



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



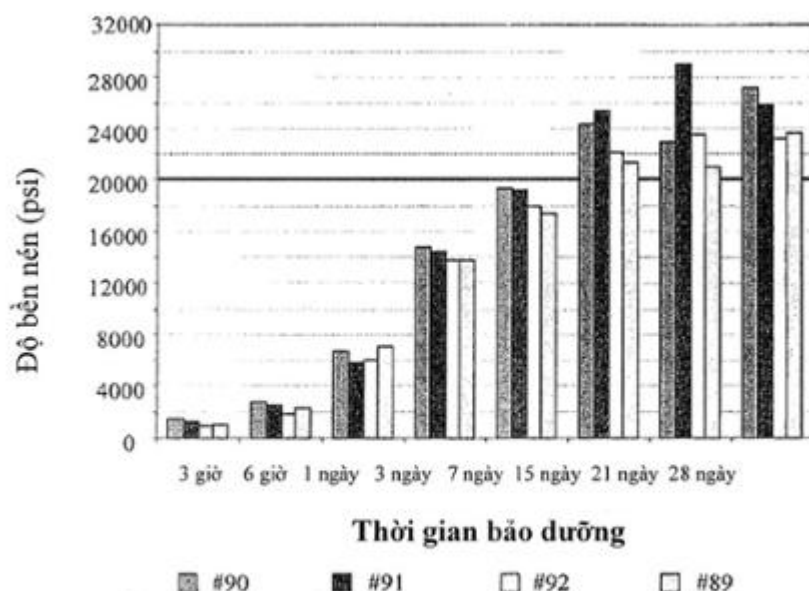
1-0025488

(51)⁷ C04B 14/06; C04B 28/00; C04B 18/08 (13) B

(21) 1-2013-02155 (22) 16/12/2011
(86) PCT/US2011/065649 16/12/2011 (87) WO 2012/083255 21/06/2012
(30) 61/457,052 17/12/2010 US
(45) 25/09/2020 390 (43) 25/11/2013 308A
(73) The Catholic University of America (US)
620 Michigan Avenue, N.E., Washington, DC 20064, United States of America
(72) GONG, Weiliang (CN); LUTZE, Werner (US); PEGG, Ian (GB).
(74) Văn phòng Luật sư Ân Nam (ANNAM IP & LAW)

(54) VỮA BÊ TÔNG CÓ CƯỜNG ĐỘ SIÊU CAO CHỨA CHẾ PHẨM GEOPOLYME

(57) Sáng chế đề cập đến bê tông có cường độ siêu cao chứa chế phẩm geopolyme (GUHPC), và các phương pháp sản xuất bê tông này; GUHPC chứa: a) vật liệu kết dính là một hoặc nhiều chất được chọn từ nhóm chỉ bao gồm aluminosilicat có hoạt tính và aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính; b) chất hoạt hóa có tính kiềm là dung dịch chứa nước của hydroxit kim loại và silicat kim loại; và c) một hoặc nhiều cốt liệu.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến vật liệu kết dính là chế phẩm geopolyme dùng trong bê tông có cường độ siêu cao, cũng như phương pháp sản xuất và sử dụng vật liệu kết dính này.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Việc mô tả tình trạng kỹ thuật dưới đây của sáng chế chỉ nhằm giúp hiểu rõ sáng chế và không phải để mô tả hoặc trình bày các kỹ thuật trước khi có sáng chế này.

Trong mười năm vừa qua, đã có những tiến bộ vượt bậc trong việc nghiên cứu phát triển bê tông có cường độ cao, hoặc gần đây, là bê tông có cường độ siêu cao, với xi măng Pooclan. Bê tông có cường độ siêu cao (UHPC) là một bước phát triển lớn so với bê tông có cường độ cao (HPC), nhờ đạt được độ bền rất cao và độ thấm ướt rất thấp. Thông thường, độ bền nén của UHPC dao động từ khoảng 120 đến 400 MPa, độ bền kéo của bê tông này dao động từ khoảng 10 đến 30 MPa, và mô đun đàn hồi nằm trong khoảng từ 60 đến 100 GPa.

UHPC có lợi thế do là vật liệu có “khuyết tật ít nhất” - tức là vật liệu có số lượng các khuyết tật ít nhất, như các vết rạn nhỏ và các lỗ hổng liên thông, đồng thời có mật độ lên tới đa. Một cách để làm giảm đến mức thấp nhất các khuyết tật là sử dụng phương pháp “Tránh khuyết tật lớn” (MDF); phương pháp này sử dụng các polyme để lấp đầy các lỗ hổng trong mạng bê tông. Quy trình đòi hỏi để sản xuất bê tông MDF rất khắt khe và bao gồm công việc dàn phẳng và nén. Các bê tông MDF dễ bị nước làm hư hỏng, có nhiều chỗ bị rão và rất dễ bị vỡ. Một cách khác để giảm đến mức tối thiểu các khuyết tật là phương pháp “Tăng mật độ bằng các hạt nhỏ” (DSP); phương pháp này sử dụng lượng lớn vật liệu siêu dẻo hoá và silic oxit cực mịn trong vữa bê tông. Bê tông DSP cần sử dụng các cốt liệu thô cực cứng hoặc loại bỏ hoàn toàn chúng để tránh cho cốt liệu bê tông đó trở thành cấu phần yếu nhất trong vữa bê tông. Các bê tông DSP không đòi hỏi điều kiện sản xuất khắt khe như các bê tông MDF, song các bê tông DSP có độ bền kéo thấp hơn nhiều. Việc gia cường bằng sợi

thép đã được khảo sát để cải thiện độ dẻo của bê tông DSP.

Các nguyên tắc được sử dụng trong các UHPC thông thường bao gồm tăng độ đồng nhất bằng cách loại bỏ các cốt liệu thô; tăng mật độ lên bằng cách tối ưu hoá hỗn hợp dạng hạt thông qua sự phân bố rộng các loại kích thước hạt của vật liệu bột; cải thiện các tính chất của mạng bê tông bằng cách thêm phụ gia thuỷ lực như silic oxit cực mịn; cải thiện tính chất của mạng bê tông bằng cách giảm tỷ lệ nước/vật liệu kết dính; tăng độ dẻo thông qua việc vùi vào trong bê tông các sợi thép nhỏ; cũng như nâng cao cường độ cơ học bằng cách xử lý nhiệt sau đông cứng (nhiệt độ 90-150°C) để chuyển các hydrat vô định hình thành các sản phẩm tinh thể, khiến cho vi cấu trúc được cải thiện (các dạng cấu trúc tobermorit, xonotlit) có thể hình thành.

Một số kiểu UHPC đã được nghiên cứu phát triển ở nhiều nước khác nhau và bởi nhiều hãng sản xuất khác nhau. Sự khác biệt chính giữa các kiểu UHPC khác nhau là sự khác nhau về kiểu và lượng sợi kim loại sử dụng. Có bốn kiểu UHPC chính là Ceracem/BSI, bê tông hợp thể đặc có cốt thép (CRC), bê tông hợp thể xi măng đa cường độ (MSCC) và bê tông từ bột có hoạt tính (RPC). RPC là UHPC có sẵn phổ biến nhất và sản phẩm này hiện được bán trên thị trường dưới thương hiệu Ductual® bởi hãng Lafarge, Bouygues and Rhodia.

Các vữa bê tông RPC thường chứa cát mịn (kích thước hạt 150-600 μm), xi măng Pooclan (kích thước hạt <100 μm), silic oxit cực mịn (kích thước hạt 0,1 -0,2 μm), thạch anh đã nghiền (kích thước hạt 5-30 μm), các loại sợi ngắn, vật liệu siêu dẻo hoá và nước. Một vữa bê tông RPC điển hình chứa khoảng 38,8% cát, 22,7% xi măng Pooclan, 10,6% silic oxit cực mịn, 8,1% thạch anh đã nghiền, 2,0% sợi thép hoặc sợi hữu cơ, 1,4% vật liệu siêu dẻo hoá và 16,5% nước (tất cả đều tính bằng phần trăm theo thể tích).

