

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ LOẠI PHỤ GIA HOÁ HỌC ĐẾN TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG SIÊU TÍNH NĂNG - UHPC

## RESEARCHING THE EFFECT OF SOME CHEMICAL ADDITIONS ON THE PROPERTIES OF ULTRA HIGH PERFORMANCE FIBRE REINFORCED CONCRETE - UHPC

Trần Bá Việt

### Tóm tắt:

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu về vai trò và sự ảnh hưởng của phụ gia hoá học trong chế tạo bê tông siêu tính năng – UHPC. Thông qua các thử nghiệm tính chất cơ lý của hỗn hợp UHPC và UHPC, có thể đưa ra được các đánh giá và số liệu tham khảo về việc lựa chọn loại phụ gia và hàm lượng của chúng cho tính toán cấp phối UHPC để đảm bảo được mức tối ưu nhất về tính công tác và cường độ.

**Từ khóa:** Bê tông siêu tính năng - UHPC, phụ gia siêu dẻo, cốt sợi thép phân tán cường độ cao, bảo dưỡng nhiệt ẩm, độ chảy xòe, cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo trực tiếp, cường độ chịu uốn.

### Abstract:

This paper presents research results the influence of superplasticizers in the properties of ultra high performance concrete – UHPC. Through testing the physical and mechanical properties of the mixture UHPC and UHPC hardend, it is possible to provide evaluations and reference database on the selection of additives and content for the calculation of UHPC grading in order to ensure the optimal composition of UHPC.

**Keywords:** Ultra high performance fibre reinforced concrete - UHPC, superplasticizer, dispersed fiber reinforcement, high strength steel thread, heat moisture curing, flow, compressive strength, tensile strength, flexural strength.

### 1. UHPC - vật liệu thành phần

#### 1.1. Tổng quan về UHPC

Trong hai thập kỷ qua, đã có những bước tiến trong lĩnh vực bê tông tính năng cao (HPC). Thế hệ tiếp theo được phát triển chính là bê tông tính năng siêu cao (UHPC), thể hiện sự vượt trội về các đặc tính như cường độ và độ dẻo dai, độ bền lâu nên phù hợp để sử dụng trong các kết cấu chịu lực và cấu kiện phi kết cấu. Vật liệu này có thể thể hiện độ bền nén lên tới 200 MPa, độ bền kéo 17 MPa, modul đàn hồi 55 GPa và sự co ngót hoặc từ biến tối thiểu.

UHPC ở dạng hiện tại bắt đầu có mặt trên thị trường ở Bắc Mỹ vào cuối những năm 1990. FHWA bắt đầu khảo sát sử dụng UHPC cho cơ sở hạ tầng đường cao tốc vào năm 2001 và đã làm việc với các sở giao thông vận tải của Bang để triển khai công nghệ này từ năm 2002. Cây cầu đầu tiên của Hoa Kỳ sử dụng UHPC được xây dựng tại Quận Wapello, Iowa vào năm 2006, cây cầu này được gọi là Cầu Mars Hill. Trong cùng

### TS. Trần Bá Việt

Hội Bê tông Việt Nam (VCA)

Email: vietbach57@yahoo.com

ĐT: 0903 406 501

Ngày nhận bài: 29/5/2022

Ngày gửi phản biện: 01/6/2022

Ngày chấp nhận đăng: 07/6/2022

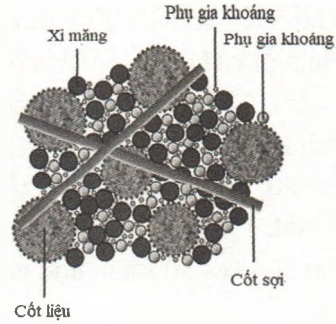
giai đoạn này từ cuối những năm 1990, ngoài Bắc Mỹ, UHPC cũng đã được phát triển ở một số khu vực, chẳng hạn như Pháp, Úc, Nhật Bản, Đức, Hàn Quốc, Trung Quốc, Malaysia và các khu vực khác.

Theo Cục Quản lý Đường cao tốc Liên bang Hoa Kỳ (FHWA), UHPC được định nghĩa như sau: UHPC là vật liệu composite gốc xi măng bao gồm sự phân cấp tối ưu của các thành phần dạng hạt, tỷ lệ nước so với vật liệu gốc xi măng nhỏ hơn 0,25 và có chứa cốt sợi phân bố không liên tục. Các đặc tính cơ học của UHPC bao gồm cường độ chịu nén lớn hơn 150 MPa) và độ bền kéo bền sau nứt lớn hơn 5 MPa).

