phần quan trọng cho sự phát triển của kiến trúc hiện đại.

Từ đó có thể khẳng định, đá nhân tạo và UHPC sẽ là hai vật liệu chiến lược trong tiến trình đổi mới kiến trúc toàn cầu. Chúng không chỉ nâng cao hiệu quả công năng và tính thẩm mỹ, mà còn thúc đẩy ngành xây dựng tiến tới sự sáng tạo, bền vững và nhân văn, tạo ra những công trình vừa mang tính biểu tượng vừa gắn bó hài hòa với con người và môi trường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Báo cáo chuyên ngành

- [1] Bộ Xây dựng Việt Nam. (2020). Định hướng phát triển vật liệu xây dựng trong kiến trúc hiện đại.
- [2] Hội Bê tông Việt Nam và Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng. (2022). Công nghệ bê tông siêu tính năng (UHPC) ứng dụng tại Việt Nam.
- [3] Tạp chí Xây Dựng. (2020). Nghiên cứu công nghệ bê tông siêu tính năng (UHPC) ứng dụng để thiết kế chế tạo dầm cầu tiết diện chữ U, nhịp 50 m.
- [4] Vật liệu xây dựng. (2021). Nghiên cứu ứng dụng bê tông siêu tính năng - UHPC cho xây dựng kết cấu tại Việt Nam.

Tạp chí quốc tế

- [5] Barreto, D., Ferreira, A., Silva, L., & Fernandes, J. (2022). Engineered stone produced with glass packaging waste, quartz powder, and epoxy resin. Sustainability, 14(12), 7227.
- [6] Gencel, O., et al. (2019). New engineered stones: Development and characterization of composite materials with recycled content. Composites Part B: Engineering, 174, 106941.
- [7] Taylor, A., et al. (2022). Characterisation of dust emissions from machined engineered stone. Scientific Reports, 12, 4382.
- [8] Leso, V., Fontana, L., Romano, R., Gervetti, P., & Iavicoli, I. (2022). What do safety data sheets for artificial stone products tell us about composition and occupational health risks? International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(15), 9557.