Xi măng Pooclan là vật liệu kết dính chủ yếu được sử dụng trong UHPC thông thường, nhưng với tỷ lệ cao hơn nhiều so với bê tông thường hoặc HPC. Để sản xuất UHPC thông thường, xi măng nên có các tỷ lệ tricanxi aluminat (C_3A) và tricanxi silicat (C_3S) cao, còn độ mịn Blaine thì thấp hơn, bởi vì C_3A và C_3S góp phần vào độ bền ban đầu cao của bê tông này, còn độ mịn Blaine thấp hơn thì làm giảm nhu cầu nước của bê tông. Việc bổ sung thêm silic oxit cực mịn làm tròn một số vai trò, bao gồm việc lấp các hạt, tăng khả năng chảy khi đổ vữa bê tông do bản chất hình cầu của

các hạt, và khả năng dễ phản ứng của phụ gia thuỷ lực (phản ứng với canxi hydroxit là sản phẩm hydrat hoá yếu hơn) thì dẫn tới tạo ra thêm các canxi silicat. Ngoài các sợi thép, cát thạch anh có đường kính tối đa khoảng 600 μm là thành phần chiếm thể tích lớn nhất. Cả thạch anh đã nghiền (kích thước hạt khoảng 10 μm) và cát thạch anh đều góp phần vào tác dụng lên tối ưu. Bằng cách giảm lượng nước cần để tạo được vữa bê tông chảy lỏng, và do đó giảm được độ thấm ướt, vật liệu siêu dẻo hoá polycarboxylat cũng góp phần cải thiện tính dễ gia công và tuổi thọ của sản phẩm bê tông. Cuối cùng, việc gia cường thêm bằng các sợi thép giúp ngăn chặn sự lan rộng các vết rạn nhỏ và các vết rạn lớn, do đó giới hạn độ rộng các khe nứt và độ thấm ướt.

Mặc dù UHPC có các lợi thế về cường độ, song việc triển khai sản xuất và sử dụng UHPC vẫn rất chậm chạp. Có một số lý do khả dĩ cho sự chậm trễ đó, bao gồm việc các hãng sản xuất không thấy được ích lợi rõ ràng về tài chính. Theo như dự tính, chi phí sản xuất các thành phần UHPC cao hơn nhiều so với chi phí sản xuất các thành phần bê tông thông thường. Thêm nữa, giá thành của các vật liệu thành phần trong UHPC cao hơn có nghĩa là UHPC có giá thành cho mỗi đơn vị thể tích cao hơn so với bê tông thông thường và bê tông có cường độ cao. Phần lớn trong giá thành của UHPC đến từ giá của sợi thép, của vật liệu siêu dẻo hoá và của silic oxit cực mịn có độ tinh khiết cao. Bê tông với sợi gia cường có cường độ siêu cao thường được xử lý nhiệt và/hoặc áp suất để tăng cường các cường độ của nó và tăng tốc độ phản ứng hydrat hoá của vật liệu kết dính, điều này cũng làm tăng chi phí sản xuất.

Sáng chế đề cập đến việc sử dụng các vật liệu kết dính là chế phẩm geopolyme (GC), mà không phải là xi măng Pooclan, để ứng dụng vào sản xuất bê tông có cường độ siêu cao (GUHPC).

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Theo một khía cạnh, sáng chế đề xuất vữa của bê tông có cường độ siêu cao chứa chế phẩm geopolyme (GUHPC), vữa này bao gồm: (a) vật liệu kết dính chứa một hoặc nhiều chất được chọn từ nhóm chỉ bao gồm aluminosilicat có hoạt tính và aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính; (b) chất hoạt hóa có tính kiềm chứa dung dịch nước của hydroxit kim loại và silicat kim loại kim loại; (c) một hoặc nhiều cốt liệu rắn.

Theo một số phương án, vật liệu kết dính chiếm khoảng từ 10 đến 50% trọng

lượng của vữa GUHPC. Theo một số phương án, vật liệu kết dính chứa một hoặc nhiều aluminosilicat có hoạt tính chiếm từ 0 đến 30% trọng lượng của vữa GUHPC. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều aluminosilicat có hoạt tính được chọn từ nhóm chỉ bao gồm meta cao lanh, các thủy tinh aluminosilicat có hoạt tính và tro bay loại F cực mịn. Theo một số phương án, một hoặc nhiều aluminosilicat có hoạt tính chứa meta cao lanh.

Theo một số phương án, vật liệu kết dính là một hoặc nhiều aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính, chiếm khoảng từ 2 đến 40% trọng lượng của vữa GUHPC. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính được chọn từ nhóm chỉ bao gồm xỉ lò cao đã nghiền thành hạt, canxi aluminosilicat dạng thủy tinh (VCAS), tro bay loại C và bụi lò nung xỉ măng dùng sản xuất bê tông. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính vhuộc xỉ lò cao đã nghiền thành hạt.

Theo một số phương án, vật liệu kết dính gồm aluminosilicat có hoạt tính và aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính. Theo một số phương án có liên quan, khối lượng của aluminosilicat có hoạt tính có thể gấp khoảng 10 lần, tốt hơn nếu gấp khoảng 1,5 lần, tốt hơn nữa nếu gấp khoảng từ 0,2 đến khoảng 0,8 lần khối lượng của aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính. Theo một số phương án có liên quan, khối lượng của aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính có thể gấp khoảng 20 lần, tốt hơn nếu gấp từ khoảng 2 lần đến khoảng 5 lần khối lượng của aluminosilicat có hoạt tính. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều aluminosilicat có hoạt tính chiếm khoảng từ 2 đến 15% trọng lượng của vữa GUHPC. Theo một số phương án có liên quan, aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính chiếm khoảng từ 8 đến 25% trọng lượng của vữa GUHPC.

Theo một số phương án, vữa GUHPC còn chứa một hoặc nhiều vật liệu độn, chiếm tới khoảng 35% trọng lượng, tốt hơn nếu khoảng từ 2 đến 25% trọng lượng của vữa GUHPC. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều vật liệu độn chứa một hoặc nhiều vật liệu độn có hoạt tính. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều vật liệu độn được chọn từ nhóm chỉ bao gồm bột thạch anh nghiền, tro bay loại F, tro bay loại C, zeolit, thủy tinh phế liệu đã nghiền, silic oxit cực mịn, tro bay cực mịn, silic oxit kết tủa và nhôm oxit có kích thước hạt tính bằng micron. Theo một

số phương án có liên quan, một hoặc nhiều vật liệu độn chứa silic oxit cực mịn. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều vật liệu độn là bột thạch anh nghiền và silic oxit cực mịn. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều vật liệu độn là tro bay loại C. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều vật liệu độn là tro bay loại F. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều vật liệu độn là silic oxit cực mịn và tro bay loại F. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều vật liệu độn là silic oxit cực mịn và tro bay loại C. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều vật liệu độn có kích thước hạt nằm trong khoảng từ 1 đến 75 μm và được chọn từ nhóm chỉ bao gồm thạch anh đã nghiền, tro bay loại F, tro bay loại C, zeolit, thủy tinh đã nghiền, meta cao lanh, xỉ lò cao đã nghiền thành hạt, xỉ lò cao cực mịn và tro bay cực mịn. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều vật liệu độn có kích thước hạt nằm trong khoảng từ khoảng 0,05 đến 1 μm và được chọn từ nhóm chỉ bao gồm silic oxit cực mịn, silic oxit kết tủa, canxi cacbonat cực mịn, nhôm oxit có kích thước hạt tính bằng micron và các hạt có kích thước nhỏ hơn micron của các kim loại oxit.

Theo một số phương án, một hoặc nhiều cốt liệu bê tông chiếm khoảng từ 0 đến 75% trọng lượng, tốt hơn thì khoảng từ 30 đến 60% trọng lượng của vữa GUHPC. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều cốt liệu bê tông là vật liệu dạng hạt có kích thước hạt khoảng từ 0,075 đến 10 mm. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều cốt liệu là một hoặc nhiều cốt liệu thô có kích thước hạt nằm trong khoảng từ 0,075 đến 10 mm được chọn từ nhóm chỉ bao gồm cát thạch anh, granit, bazan, gonalai, xỉ lò cao đã nghiền thành hạt, đá vôi và cát boxit đã nung. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều cốt liệu là cốt liệu mịn có kích thước hạt khoảng từ 0,075 đến 0,75 mm. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều cốt liệu là cát xây, cát sông mịn hoặc gồm cả hai loại cát này.