Tại Malaysia, bê tông tính năng siêu cao (UHPC) mang đến cơ hội mới cho các công trình cơ sở hạ tầng, công trình xây dựng và nhiều thị trường. Trong hai thập kỷ qua, UHPC đã được sử dụng cho cả cấu kiện đúc sẵn và phi kết cấu. Hầu hết các dự án ở các quốc gia này đã được thúc đẩy bởi các cơ quan chính phủ như là các dự án nhằm khuyến khích việc thực hiện thêm. Cơ quan tư nhân và Chính phủ đang tăng cường chỉ đạo về sự chú ý và chủ động hướng tới việc khai thác UHPC như một vật liệu xây dựng bê tông trong tương lai, vì công nghệ UHPC mang đến một giải pháp hoàn thiện hơn cho xây dựng bền vững với các giá trị vòng đời thuận lợi.

Theo ACF-120001-2020 Guidelines for UHPC Materials (Asian Concrete Federation – ACF), UHPC là composite gốc xi măng có chứa cốt sợi phân tán rời rạc để làm tăng độ dẻo sau nứt khi kéo, có độ bền nén quy định tối thiểu là 120 MPa và độ bền uốn là tối thiểu bằng 14 MPa hoặc độ bền kéo trực tiếp tối thiểu là 5 MPa và hệ số thấm ion Clorua tối đa là  $2 \times 10^{-14}$  m<sup>2</sup>/s ở tuổi 28 ngày.

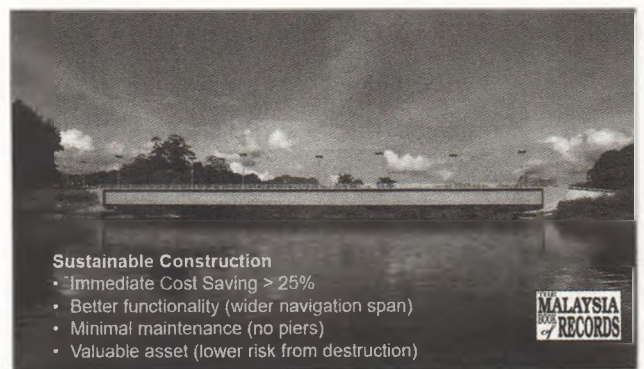
Từ các định nghĩa ở trên, kết hợp thành phần chính của UHPC và các đặc tính ưu việt cùng với các công nghệ sản xuất UHPC, chúng tôi thấy có thể định nghĩa như sau: UHPC là một thể hệ vật liệu bê tông xi măng mới có cường độ chịu nén rất cao, độ dẻo cao và đảm bảo độ bền lâu nhờ tối ưu hóa thành phần cấp phối gồm: xi măng, cốt liệu mịn, cát thạch anh hạt nhỏ, cát thạch anh hạt lớn, đá granite hạt nhỏ, các phụ gia khoáng hoạt tính, phụ gia hóa học, sợi thép cường độ cao và tỷ lệ nước trên chất kết dính rất thấp.



**Hình 1.** Sợi thép phân bố 3D trong UHPC

Vật liệu UHPC cũng đã được áp dụng cho một loạt các ứng dụng kiến trúc và kết cấu đúc sẵn khác, chẳng hạn như hệ thống ốp, các sản phẩm an ninh cao, máng xử lý nước thải, đồ nội thất đô thị, các sản phẩm tiện ích ngầm, tán, thanh chống và cột cùng với một số ứng dụng khác. Nhiều hội nghị quốc tế về vật liệu và kết cấu UHPC nhằm mục đích thúc đẩy nghiên cứu, thiết kế và ứng dụng UHPC đã được tổ chức. Hội nghị lần thứ nhất, Changsa, Trung Quốc. Hội nghị quốc tế lần thứ 02 tại Phúc Châu từ ngày 07/11 đến ngày 10/11/2018. Hội nghị Quốc tế lần thứ 03 tại Nam Kinh từ ngày 29/10 đến ngày 01/11/2020.

Với kinh nghiệm và sự cải tiến liên tục, chi phí ban đầu dự kiến sẽ ngày càng thấp. Tài liệu chỉ ra rằng tuổi thọ của UHPC có thể lên đến 500 năm. Các cầu UHPC có diện tích mặt cầu, chiều dài nhịp cũng sẽ tăng dần. Cầu Batu 6, Malaysia (2015) được biết đến là cây cầu đường một nhịp dài nhất hiện nay (100m). Cây cầu đã nhận được Giải thưởng Thiết kế PCI 2016 của Viện Bê tông Dự ứng lực/Đúc sẵn vì là Kết cấu Giao thông Quốc tế tốt nhất.