Theo một số phương án, dung dịch chất hoạt hóa tính chứa kiềm chiếm khoảng từ 10 đến 40% trọng lượng, tốt hơn thì khoảng từ 15 đến 25% trọng lượng của vữa GUHPC. Theo một số phương án, hydroxit kim loại chiếm khoảng từ 2 đến 15% trọng lượng dưới dạng M_2O trong vữa GUHPC. Theo một số phương án, hydroxit kim loại gồm natri hydroxit, kali hydroxit hoặc cả hai hydroxit này. Theo một số phương án, hydroxit kim loại chiếm khoảng từ 2 đến 10% trọng lượng dưới dạng M_2O trong vữa GUHPC. Theo một số phương án, nước trong dung dịch chất hoạt hóa tính chứa kiềm

chiếm khoảng từ 4 đến 25% trọng lượng, tốt hơn thì khoảng từ 5 đến 15% trọng lượng của vữa GUHPC.

Theo một số phương án, silicat kim loại chiếm khoảng từ 2 đến 10% trọng lượng dưới dạng SiO_2 trong vữa GUHPC. Theo một số phương án, silicat kim loại là silicat kim loại kiềm hoặc silicat kim loại kiềm thổ. Theo một số phương án, silicat kim loại là natri silicat, kali silicat, hoặc cả hai muối này.

Theo một số phương án, vữa GUHPC còn chứa một hoặc nhiều loại sợi, chiếm khoảng từ 0 đến 15% trọng lượng của vữa GUHPC. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều loại sợi là một hoặc nhiều loại sợi được chọn từ nhóm chỉ bao gồm sợi hữu cơ, sợi thủy tinh, sợi cacbon, sợi nano và sợi kim loại. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều loại sợi là sợi thép.

Theo một số phương án, vữa GUHPC còn chứa một hoặc nhiều chất làm tăng độ bền, chiếm đến khoảng 2% trọng lượng của vữa GUHPC. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều chất làm tăng độ bền được chọn từ nhóm chỉ bao gồm nhôm hydroxit, cacbonat của kim loại kiềm, phosphat của kim loại kiềm, sulfat của kim loại kiềm, oxalat của kim loại kiềm và florua của kim loại kiềm. Theo một số phương án có liên quan, một hoặc nhiều chất làm tăng độ bền được chọn từ nhóm chỉ bao gồm nhôm hydroxit, natri cacbonat, natri phosphat, natri sulfat, natri oxalat và natri florua.

Theo một số phương án, vữa GUHPC còn chứa thêm chất rắn có tác dụng siêu dẻo hoá, chiếm tới khoảng 5% trọng lượng của vữa GUHPC.

Theo một số phương án, vữa GUHPC còn chứa thêm chất làm chậm sự đông cứng. Theo một số phương án có liên quan, chất làm chậm sự đông cứng chiếm tới khoảng 5% trọng lượng của vữa GUHPC.

Theo một số phương án, mật độ lèn của tất cả các thành phần rắn trong vữa GUHPC thấp nhất là 0,5 (thể tích/thể tích), ví dụ như thấp nhất là 0,6 (thể tích/thể tích); ví dụ như thấp nhất là 0,75 (thể tích/thể tích).

Theo một số phương án, vữa GUHPC tạo ra sản phẩm GUHPC có độ bền nén sau 28 ngày ít nhất khoảng 10000 psi (68947600 N/m²), như ít nhất khoảng 20000 psi (137895200 N/m²), ví dụ như ít nhất khoảng 25000 psi (172369000 N/m²).

Theo một số phương án, vữa GUHPC tạo ra sản phẩm GUHPC có thời gian đông cứng khoảng từ 30 phút đến 3 giờ.

Theo một số phương án, vữa GUHPC tạo ra sản phẩm GUHPC có nhiệt độ đông cứng khoảng từ 0 đến 150°C, chẳng hạn như khoảng từ 20 đến 90°C.

Theo một khía cạnh khác, sáng chế đề xuất các phương pháp sản xuất các sản phẩm bê tông có cường độ siêu cao chứa chế phẩm geopolymer (GUHPC) từ các vữa GUHPC được trình bày ở đây. Theo một số phương pháp, vữa GUHPC khô được trộn với dung dịch chất hoạt hóa để tạo ra vữa nhão GUHPC; vữa nhão này được để đông cứng và bảo dưỡng để tạo ra sản phẩm GUHPC. Theo các phương pháp này, hỗn hợp GUHPC khô chứa vật liệu kết dính chiếm tỷ lệ khoảng từ 10 đến 50% trọng lượng, vật liệu kết dính này là một hoặc nhiều chất được chọn từ nhóm chỉ bao gồm aluminosilicat có hoạt tính và aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính; và dung dịch chất hoạt hóa là dung dịch nước của hydroxit kim loại và silicat kim loại. Hỗn hợp GUHPC khô còn chứa một hoặc nhiều thành phần được chọn từ nhóm chỉ bao gồm cốt liệu, vật liệu độn và vật liệu sợi.

Theo một số phương án, hydroxit của kim loại kiềm là một hoặc nhiều hydroxit như natri hydroxit và kali hydroxit hoặc gồm cả hai hydroxit này.

Theo một số phương án, việc trộn vữa bê tông được thực hiện với máy trộn có tốc độ cao.

Theo một số phương án, vữa GUHPC nhão còn chứa một hoặc nhiều thành phần được chọn từ nhóm chỉ bao gồm chất làm tăng độ bền, các chất rắn gây siêu dẻo hóa và chất làm chậm sự đông cứng.

Theo một số phương án, sản phẩm GUHPC chứa một hoặc nhiều loại sợi, chúng được thêm vào vữa GUHPC nhão có thể rót được trước khi đông cứng.

Theo một số phương án, sản phẩm GUHPC chứa một hoặc nhiều chất làm tăng độ bền, chúng được thêm vào dung dịch nước của một hoặc nhiều chất hoạt hóa chứa kiềm trước khi trộn với vữa GUHPC khô.

Theo một số phương án, dung dịch chất hoạt hóa có nồng độ mol của hydroxit kim loại kiềm nằm trong khoảng từ 5 đến 15M, tốt hơn nếu nằm trong khoảng từ khoảng 7 đến khoảng 12M.

Theo một khía cạnh khác, sáng chế đề xuất các phương pháp tạo sản xuất phẩm bê tông có cường độ siêu cao (GUHPC) chứa chế phẩm geopolyme từ vữa GUHPC, trong đó các thành phần của vữa GUHPC được trộn trong máy trộn có tốc độ cao đến khi hỗn hợp trải qua trạng thái quánh tựa như gồm các hạt nhỏ, rồi trộn tiếp sẽ chuyển thành vữa nhuyễn mịn rót được. Theo các phương án này, vữa GUHPC chứa dung dịch chất hoạt hoá và vật liệu kết dính; dung dịch chất hoạt hoá là dung dịch nước của hydroxit kim loại và silicat kim loại, vật liệu kết dính là một hoặc nhiều vật liệu được chọn từ nhóm chỉ bao gồm aluminosilicat có hoạt tính và aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính. Theo một số phương án, vữa GUHPC có tỷ lệ nước/các geopolyme rắn (W/C) nằm trong khoảng từ 0,12 đến 0,65; ví dụ như khoảng từ 0,2 đến 0,5; ví dụ như khoảng từ 0,3 đến 0,45.

Thuật ngữ "khoảng" như được sử dụng ở đây liên quan với các số đo về lượng, sẽ không bao gồm số đo khối lượng ion, mà chỉ có liên quan với giá trị đã được chỉ ra cộng thêm hoặc trừ đi 10%. Trừ khi có chỉ ra cụ thể khác đi, mạo từ bất định "a" hoặc "an" có nghĩa là "một hoặc nhiều."

Phần bản chất kỹ thuật của sáng chế trình bày ở trên không mang tính giới hạn; các đặc điểm và các ưu điểm khác của sáng chế sẽ được thể hiện rõ từ phần mô tả chi tiết sáng chế dưới đây, cũng như từ phần yêu cầu bảo hộ.

Mô tả vắn tắt hình vẽ

Fig.1 trình bày biểu đồ độ bền nén của các mẫu GUHPC khác nhau phụ thuộc thời gian bảo dưỡng. Các chi tiết được trình bày trong Ví dụ 14.