**Hình 2.** Cầu Batu 6 tại Perak, Malaysia



Tại Việt Nam, các nghiên cứu về UHPC đã được tiến hành tại Viện KHCN Xây dựng (IBST), ĐH Xây dựng Hà Nội và ĐH GTVT Hà Nội từ cách đây khoảng 20 năm. Tháng 10/2015, Viện KHCN Xây dựng đã thiết kế chế tạo phiến dầm Duple Tee đầu tiên tại Việt Nam với tải trọng 0,35HL93 và đã thử nghiệm mô hình 1:1, cho kết quả đáp ứng yêu cầu thiết kế. Điều đó là cơ sở khoa học và thực tiễn để tháng 07/2016 IBST đã thiết kế, chế tạo và xây dựng cây cầu đầu tiên tại Việt Nam nhịp 18 m, dầm Duple Tee, tải trọng thiết kế 0,45HL93 tại Đập Đá, phường 4, Tp. Vị Thanh, tỉnh Hậu Giang với thời gian xây dựng chỉ trong 2 tuần. Trong năm 2017 và đầu năm 2018, công ty TVTK Thăng Long và Viện IBST tiếp tục thiết kế và chế tạo sản xuất 12 cây cầu UHPC với nhịp từ 8 ÷ 15 m Duple Tee, tải trọng từ 0,45HL93 ÷ 0,65HL93, tại 03 tỉnh thành là Hà Nội, Đà Nẵng và Ninh Bình. Trong đó, lần đầu tiên thực hiện thi công mỗi nôi UHPC tại hiện trường và cũng là lần đầu tiên thực hiện mỗi nôi bản mặt UHPC liên tục nhiệt cho cầu 2 nhịp 16 m/ nhịp. Tiếp sau đó, ĐH Xây dựng Hà Nội đã thực hiện xây dựng cầu UHPC với dầm dạng I, mặt BTCT thường đổ tại chỗ, nhịp 20 m tải 0,65HL93 tại tỉnh Hưng Yên.



*Hình 3. Đoàn công tác Hội bê tông Châu Á thăm quan cầu UHPC tại Hà Nội*

Trên cơ sở các kết quả đạt được, Tổng cục Đường bộ Việt Nam được Ngân hàng thế giới (WB) tài trợ đã thiết kế, xây dựng 03 cầu UHPC tại các tỉnh Thái Nguyên, Nghệ An và Trà Vinh, với nhịp 16 m và nhịp 20 m liên tục nhiệt, hoạt tải 0,45HL93. Các cầu này do công ty Tín Thịnh thi công trong hai năm 2018-2019 và đã được đưa vào khai thác cho kết quả tin cậy. Các cầu này đều

được thiết kế thi công sử dụng dầm Double Tee bản mặt bằng UHPC dày 50 mm, với nhịp dài nhất hiện nay tại Việt Nam là nhịp – 20 m/nhịp x3, đã được Bộ GTVT phê duyệt khung tiêu chuẩn, trong đó có TCCS/IBST và tiêu chuẩn NF P18-470.



*Hình 4. Cầu dân sinh UHPC tại Thái Nguyên*

Hiện nay, công ty Cổ phần Sáng tạo và Chuyển giao Công nghệ Việt Nam đã kết hợp cùng một số công ty khác đã xây dựng thêm hơn 30 cầu UHPC (dầm Duple Tee) tại các tỉnh Long An, Thanh Hoá, Tuyên Quang và đã đưa vào khai thác. Trong năm 2021 và đầu năm 2022, một số cầu UHPC như 09 cầu tại huyện Vĩnh Hưng, tỉnh Long An đang được xây dựng với dầm UHPC Duple Tee, nhịp 12 + 16 m, tải trọng 0,45HL93. Ở Phú Thọ có 01 cầu đang xây dựng, 4 nhịp - 30 m/nhịp, rộng 6,5m, tải 0,65HL93. Đây là cầu đầu tiên có dầm UHPC đúc phân đoạn căng sau tại Việt Nam, hiện nay đã đúc xong các phân đoạn và chuẩn bị thi công mỗi nôi.

Năm 2019 - 2020, Hội Bê tông Việt Nam (VCA) và ĐH GTVT Hà Nội - TEDI đã phối hợp nghiên cứu UHPC để làm lớp liên hợp với bản mặt thép dầm trực hướng, phục vụ dự án sửa chữa mặt cầu Thăng Long. Các kết quả nghiên cứu được chấp nhận và đã thực hiện giải pháp lớp UHPC liên hợp tại dự án này. Chỉ trong 03 tháng, đã thi công 2.000 m<sup>3</sup> UHPC tương ứng với diện tích mặt cầu là 28.000 m<sup>2</sup>. Sau đó cầu đã được thông xe vào ngày 07/01/2021, tính đến nay đã qua 16 tháng khai thác, chất lượng lớp UHPC liên hợp và các lớp phủ mặt đáp ứng yêu cầu thiết kế và khai thác chạy xe tin cậy với tốc độ 80 km/h.





**Hình 5.** Thi công UHPC tại dự án sửa chữa mặt cầu Thăng Long

Trong các công trình đã xây dựng bao gồm: 02 cầu dân sinh là nguồn tài trợ xã hội hoá, 01 cầu là kinh phí đề tài kết hợp với xã hội hoá, 03 cầu là nguồn vốn ODA Nhật Bản - WB, còn lại là nguồn tư nhân và nguồn Ngân sách Nhà nước. Điều đó cho thấy hiệu quả không chỉ về kỹ thuật mà cả về hiệu quả kinh tế. Vì chỉ hiệu quả kinh tế thì nguồn vốn tư nhân mới chấp nhận đầu tư. Công nghệ UHPC có hiệu quả đầu tư trực tiếp (chưa tính đến vòng đời LLC - Long Life Cycle), điều này khá riêng biệt so với thế giới vì vật liệu để chế tạo UHPC tại Việt Nam khá sẵn và phổ biến trong cả nước, nhất là ven biển (đó là nguồn cát trắng - cát thạch anh có sẵn khắp các tỉnh dọc bờ biển miền Trung - Việt Nam). Điều này cho chúng ta cơ hội lớn trong sử dụng UHPC trong xây dựng trong nước và xuất khẩu. Bên cạnh đó, trong 05 năm gần đây Việt Nam đã tiến những bước dài trong nghiên cứu học thuật, nghiên cứu công nghệ, hợp tác quốc tế, tiêu chuẩn hoá, để ứng dụng công nghệ UHPC bước đầu cho kết quả tốt, đáng được khích lệ.



**Hình 6.** Cát trắng ven biển tại Việt Nam là một thành phần quan trọng trong sản xuất UHPC

Tại Việt Nam đã tổ chức và tham dự nhiều Hội nghị về UHPC như Hội thảo tại Tuyên Quang tháng 11/2018. Sau đó, Hội Bê tông Việt Nam đã có đoàn tham dự Hội nghị Quốc tế lần thứ 02 về UHPC tại Phúc Châu, tỉnh Phúc Kiến, Trung Quốc. Tại đó, chúng ta đã có 03 báo cáo, trong đó có 01 bài của diễn giả khách mời (Invited Speaker) trong phiên toàn thể. Cuối năm 2020, hội bê tông Việt Nam được mời trình bày online với hai báo cáo về UHPC tại Hội nghị hoá học tại Munchen, Đức và Hội nghị Quốc tế về UHPC lần thứ 03 tại Nam Kinh, Trung Quốc. Vừa mới đây - tháng 08/2021, Chủ tịch Hội bê tông Việt Nam đã trình bày tại webinar chuyên đề UHPC do Liên đoàn bê tông Châu Á (ACF) tổ chức. Tại các Hội nghị và Hội thảo, các bài trình bày của chúng ta được đánh giá cao và gây ấn tượng với các nhà nghiên cứu lĩnh vực UHPC. Và cũng trong năm nay, ACF đã quyết định trao cho VCA - Việt Nam tổ chức Hội nghị Quốc tế lần thứ 04 về UHPC vào tháng 10/2022 tại Việt Nam. Và gần đây TS. Trần Bá Việt đã được Ngân hàng Thế giới mời báo cáo về cầu UHPC Việt Nam tại Hội nghị quốc tế về cầu đường nông thôn tổ chức từ ngày 24-26 tháng 5 năm 2022 tại New Delhi. Điều đó cho thấy chúng ta đã có uy tín, kinh nghiệm và hiểu biết để có thể tổ chức hội nghị quốc tế.

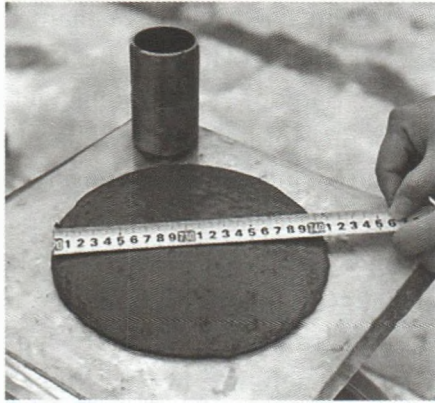
## 1.2. Vật liệu thành phần

Vật liệu thành phần có thể sử dụng để sản xuất UHPC bao gồm: xi măng, cát thạch anh, đá granite hạt nhỏ, các loại phụ gia khoáng hoạt tính, phụ gia hóa học, sợi thép cường độ cao, sợi tổng hợp và một tỷ lệ nước trên chất kết dính rất thấp.