Mô tả chi tiết sáng chế

Theo một khía cạnh, sáng chế đề xuất thành phần vữa bê tông để sản xuất bê tông có cường độ siêu cao (GUHPC) chứa chế phẩm geopolyme. Tối thiểu, vữa GUHPC bao gồm các thành phần sau: i) vật liệu kết dính chứa ít nhất một vật liệu aluminosilicat vô định hình có hoạt tính, ví dụ như meta cao lanh, và/hoặc, ít nhất, là một aluminosilicat kim loại kiềm thổ vô định hình có hoạt tính, ví dụ như xỉ lò cao đã nghiền thành hạt; và ii) dung dịch nước chứa ít nhất một chất hoạt hoá có tính kiềm.

Theo một số phương án, có thể cho thêm các thành phần khác nữa vào vữa GUHPC. Ví dụ, cũng có thể cho vào vữa bê tông này vật liệu độn (có hoạt tính

và/hoặc không có hoạt tính) có kích thước hạt lên tới khoảng 75 μm , và/hoặc cốt liệu, như cát xây mịn có kích thước hạt khoảng từ 75 đến 750 μm , chẳng hạn như khoảng 250 μm . Ngoài ra, các thành phần như các loại sợi, các chất làm tăng độ bền, vật liệu siêu dẻo hoá và các chất làm chậm sự đông cứng cũng có thể thêm vào để tác động tới cường độ của GUHPC.

Để tạo ra GUHPC, các thành phần khô của vữa GUHPC (vật liệu kết dính, vật liệu độn và cốt liệu, nếu có) được kết hợp với dung dịch chất hoạt hoá có tính kiềm. Các thành phần này được trộn với nhau để tạo ra vữa nhão có thể rót được, vữa này sẽ đông cứng để tạo ra sản phẩm GUHPC khi các thành phần này tạo ra các geopolymer. Các geopolymer chỉ bao gồm các nguyên tử silic và nhôm được liên kết thông qua các nguyên tử oxy vào mạng lưới polymer. Quá trình tạo ra các geopolymer này bao gồm phản ứng hoà tan/ ngưng tụ/ đa ngưng tụ/ trùng hợp, mà các phản ứng xảy ra ngay khi một số vật liệu aluminosilicat có hoạt tính được cho tiếp xúc với dung dịch kiềm. Việc sử dụng một số vật liệu aluminosilicat có hoạt tính cao trong các dung dịch kiềm, cộng với việc tối ưu hoá các thành phần và các tính chất của các dung dịch kiềm có tác dụng hoạt hoá giúp tạo ra các geopolymer kết dính mật thiết, bền lâu, có độ bền cơ học cực kỳ cao.

Nhờ sử dụng một số nguyên lý phù hợp với UHPC thông thường, như tăng tính đồng nhất lên bằng cách loại bỏ các cốt liệu thô và mức độ lèn cốt liệu tăng lên bằng cách lựa chọn các phân bố kích thước hạt, đã thu được UHPC chứa chế phẩm geopolymer có độ bền nén trên 20.000 psi (137895200 N/m²). Khác với UHPC thông thường, việc xử lý nhiệt và thêm lượng lớn vật liệu siêu dẻo hoá là không cần thiết mà vẫn thu được cường độ siêu cao. Nhờ sử dụng máy trộn vữa bê tông có tốc độ cao, vẫn có thể giảm được tỷ lệ nước/các geopolymer rắn (W/C) mà không cần cho thêm nhiều vật liệu siêu dẻo hoá. Trái lại, UHPC thông thường sử dụng lượng lớn vật liệu siêu dẻo hoá để giảm tỉ lệ W/C. Ngoài ra, GUHPC hoàn toàn không chứa xi măng Pooclan, hầu hết chỉ sử dụng phế thải công nghiệp và không phát thải cacbon đioxit trong quá trình sản xuất. Như vậy, sản xuất GUHPC ít tốn kém hơn nhiều so với UHPC thông thường, trong khi GUHPC lại là bê tông thân thiện với môi trường hơn nhiều. GUHPC cũng thể hiện khả năng chịu nhiệt, chịu lửa, sức bền va đập và độ bền axit cao hơn nhiều so với UHPC thông thường.

Các nguyên lý tạo ra GUHPC

Đã biết rõ rằng, cường độ của các sản phẩm geopolymer phụ thuộc vào cả hoạt tính và cả khối lượng của gel tạo thành. Các tác giả của sáng chế đã nhận thấy rằng, việc hoạt hoá kiềm của các vật liệu aluminosilicat có hoạt tính, ví dụ như meta cao lanh, tạo ra lượng lớn gel kim loại kiềm aluminosilicat (gel AAS).

Việc hoạt hoá bằng kiềm đối với các vật liệu aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính, ví dụ như xỉ lò cao đã được nghiền thành hạt, canxi aluminosilicat dạng thuỷ tinh hoặc tro bay loại C, cũng tạo ra được gel giàu canxi silicat hydrat (CSH), và/hoặc các gel có liên quan, và/hoặc gel canxi aluminosilicat hydrat (CASH), ngoài việc tạo ra gel AAS.

Việc hoạt hoá bằng kiềm đối với aluminosilicat có hoạt tính và aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính xảy ra rất nhanh với các phản ứng xảy ra hoàn toàn chỉ sau vài giờ (chẳng hạn như đối với meta cao lanh) tới vài ngày (chẳng hạn như đối với xỉ lò cao đã được nghiền thành hạt, tro bay loại C) ở nhiệt độ phòng. Việc tăng nhiệt độ làm tăng đáng kể quá trình hoạt hoá bằng kiềm và quá trình đông cứng của bê tông.

Các tác giả của sáng chế cũng đã nhận thấy rằng, chế phẩm geopolymer được tạo thành từ hai hoặc nhiều vật liệu aluminosilicat có hoạt tính sẽ tạo ra vật liệu kết dính lại của các gel AAS, CSH và/hoặc gel có liên quan, và/hoặc canxi aluminosilicat hydrat (CASH) có tốc độ tăng độ bền cao hơn cũng như độ bền cuối cùng cao hơn của sản phẩm geopolymer. Tối ưu hoá tỷ lệ gel AAS/gel CSH trong vật liệu kết dính là chế phẩm geopolymer có thể đưa lại cường độ bền tối đa.

Các nguyên lý cơ bản đối với UHPC thông thường cũng đúng với GUHPC, ví dụ như độ đồng nhất tăng lên bằng cách loại bỏ các cốt liệu thô và độ lèn cốt liệu tăng nhờ lựa chọn các phân bố kích thước hạt. Theo một số phương án, cát sông mịn hoặc cát xây có sẵn (chẳng hạn như cát có kích thước hạt khoảng từ 75 đến 750 μm) có thể được sử dụng làm cốt liệu mịn để giảm chi phí sản xuất. Theo các phương án khác, các loại cát khác, như cát xây chẳng hạn, có thể được sử dụng làm cốt liệu. Theo các phương án nhất định, một hoặc nhiều vật liệu độn mịn và/hoặc cực mịn có hoạt tính được sử dụng có kích thước hạt từ khoảng 3 đến 75 μm , nhờ đó loại bỏ bột thạch anh được nghiền (kích thước hạt 5 đến 30 μm) có trong các hỗn hợp bột có hoạt tính thông thường để sản xuất bê tông (RPC). Theo một số phương án có thể sử dụng, các vật liệu

độn kích thước hạt nhỏ hơn micron với kích thước nằm trong khoảng từ 0,05 đến khoảng 1 μm . Trong khi các vật liệu độn có hoạt tính (vật liệu độn mịn, vật liệu độn cực mịn và vật liệu độn có kích thước hạt nhỏ hơn micron) có tác dụng lấp các chỗ trống trong loại hạt có kích thước lớn hơn liền kề trong vữa bê tông, thì các vật liệu độn này cũng phản ứng với các nguồn chất kiềm (phản ứng phụ gia thuỷ lực) làm tăng thời gian bảo dưỡng và tạo ra thêm gel AAS gel, giúp tăng độ bền dài lâu.

Theo một số phương án, việc đưa các cốt liệu và vật liệu độn vào vữa GUHPC sẽ tạo được mật độ lên của tất cả các vật liệu phụ gia rắn (tức là các vật liệu kết dính, cốt liệu (nếu có) và vật liệu độn (nếu có)) ít nhất là 0,5 (thể tích/thể tích); chẳng hạn như ít nhất là 0,6 (thể tích/thể tích); ví dụ như ít nhất là 0,75 (thể tích/thể tích).