Nhờ sử dụng phụ gia siêu dẻo một cách hợp lý mà hỗn hợp thành phần UHPC có được sự tối ưu hoá về độ đặc chắc. Cùng với đó là sự phân tán matrix của cốt sợi thép mà UHPC có thể có được cường độ chịu nén lên tới 200 MPa, Modul đàn hồi lên tới 60 GPa, cường độ chịu kéo trực tiếp và cường độ chịu kéo khi uốn lần lượt là 15 MPa, 45 MPa (ở tuổi 28 ngày).

Ngoài ra, phụ gia siêu dẻo còn giúp hỗn hợp UHPC có tính chất tự chảy, tự lèn chặt tạo ra một sản phẩm có bề mặt đẹp, chất lượng cao và giảm nhân công trong chế tạo.

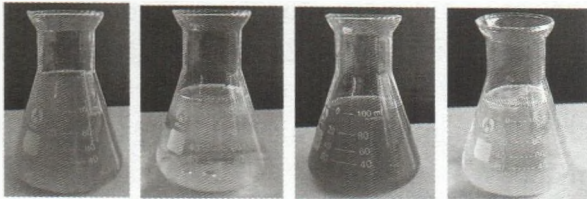




**Hình 7.** Tính năng tự chảy của UHPC

Các phụ gia siêu dẻo được sử dụng trong chế tạo sản xuất UHPC thường là loại có gốc Polycarboxylate (PCE) của các đơn vị trong và ngoài nước. Tuy vậy, liều lượng phụ gia cần thiết phụ thuộc rất lớn vào sự tương thích giữa các vật liệu thành phần.

Để làm rõ được ảnh hưởng trên, chúng tôi đã nghiên cứu chế tạo UHPC với 4 loại phụ gia siêu dẻo khác nhau là PCE1, PCE2, PCE3 và PCE4 để so sánh, đánh giá.



**Hình 8.** Các loại phụ gia gốc PCE

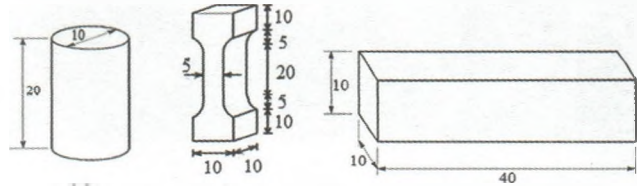
**2. Phương pháp và tiêu chuẩn áp dụng**

Các vật liệu trên cấu thành nên UHPC đáp ứng các tiêu chuẩn về vật liệu:

- TCVN 6282:2009, Xi măng Poóc lăng – yêu cầu kỹ thuật;
- TCVN 8826:2011, Phụ gia hoá học cho bê tông và vữa;
- TCVN 9036:2011, Nguyên liệu để sản xuất thủy tinh – cát – yêu cầu kỹ thuật;
- TCVN 11586:2016, Xi hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa;
- ASTM A820, Standard Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete.

Các mẫu thí nghiệm tính chất cơ lý có kích thước như sau:

- Cường độ chịu nén: mẫu lập 4x4x16 cm và mẫu trụ d10xh20 cm;
- Cường độ chịu kéo: mẫu 5x10x50 cm;
- Cường độ chịu kéo khi uốn: mẫu lập phương 10x10x40 cm;



**Hình 9.** Mẫu thử nghiệm nén, kéo, uốn

Các chỉ tiêu tính chất cơ lý thực hiện theo các tiêu chuẩn sau:

- TCCS 02:2017/IBST, Bê tông tính năng siêu cao UHPC – hướng dẫn thiết kế kết cấu;
- NF P18-470:2016, Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete – Specifications, performance, production and conformity;
- ASTM C1856/C1856M-17, Standard Practice for Fabricating and Testing Specimens of Ultra-High Performance Concrete;
- ASTM C1609/C1609M-19a, Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third – Point Loading);

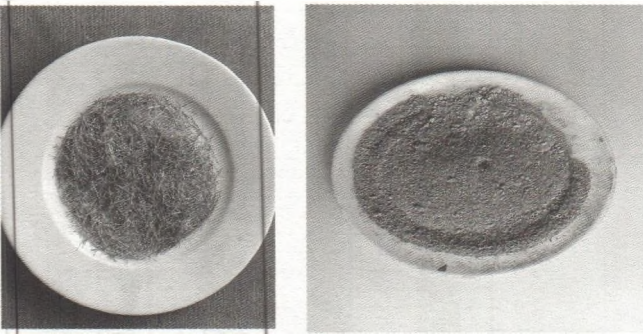
Các mẫu UHPC được bảo dưỡng ở cùng một điều kiện: sau khi đúc và làm phẳng mặt, mẫu được bảo dưỡng ẩm tự nhiên; sau 24 giờ tiếp theo, mẫu tiếp tục được bảo dưỡng nhiệt ẩm tại 80 °C trong thời gian 72 giờ tiếp theo; mẫu tiếp tục được bảo dưỡng ẩm tại điều kiện phòng thí nghiệm đến đủ 7 ngày tuổi, rồi để tự nhiên đến 28 ngày để thử kết quả.

**3. Vật liệu và cấp phối thành phần**

**Bảng 1:** Thông tin vật liệu thành phần chế tạo UHPC

Nội dung	Chi tiết
Nhóm chất kết dính	- Xi măng PC40
	- Silica fume
	- GGBS
Nhóm cốt liệu	- Cát thạch anh
	- Sợi thép 3200 MPa

Phụ gia siêu dẻo	- 4 loại phụ gia gốc PCE
Nước	- Nước sạch



Hình 10. Cốt sợi thép và Silica fume

Bảng 2: Cấp phối UHPC dùng đánh giá trong nghiên cứu này

Tên vật liệu	Giá trị	Đơn vị
Xi măng	1180	kg
Cát thạch anh	960	kg
Sợi thép	2%	V
Phụ gia siêu dẻo	26	kg
N/CKD	0,160	-
Bột khí	2,5	%

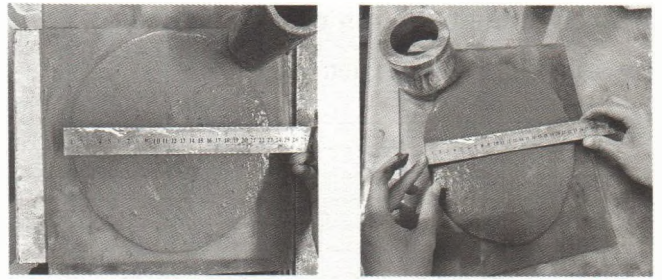
#### 4. Thử nghiệm tính chất của hỗn hợp UHPC

Các thử nghiệm liên quan đến tính công tác của hỗn hợp UHPC dưới đây được thực hiện tại điều kiện phòng thí nghiệm:

##### a) Độ chảy xoè

Bảng 3: Kết quả kiểm tra độ chảy xoè của các mẫu hỗn hợp UHPC

Kí hiệu	Cone Suttard	Cone C230
Đơn vị	cm	
PCE1	15,4	20,6
PCE2	18,2	23,8
PCE3	19,9	24,1
PCE4	23,7	28,4



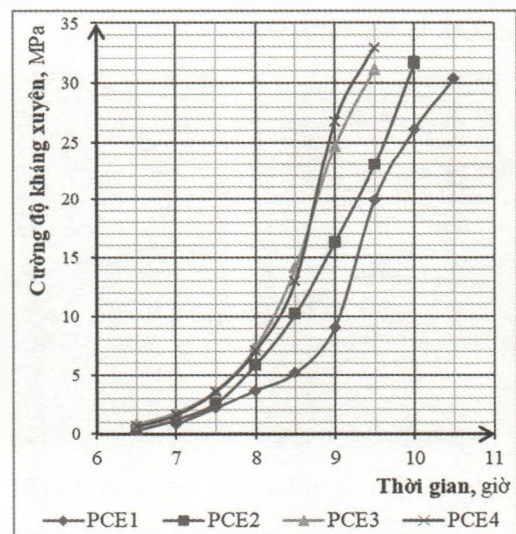
##### b) Các tính chất khác

Bảng 4: Kết quả kiểm tra khối lượng thể tích và hàm lượng bột khí

Kí hiệu	Khối lượng thể tích	Hàm lượng bột khí
Đơn vị	kg/m <sup>3</sup>	%
PCE1	2465	2,4
PCE2	2450	2,6
PCE3	2455	2,6
PCE4	2440	2,7

Bảng 5: Kết quả kiểm tra thời gian đông kết

Kí hiệu	Bắt đầu	Kết thúc
PCE1	7:55	10:10
PCE2	7:40	9:45
PCE3	7:25	9:15
PCE4	7:30	9:05

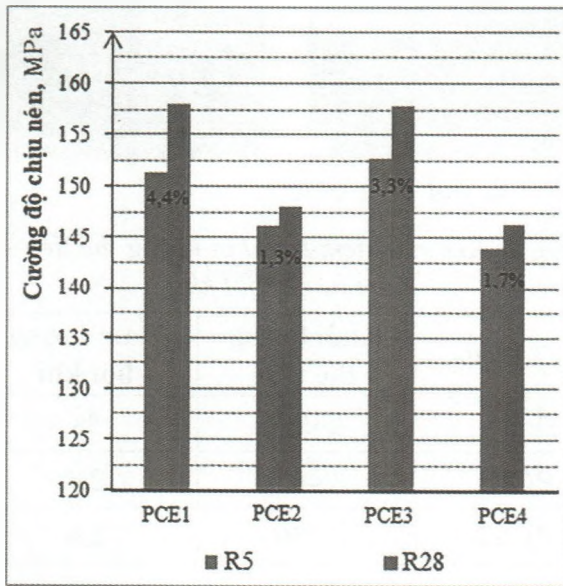


Hình 11. Sự phát triển cường độ kháng xuyên của các mẫu hỗn hợp UHPC, để xác định thời gian đông kết