Tỷ lệ nước/các geopolymer rắn (W/C) đã được sử dụng làm chỉ thị độ bền của bê tông. Thuật ngữ các geopolymer rắn được định nghĩa là tổng tất cả các thành phần trong vật liệu kết dính, silic oxit và các oxit kim loại kiềm hoà tan trong dung dịch chất hoạt hoá. Tỷ lệ W/C ảnh hưởng tới độ xốp và sự phân bố kích thước lỗ của mạng vật liệu geopolymer liên kết. Tỷ lệ W/C nhỏ hơn thường tạo ra gel geopolymer có kích thước lỗ bé hơn (chẳng hạn như với kích thước lỗ khoảng từ 20 đến 100 nm) và do đó có độ bền nén cao hơn.

Các tác giả của sáng chế đã xác định được rằng, vữa GUHPC có W/C tối ưu hoặc gần tối ưu thể hiện sự diễn tiến đặc tính qua các giai đoạn khác nhau trong quá trình đảo trộn mạnh liên tục. Với tỷ lệ W/C tối ưu hoặc gần tối ưu, quan sát thấy rằng, vữa GUHPC ban đầu có dạng đặc sệt như cát hoặc như hạt nhỏ, cho thấy là lượng nước hiện chưa đủ. Tuy nhiên, khi tiếp tục đảo trộn, không bổ sung thêm nước, hỗn hợp tựa như cát hoặc hạt nhỏ đó sẽ trở thành một hỗn hợp quánh đặc tựa như bột nhão và cuối cùng, trở thành vữa đồng nhất, dễ sử dụng, chảy được, sẵn sàng để cho đổ bê tông. Các tác giả của sáng chế còn xác định thêm được rằng, các sản phẩm GUHPC được làm từ các vữa GUHPC thể hiện chuỗi biến đổi này sẽ có độ bền khác thường, với độ bền nén trên 20.000 psi (137895200 N/m²) khi được bảo quản trong thời gian 28 ngày ở nhiệt độ phòng.

Các tác giả của sáng chế đã xác định được rằng, khoảng giá trị của tỷ số W/C ưu tiên cho các vữa GUHPC như được trình bày ở đây là khoảng từ 0,12 đến 0,65; như khoảng từ 0,2 đến 0,5; như khoảng từ 0,3 đến 0,45.

Sau đây sẽ là các mô tả chi tiết hơn về các thành phần khác nhau có thể có trong một số vữa GUHPC theo sáng chế. Các thành phần tạo nên GUHPC bao gồm: ít nhất, một vật liệu kết dính; vật liệu kết dính này ít nhất là một aluminosilicat có hoạt tính và/hoặc ít nhất là một aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính; và dung dịch nước của chất hoạt hoá. Các thành phần khác được thêm vào trong một số phương án trình bày ở đây bao gồm vật liệu độn, cốt liệu, sợi, các chất làm tăng độ bền, vật liệu siêu dẻo hoá, chất làm chậm sự đông cứng, và tổ hợp bất kỳ của các vật liệu vừa nêu. Danh sách liệt kê này không có ý định bao hàm triệt để mọi vật liệu có thể sử dụng và, như hiểu biết của người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực này, cũng có thể đưa các thành phần khác vào danh sách liệt kê đó.

Các vật liệu aluminosilicat có hoạt tính

Thành phần thứ nhất trong vữa GUHPC là vật liệu kết dính, gồm aluminosilicat có hoạt tính và/hoặc aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính. Các ví dụ về vật liệu kết dính thích hợp để sử dụng theo sáng chế là meta cao lanh (MK), xỉ lò cao đã được nghiền thành hạt (GGBFS), canxi aluminosilicat dạng thuỷ tinh (VCAS), tro bay loại F (FFA), và tro bay loại C (CFA).

Meta cao lanh là một trong số các phụ gia thuỷ lực aluminosilicat có hoạt tính mạnh nhất, là vật liệu phân chia mịn (chẳng hạn như có kích hạt khoảng từ 0,1 đến 20 micron) phản ứng với vôi tôi ở nhiệt độ thường và khi có mặt hơi ẩm thì tạo ra xi măng đông cứng chậm rắn chắc. Meta cao lanh được tạo ra bằng cách nung caolinit đã tinh chế, thường thì trong khoảng nhiệt độ 650-700°C trong một lò quay. Có thể tiến hành hoạt hoá meta cao lanh bằng kiềm trong thời gian vài giờ.

Tro bay là sản phẩm phụ dạng bột mịn được tạo ra bằng việc đốt than. Các lò đốt của nhà máy điện đốt than nghiền dạng bột tạo ra hầu hết các tro bay có thể mua trên thị trường. Các tro bay này chứa phần lớn là hạt có dạng gần giống hình cầu và giống như thuỷ tinh, cũng như hematit, manhetit, than chưa cháy và một số vật liệu ở trạng thái tinh thể tạo thành trong quá trình làm nguội. Tiêu chuẩn C618 của Hội Vật liệu và Kiểm nghiệm Mỹ (ASTM) công nhận hai loại tro bay chính dùng trong sản xuất bê tông: loại C và loại F. Theo tiêu chuẩn ASTM C618, điểm khác biệt chủ yếu về đặc tính kỹ thuật giữa tro bay loại F và tro bay loại C là giới hạn dưới của ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) trong thành phần. Giới hạn dưới của ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) đối với

tro bay loại F là 70% và đối với tro bay loại C là 50%. Do đó, các tro bay loại F nói chung có hàm lượng canxi oxit vào khoảng 15% trọng lượng hoặc thấp hơn, trong khi các tro bay loại C nói chung có hàm lượng canxi oxit cao hơn (chẳng hạn như trên 15% trọng lượng, ví dụ như khoảng từ 20 đến 40% trọng lượng). Hàm lượng canxi oxit cao làm cho các tro bay loại C có tính chất kết dính như xi măng, dẫn tới tạo thành canxi silicat hydrat và canxi aluminat hydrat khi các tro đó được trộn với nước.

Có thể sử dụng bất kỳ aluminosilicat có hoạt tính nào đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này, song meta cao lanh là có lợi nhất, bởi vì nó sẵn có và có kích thước hạt nhỏ, ví dụ như khoảng từ 0,5 đến 20 μm . Tốc độ hoà tan và polyme hoá của meta cao lanh trong dung dịch kiềm rất cao (tức là từ vài phút đến vài giờ) và nước bị đẩy ra trong quá trình geopolymer hoá có thể giúp cải thiện khả năng dễ sử dụng của vữa GUHPC và thúc đẩy sự hoạt hoá bằng kiềm hoặc sự hydrat hoá của aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính.

Một số vật liệu phụ gia thuỷ lực tổng hợp thậm chí còn có hoạt tính mạnh hơn meta cao lanh. Ví dụ, các tác giả của sáng chế đã tổng hợp được các thuỷ tinh aluminosilicat có hoạt tính chứa các thành phần hoá học tương tự thành phần hoá học trong tro bay loại F ở nhiệt độ khoảng từ 1400°C đến 1500°C. Các nguyên liệu thô dùng để tổng hợp các thuỷ tinh aluminosilicat có hoạt tính là tro bay loại F có thêm lượng nhỏ các thành phần trợ dung (ví dụ như soda) hoặc các hoá chất đặc biệt khác. Trước khi được sử dụng trong các vữa GUHPC, thuỷ tinh tổng hợp có thể được nghiền sàng qua sàng có kích thước lỗ 0,044 mm (325 mesh). Việc hoạt hoá bằng kiềm đối với các bột thuỷ tinh tổng hợp này giúp mang lại độ bền nén vượt trên 20000 psi (137895200 N/m²) sau khi bảo dưỡng trong thời gian 28 ngày.