5. Thử nghiệm tính chất của UHPC

a) Cường độ chịu nén (Bảng 6)

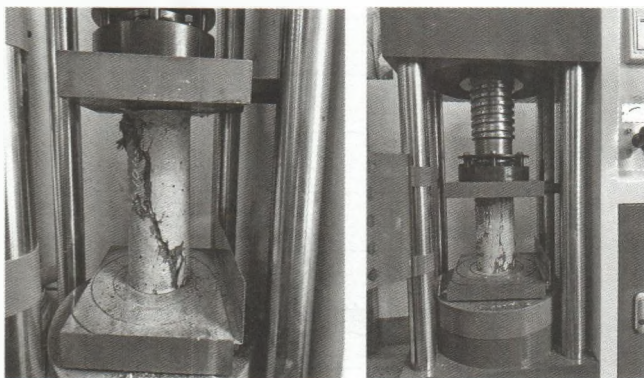


Hình 12. Sự phát triển cường độ chịu nén của các mẫu UHPC sau bảo dưỡng nhiệt ẩm

Với mẫu 5 ngày tuổi R5, mẫu UHPC có trung bình cường độ chịu nén cao nhất 152,7 MPa là PCE3, thấp nhất 143,9 MPa là PCE4.

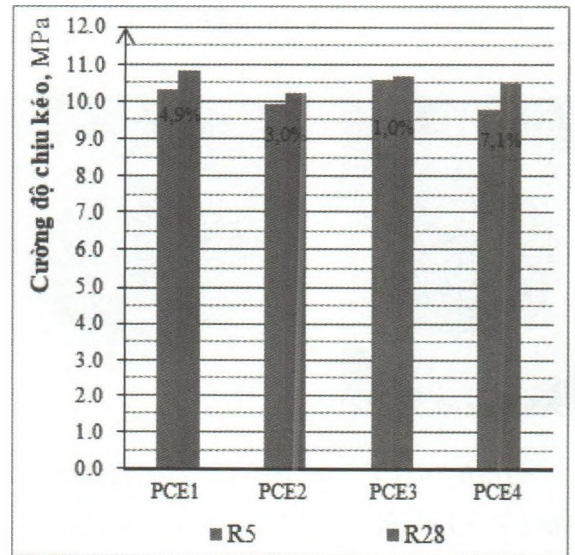
Với mẫu 28 ngày tuổi R28, mẫu UHPC có trung bình cường độ chịu nén cao nhất 158,1 MPa là PCE1, thấp nhất 146,4 là PCE4.

Biên độ dao động cường độ chịu nén trung bình của các mẫu UHPC lớn nhất tại R5 là khoảng 6%, tại R28 là khoảng 8%.



Hình 13. Thí nghiệm nén các mẫu UHPC

b) Cường độ chịu kéo (Bảng 7)



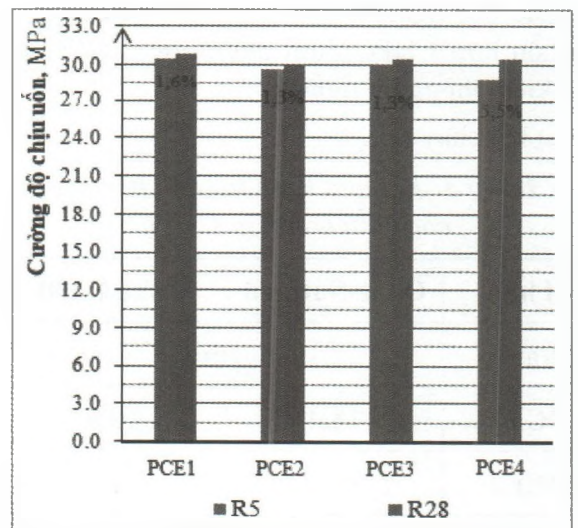
Hình 14. Sự phát triển cường độ chịu kéo của các mẫu UHPC sau bảo dưỡng nhiệt ẩm

Mẫu R5, mẫu UHPC có trung bình cường độ chịu kéo cao nhất 10,6 MPa là PCE3, thấp nhất 9,8 MPa là PCE4.

Mẫu R28, mẫu UHPC có trung bình cường độ chịu kéo cao nhất 10,8 MPa là PCE1, thấp nhất 10,2 là PCE2.

Biên độ dao động cường độ chịu kéo trung bình của các mẫu UHPC lớn nhất tại R5 là khoảng 9%, tại R28 là khoảng 6%.

c) Cường độ chịu uốn (Bảng 8)

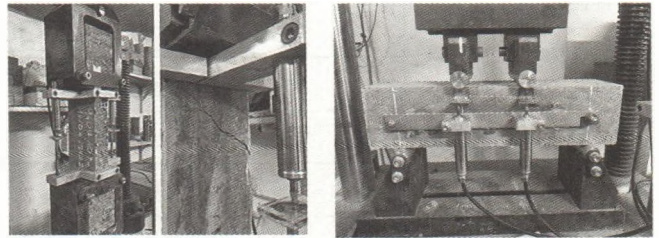


Hình 15. Sự phát triển cường độ chịu uốn của các mẫu UHPC sau bảo dưỡng nhiệt ẩm

Mẫu R5, mẫu UHPC có trung bình cường độ chịu uốn cao nhất 30,4 MPa là PCE1, thấp nhất 28,9 MPa là PCE4.

Mẫu R28, mẫu UHPC có trung bình cường độ chịu uốn cao nhất 30,9 MPa là PCE1, thấp nhất 30,1 MPa là PCE2.

Biên độ dao động cường độ chịu uốn trung bình của các mẫu UHPC lớn nhất tại R5 là khoảng 5%, tại R28 là khoảng 3%.



Hình 16. Thí nghiệm kéo và uốn các mẫu UHPC

Bảng 6: Kết quả kiểm tra cường độ chịu nén của các mẫu UHPC sau bảo dưỡng nhiệt ẩm

Loại mẫu	R5, MPa			R28, MPa		
	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
PCE 1	153,4	149,8	151,0	159,3	157,1	157,8
	151,4			158,1		
PCE 2	143,8	147,7	147,0	149,5	145,0	149,8
	146,2			148,1		
PCE 3	150,6	154,1	153,3	161,4	157,3	154,7
	152,7			157,8		
PCE 4	144,2	140,9	146,6	146,6	147,4	145,3
	143,9			146,4		

Bảng 7: Kết quả kiểm tra cường độ chịu kéo của các mẫu UHPC sau bảo dưỡng nhiệt ẩm

Loại mẫu	R5, MPa			R28, MPa		
	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3
PCE 1	10,0	10,7	10,2	10,8	10,3	11,2
	10,3			10,8		
PCE 2	9,3	10,4	10,1	9,7	10,5	10,3
	9,9			10,2		
PCE 3	10,5	10,4	10,8	10,6	11,1	10,5
	10,6			10,7		
PCE 4	9,6	9,5	10,3	9,7	10,4	11,3
	9,8			10,5		

Bảng 8: Kết quả kiểm tra cường độ chịu uốn của các mẫu UHPC sau bảo dưỡng nhiệt ẩm

Loại mẫu	R5, MPa		R28, MPa	
	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 1	Mẫu 2
PCE 1	31,1	29,7	29,3	32,4
	30,4		30,9	



PCE 2	28,6	30,8	31,0	29,2
	29,7		30,1	
PCE 3	30,5	29,6	30,1	30,8
	30,1		30,5	
PCE4	27,8	30,0	30,4	30,5
	28,9		30,5	

### 3. Kết luận

- Cả 3 loại phụ gia gốc PCE trên đều có thể sử dụng trong sản xuất, chế tạo UHPC và cho kết quả chấp nhận được, cho phép tùy biến thiết kế cấp phối tốt hơn trong thực tiễn.

- Về tính công tác và hàm lượng bọt khí, cả 4 loại phụ gia đều cho kết quả đáp ứng yêu cầu.

- Phụ gia PCE1 và PCE2 cho kết quả cao nhất trong chế tạo UHPC (150/10/30 MPa).

- Cường độ chịu nén của các mẫu UHPC tại R28 có giá trị chênh lệch so với R5 trung bình ở 4 loại mẫu UHPC trên là 2,7%.

- Cường độ chịu kéo của các mẫu UHPC tại R28 có giá trị chênh lệch so với R5 trung bình ở 4 loại mẫu UHPC trên là 4,0%.

- Cường độ chịu uốn của các mẫu UHPC tại R28 có giá trị chênh lệch so với R5 trung bình ở 4 loại mẫu UHPC trên là 2,4%.

### Tài liệu tham khảo

- [1]. FHWA-HRT-18-036, Properties and Behavior of UHPC-Class Material.
- [2]. FHWA TechNote HRT-11-038, Ultra-High Performance Concrete.
- [3]. ACF 04:2020, Materials UHPC - Technicals Specification.
- [4]. ISO 13270:2013, Steel fibres for concrete - Definitions and specifications.