Nói chung, tro bay loại F có hoạt tính yếu hơn meta cao lanh, mặc dù tro bay loại F về cơ bản là thuỷ tinh aluminosilicat. Hoạt tính của tro bay loại F phụ thuộc vào lượng tro ở trạng thái vô định hình chứa trong đó, phụ thuộc vào kích thước hạt của dạng tro bay rắn hình cầu và phụ thuộc vào nhiệt độ bảo dưỡng. Theo số liệu đo lường của các tác giả sáng chế, năng lượng hoạt hoá của quá trình hydrat hoá có thể cao đến mức khoảng 100 kJ/mol đối với geopolymer trên cơ sở tro bay loại F thông thường ở nhiệt độ khoảng từ 20 đến 75°C. Để so sánh, các năng lượng hoạt hoá của quá trình hydrat hoá các xi măng Pooelan và xỉ lò cao chỉ là khoảng từ 20 đến 50 kJ/mol. Do

không phải xử lý nhiệt sau khi đông cứng, là công việc thường được áp dụng cho sản xuất bê tông UHPC thông thường, nên tro bay loại F thông thường không thể là aluminosilicat có hoạt tính được ưu tiên trong sản xuất GUHPC vì phụ thuộc vào kích thước hạt.

Để có thể được dùng làm aluminosilicat có hoạt tính trong vữa GUHPC bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng, thì tốt hơn, tro bay loại F phải có kích thước hạt nhỏ hơn khoảng 15 μm , cũng như chứa lượng than chưa cháy thấp, ví dụ như khoảng dưới 1% trọng lượng. Tốt hơn thì các tro bay loại F đó có kích thước hạt trung bình vào khoảng 3 μm và có thể chế biến từ tro bay thô bằng cách tách loại cơ học các hạt lớn hơn. Cũng có thể sản xuất tro bay cực mịn bằng quy trình nghiền. Theo cách này có thể tạo ra các tro bay có kích thước hạt trung bình trong khoảng từ 6 đến 10 μm .

Aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính

Như đã được bàn đến, vật liệu kết dính gồm aluminosilicat có hoạt tính và/hoặc aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính. Các ví dụ về vật liệu aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính là xỉ lò cao đã được nghiền thành hạt (GGBFS), canxi aluminosilicat dạng thủy tinh (VCAS), tro bay loại C (CFA) và bụi lò nung xi măng (CKD).

Tùy thuộc vào thành phần hoá học và phương pháp sản xuất mà xỉ lò cao đã được nghiền thành hạt (GGBFS) là vật liệu dạng hạt giống như thủy tinh với cấu trúc thay đổi từ kiểu hạt thô tựa như bông ngô, dễ vỡ, với đường kính hạt khoảng lớn hơn 4,75 mm, cho đến cấu trúc kiểu hạt chắc đặc cỡ bằng hạt cát. Việc nghiền sẽ làm giảm kích thước hạt này đến độ mịn của xi măng, cho phép sử dụng vật liệu nêu trên làm phụ gia có cường độ gắn kết trong bê tông trên cơ sở xi măng Pooclan. Xỉ lò cao dạng đã được nghiền thành hạt thông thường chứa khoảng 27-38% SiO_2 , 7-12% Al_2O_3 , 34-43% CaO , 7-15% MgO , 0,2-1,6% Fe_2O_3 , 0,1-0,76% MnO và 1,0-1,9% các chất khác, theo trọng lượng. Do GGBFS có dạng thủy tinh (hoặc là "dạng vô định hình") gần như 100%, nên nói chung nó có hoạt tính mạnh hơn hầu hết các tro bay. GGBFS tạo ra được nhiều canxi silicat hydrat (CSH) có tác dụng tăng độ bền hơn so với xi măng Pooclan tạo ra, nên làm cho độ bền chung cục cao hơn so với bê tông sản xuất bằng xi măng Pooclan.

GGBFS là aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính có lợi nhất do nó có

hoạt tính cao trong dung dịch kiềm và giá thành thấp. Mặc dù cả ba cấp độ của xỉ lò cao (cụ thể là các cấp độ 80, 100 và 120 theo tiêu chuẩn ASTM C989-92) đều thích hợp dùng cho vữa GUHPC, song xỉ lò cao cấp độ 120 được ưu tiên, bởi vì nó thể hiện hoạt tính cao hơn trong dung dịch kiềm. Ngoài ra, GGBFS cực mịn còn có hoạt tính cao hơn nữa so với xỉ lò cao cấp độ 120. Ví dụ, xi măng MC-500® Microfine® (sản phẩm của công ty de neef Construction Chemicals) là một loại xỉ lò cao cực mịn có kích thước hạt khoảng dưới 10 μm và diện tích bề mặt riêng khoảng 800 m^2/kg có hoạt tính cao hơn xỉ lò cao cấp độ 120.

VCAS là một phế phẩm trong sản xuất thủy tinh sợi. Tại một cơ sở sản xuất sợi thủy tinh thường có khoảng 10-20% trọng lượng là vật liệu thủy tinh được chế biến không chuyển thành thành phẩm cuối cùng và bị loại ra như sản phẩm phụ hoặc phế phẩm VCAS và được đổ ra bãi rác. VCAS có dạng vô định hình 100% và thành phần của nó rất ổn định, chủ yếu chứa khoảng 50-55% trọng lượng là SiO_2 , 15-20% trọng lượng là Al_2O_3 và 20-25% trọng lượng là CaO . VCAS đã nghiền có hoạt tính phụ gia thủy lực gần bằng của silic oxit cực mịn và meta cao lanh khi kiểm nghiệm theo các tiêu chuẩn ASTM C618 và C1240. Vì vậy, nó có thể là một aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính rất cao do tạo ra các hợp chất phụ gia có cường độ gắn kết như xi măng, ví dụ như các gel CSH và CASH.

CKD là một sản phẩm phụ của quá trình sản xuất xi măng Pooclan và do đó là một chất thải công nghiệp. Mỗi năm có trên 30 triệu tấn CKD được tạo ra trên toàn thế giới, với lượng lớn được đưa tới các bãi rác. CKD thông thường chứa khoảng 38-64% trọng lượng là CaO , 9-16% trọng lượng là SiO_2 , 2,6-6,0% trọng lượng là Al_2O_3 , 1,0-4,0% trọng lượng là Fe_2O_3 , 0,0-3,2% trọng lượng là MgO , 2,4-13% trọng lượng là K_2O , 0,0-2,0% trọng lượng là Na_2O , 1,6-18% trọng lượng là SO_3 , 0,0-5,3% trọng lượng là Cl^- và 5,0-25% trọng lượng là LOI. CKD nói chung là bột rất mịn (chẳng hạn như có diện tích bề mặt riêng khoảng 4600-14000 cm^2/g) và là một aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính tốt. Khi CKD được sử dụng trong sản xuất GUHPC, thì nồng độ cao của các oxit kim loại kiềm chứa trong nó sẽ làm tăng sự geopolymer hoá. Việc tạo thêm gel CSH, etringit (có công thức $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) và/hoặc syngenit (kim loại kiềm-canxi sulfat hỗn tạp) có thể giúp làm tăng độ bền ban đầu của GUHPC.

Thành phần bê tông này gồm khoảng 2 đến 40% trọng lượng là aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính và tốt hơn nếu có từ khoảng 8 đến 25% trọng lượng. Bê tông này chứa đến 30% trọng lượng là aluminosilicat có hoạt tính. Các vật liệu kết dính trong bê tông này là aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính và aluminosilicat có hoạt tính; các vật liệu kết dính đóng góp vào thành phần lên đến khoảng 50% trọng lượng, ví dụ như khoảng từ 20 đến 40% trọng lượng, ví dụ như khoảng từ 15 đến 30% trọng lượng của vữa GUHPC.

Trong vật liệu kết dính, tỷ lệ khối lượng giữa aluminosilicat có hoạt tính và aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính là khoảng từ 0,0 đến 10; tỷ lệ khối lượng giữa chúng khoảng từ 0,2 đến 0,8 được ưu tiên.

Trong vật liệu kết dính, tỷ lệ khối lượng giữa aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính và aluminosilicat có hoạt tính khoảng từ 0,0 đến 20 được ưu tiên hơn; ví dụ như khoảng từ 1 đến 10; ví dụ như khoảng từ 2 đến 5.

Dung dịch chất hoạt hoá

Thành phần rất quan trọng thứ hai trong vữa GUHPC là dung dịch chất hoạt hoá. Ngoài vật liệu kết dính trình bày ở trên, thì dung dịch chất hoạt hóa có tính kiềm (gọi tắt là "dung dịch chất hoạt hoá") cần phải được thêm vào hỗn hợp thành phần khô của GUHPC để tạo ra vữa GUHPC hoàn chỉnh. Thực tế, chất hoạt hoá là dung dịch chứa một hoặc nhiều hydroxit kim loại và một hoặc nhiều silicat kim loại.

Theo một phương án, một hoặc nhiều hydroxit kim loại nêu trên là một hoặc nhiều hydroxit của kim loại kiềm, như natri hydroxit, kali hydroxit, hoặc cả hai.

Một hoặc nhiều silicat kim loại nêu trên có thể là một hoặc nhiều silicat kim loại kiềm và/hoặc một hoặc nhiều silicat kim loại kiềm thổ. Nên dùng các silicat kim loại kiềm, đặc biệt là hỗn hợp dung dịch của kali silicat và natri silicat.

Silic oxit cực mịn hoặc microsilic oxit gồm các hạt silic oxit (SiO_2) dạng thủy tinh rất nhỏ (chẳng hạn như kích thước hạt khoảng 0,1 μm) chủ yếu có hình cầu, với diện tích bề mặt riêng vào cỡ 20 m^2/g . Silic oxit cực mịn có hoạt tính mạnh trong dung dịch kiềm. Dung dịch chất hoạt hoá được điều chế bằng cách hoà tan silic oxit cực mịn trong dung dịch hydroxit của kim loại kiềm. Theo một số phương án của sáng chế, silic oxit cực mịn cũng được sử dụng làm chất độn có hoạt tính. Không giống như

UHPC trên cơ sở xi măng Pooclan thông thường, GUHPC dung hoà được với than chưa cháy lẫn trong silic oxit cực mịn của phế thải công nghiệp lên đến khoảng 5% trọng lượng, chẳng hạn như trong silic oxit cực mịn thu được từ sản xuất hợp kim silic và hợp kim sắt-silic. GUHPC được tạo ra từ silic oxit cực mịn của phế thải công nghiệp có thể có màu xám hoặc màu tối hơn nữa. Tuy nhiên, GUHPC chứa silic oxit cực mịn màu trắng, chẳng hạn như thu được từ công nghiệp ziriconi, có hàm lượng than chưa cháy thấp hơn nhiều và có màu trắng. Do vậy, có thể thêm một số chất màu hoặc các sắc tố vào GUHPC sản xuất từ silic oxit cực mịn màu trắng để đạt được sự đa dạng về màu của thành phẩm.

Theo một số phương án, silic oxit cực mịn có thể được sử dụng để tạo ra dung dịch chất hoạt hoá bằng cách hoà tan nó trong dung dịch hydroxit của kim loại kiềm, cùng với các chất làm tăng độ bền (nếu có). Theo các phương án khác, các bột thủy tinh silicat kim loại kiềm có thể được hoà tan trong dung dịch hydroxit của kim loại kiềm để điều chế dung dịch chất hoạt hoá. Nhiệt độ cao có thể giúp làm tăng tốc độ hoà tan bột thủy tinh silicat kim loại kiềm. Các ví dụ về các thủy tinh silicat kim loại kiềm dễ tan sẵn có trên thị trường là SS® natri silicat và Kasolv® kali silicat của công ty PQ Corporation. Theo các phương án khác, có thể sử dụng các dung dịch silicat kim loại kiềm sẵn có trên thị trường để pha các dung dịch chất hoạt hoá. Các ví dụ về các dung dịch silicat kim loại kiềm vừa nêu là dung dịch Ru™ natri silicat và dung dịch ASIL®6 kali silicat của công ty PQ Corporation. Khi sử dụng các vật liệu kim loại kiềm silicat dễ tan có trên thị trường này để pha các dung dịch chất hoạt hoá, thì các sản phẩm GUHPC thường có màu nhạt. Nếu muốn, có thể thêm một số sắc tố để tạo ra các màu sắc cuối cùng khác nhau.

Dung dịch chất hoạt hoá đóng góp thêm vào vữa GUHPC như sau: hydroxit kim loại dưới dạng M_2O (M là Na, K, hoặc là cả hai kim loại này) với hàm lượng khoảng 2 đến 15% trọng lượng, silicat dưới dạng SiO_2 với hàm lượng khoảng 2 đến 15% trọng lượng, và nước với hàm lượng 4 đến 25% trọng lượng.

Tốt hơn, hydroxit kim loại được thêm vào là các hydroxit của natri, của kali, hoặc của cả hai kim loại này; tốt hơn nữa, với hàm lượng khoảng 2 đến 10% trọng lượng là Na_2O (được thêm vào dưới dạng NaOH), là K_2O (được thêm vào dưới dạng KOH), hoặc là cả hai hydroxit này; còn tốt hơn nữa, thì với hàm lượng khoảng 2 đến

8% trọng lượng là Na_2O (được thêm vào dưới dạng NaOH), là K_2O (được thêm vào dưới dạng KOH) hoặc là cả hai hydroxit này.

Tốt hơn nữa, SiO_2 được thêm vào dưới dạng silic oxit cực mịn. Tốt hơn, SiO_2 hoà tan có trong vữa GUHPC với hàm lượng khoảng 2 đến 10% trọng lượng, còn tốt hơn nữa là khoảng 2 đến 8% trọng lượng.

Tốt hơn, nước có mặt trong vữa GUHPC khoảng từ 4 đến 25% trọng lượng; tốt hơn nữa thì khoảng từ 7 đến 15% trọng lượng.

Vật liệu độn

Một thành phần tuỳ ý trong vữa GUHPC là vật liệu độn có kích thước hạt lên đến khoảng 75 μm . Có hai loại vật liệu độn có thể được phân loại theo kích thước hạt của chúng và hoạt tính của chúng trong dung dịch kiềm. Một loại vật liệu độn chứa phần lớn là các hạt có hoạt tính, có kích thước nhỏ hơn micron với cỡ hạt khoảng từ 0,05 đến 1 μm . Một loại vật liệu độn khác chứa các hạt mịn và siêu mịn có kích thước hạt khoảng từ 1 đến 75 μm .

Vật liệu độn tổ hợp có thể chiếm đến khoảng 35% trọng lượng của vữa GUHPC. Tốt hơn, vật liệu độn tổ hợp chiếm khoảng từ 2 đến 35% trọng lượng. Tốt hơn nữa, vật liệu độn tổ hợp chiếm khoảng từ 2 đến 25% trọng lượng.

Ví dụ về các vật liệu độn mịn và siêu mịn là các zeolit đã nung, tro bay loại F, tro bay loại C, tro bay sinh ra trong quá trình khí hoá than, tro núi lửa và bột nghiền thủy tinh phế thải. Nói chung, các hạt vật liệu độn này cũng hoàn toàn có hoạt tính khi tiếp xúc với dung dịch kiềm. Các tro bay, bao gồm tro bay loại F và tro bay loại C, thường có kích thước hạt khoảng từ 5 đến 75 μm . Ưu tiên là các tro bay có kích thước hạt nhỏ hơn, ví dụ như tro bay cực mịn (UFFA) có kích thước hạt trung bình khoảng từ 1 đến 10 μm . UFFA được xử lý cẩn thận bằng cách tách cơ học phần hạt siêu mịn từ tro bay gốc. Tro bay sinh ra trong quá trình khí hoá than được xả thải từ các trạm phát điện sử dụng sự khí hoá than, thường là các hạt chủ yếu có dạng hình cầu giàu SiO_2 có kích thước hạt tối đa khoảng từ 5 đến 10 μm . Như vậy, tro bay sinh ra trong quá trình khí hoá than cũng là vật liệu độn thích hợp.

Tro bay loại F về bản chất là thủy tinh aluminosilicat có hoạt tính kém hơn meta cao lanh trong dung dịch kiềm. Hoạt tính của tro bay loại F phụ thuộc vào lượng

ở trạng thái vô định hình trong tro đó, vào kích thước hạt của dạng tro bay rắn và vào nhiệt độ bảo dưỡng. Theo các số liệu đo của các tác giả sáng chế, năng lượng hoạt hoá của quá trình hydrat hoá có thể là cao đến mức bằng khoảng 100 kJ/mol đối với geopolymer trên cơ sở tro bay loại F ở nhiệt độ khoảng từ 20 đến 75°C. Để so sánh, các năng lượng hoạt hoá của quá trình hydrat hoá của các xi măng Pooclan nằm trong khoảng từ 20 đến 50 kJ/mol. Tro bay loại F có thể được sử dụng làm vật liệu độn, bởi vì nó thường có kích thước hạt nhỏ hơn 75 micron, do đó cho phép loại bỏ thạch anh đã nghiền, là một trong các thành phần chính trong UHPC thông thường. Ưu tiên là tro bay loại F chứa lượng than chưa cháy thấp hơn (chẳng hạn như khoảng dưới 2% trọng lượng).

Meta cao lanh và xỉ lò cao đã được nghiền thành hạt cũng có thể được đưa vào làm vật liệu độn có hoạt tính trong khi chúng cũng có chức năng như vật liệu kết dính. Cả hai vật liệu này đều có kích thước hạt trong khoảng từ 0,5 đến 75 μm . Chúng lấp vào các chỗ trống để cải thiện mật độ lên của vữa GUHPC và phản ứng với dung dịch silicat kim loại kiềm để tạo ra thêm gel AAS và gel CSH và/hoặc gel CASH.

Ví dụ về các zeolit là zeolit kiểu 5A, zeolit kiểu 13X, clinoptilolit và philipsit. Các trạng thái của các zeolit này có các tỷ lệ mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ khoảng từ 2 đến 7, tỷ lệ này nằm trong khoảng giá trị thuận lợi cho sự tạo thành các chế phẩm geopolymer. Việc xử lý nhiệt các vật liệu zeolit ở các nhiệt độ khoảng từ 500 đến 800°C làm cho các vật liệu này có cấu trúc vô định hình và có hoạt tính khi tiếp xúc với dung dịch có độ kiềm cao. Các vật liệu zeolit đã nung thường có kích thước hạt khoảng từ 0,5 đến 10 μm .

Các vật liệu độn có kích thước hạt nhỏ hơn micron tiêu biểu có thể sử dụng theo sáng chế là silic oxit cực mịn, silic oxit kết tủa và nhôm oxit có kích thước hạt cỡ micron; với silic oxit cực mịn được ưu tiên nhất. Các vật liệu độn có kích thước hạt nhỏ hơn micron thường có hoạt tính mạnh khi tiếp xúc với dung dịch kiềm. Các hạt canxi cacbonat cực mịn có diện tích bề mặt riêng bằng hoặc lớn hơn 10 m²/g cũng có thể được sử dụng làm vật liệu độn có kích thước hạt nhỏ hơn micron, mặc dù có hoạt tính kém hơn silic oxit cực mịn. Các vật liệu khác có kích thước hạt khoảng dưới 1 μm cũng có thể được sử dụng làm vật liệu độn kích thước hạt nhỏ hơn micron, mặc dù chúng không nhất thiết phải là có hoạt tính. Các ví dụ về các dạng hạt có kích thước

nhỏ hơn micron như vừa nêu là Fe_2O_3 , ZrO_2 và SiC có kích thước thích hợp.

Như được sử dụng trong UHPC thông thường, có thể sử dụng bột thạch anh nghiền có kích thước hạt nằm trong khoảng từ 1 đến $75\mu\text{m}$ và tốt hơn nếu nằm trong khoảng từ 5 đến $30\mu\text{m}$, để tăng cường sự tối ưu hoá phân bố kích thước hạt và bột này được xem là trơ. Tuy nhiên, thạch anh đã nghiền có thể trở nên có hoạt tính tương đối trong GUHPC, khi các hạt thạch anh có diện tích bề mặt lớn tan trong các dung dịch có độ kiềm cao, với $\text{pH} > 14$. Do vậy, trong các vữa GUHPC theo sáng chế, có thể xếp bột nghiền thạch anh vào loại vật liệu độn có hoạt tính yếu.

Theo một số phương án, vật liệu độn đơn lẻ, tốt hơn thì vật liệu độn có hoạt tính đơn lẻ, được đưa vào vữa GUHPC. Theo một số phương án trong các phương án này, vật liệu độn đơn lẻ là silic oxit cực mịn. Theo các phương án đó, có tới khoảng 5% trọng lượng silic oxit cực mịn được đưa vào các vữa GUHPC. Theo các phương án khác, nhiều vật liệu độn, có thể có hoặc không bao gồm một hoặc nhiều vật liệu độn có hoạt tính, được đưa vào các vữa GUHPC. Ví dụ, hai vật liệu độn có thể được đưa vào vữa GUHPC. Theo một số phương án, silic oxit cực mịn và zeolit kiểu 5A đã nung có thể được đưa vào vữa GUHPC với tổng lượng của chúng lên đến khoảng 10% trọng lượng. Theo các phương án khác, silic oxit cực mịn và bột thạch anh nghiền có thể được đưa vào vữa GUHPC với lượng bột nghiền thạch anh lên đến khoảng 25% trọng lượng, ví dụ như lên đến khoảng 10% trọng lượng, và lượng silic oxit cực mịn lên đến khoảng 8% trọng lượng, ví dụ như lên đến khoảng 5% trọng lượng. Theo các phương án khác nữa, silic oxit cực mịn và tro bay loại C có thể được đưa vào vữa GUHPC với lượng silic oxit cực mịn lên đến khoảng 8% trọng lượng, ví dụ như lên đến khoảng 5% trọng lượng, và lượng tro bay loại C lên đến khoảng 25% trọng lượng, ví dụ như lên đến khoảng 10% trọng lượng. Theo các phương án khác nữa, silic oxit cực mịn và tro bay loại F có thể được đưa vào vữa GUHPC với lượng silic oxit cực mịn lên đến khoảng 8% trọng lượng và với lượng tro bay loại F lên đến khoảng 25% trọng lượng. Theo các phương án khác nữa, nhiều hơn hai, ví dụ như ba, bốn hoặc nhiều hơn nữa vật liệu độn có thể được đưa vào vữa GUHPC.

Trong vữa GUHPC, các vật liệu độn có kích thước hạt trung bình khác nhau và có hoạt tính khác nhau có thể cùng được đưa vào để đạt được mật độ lèn cao nhất của vữa GUHPC và để làm tăng sự geopolymer hoá, việc này có thể dẫn tới cải thiện cường

độ của sản phẩm. Cả silic oxit cực mịn/tro bay (loại C và/hoặc loại F) và silic oxit cực mịn /bột thạch anh nghiền đều là các ví dụ thích hợp về các tổ hợp đó.

Cốt liệu

Thành phần tùy ý thứ hai trong vữa GUHPC là cốt liệu. Cốt liệu chi phối cường độ của geopolymer kết dính, làm tăng thêm độ bền và có thể là cốt liệu mịn hoặc thô, với các cốt liệu mịn được hiểu là có kích thước hạt nằm trong khoảng từ 0,075 mm đến 1 mm, ví dụ như khoảng từ 0,15 đến 0,60 mm. Nếu cốt liệu mịn được sử dụng trong vữa GUHPC, thì có thể sử dụng cốt liệu mịn bất kỳ đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này. Một ví dụ về cốt liệu mịn là cát sông mịn thông thường, có thể thêm vào vữa GUHPC với tỷ lệ lên đến khoảng 75% trọng lượng, ví dụ như khoảng từ 30 đến 60% trọng lượng, như khoảng từ 40 đến 60% trọng lượng, ví dụ như khoảng từ 25 đến 55% trọng lượng, như lên đến khoảng 50% trọng lượng, ví dụ như khoảng từ 10 đến 30% trọng lượng, như khoảng từ 15 đến 25% trọng lượng.

Tùy ý, cốt liệu có kích thước hạt nằm trong khoảng từ 0,75 đến 10 mm, ví dụ như khoảng từ 1 đến 5 mm, như khoảng từ 1 đến 2 mm, cũng có thể được thêm vào vữa GUHPC lên đến khoảng 50% trọng lượng, tốt hơn nếu cùng với cốt liệu mịn. Các ví dụ về cốt liệu thô là, nhưng không phải chỉ giới hạn ở, thạch anh đã nghiền, granit, goni, bazan, đá vôi và các cát boxit đã nung.

Xi lò cao đã nghiền thành hạt có kích thước hạt khoảng từ 0,1 đến 10 mm cũng có thể được dùng làm cốt liệu trong vữa GUHPC. Có thể quan sát thấy sự liên kết mạnh hơn giữa các hạt cốt liệu và geopolymer kết dính trong các vữa bê tông này do xi lò cao phản ứng mạnh trong dung dịch kiềm.

Các chất làm tăng độ bền

Tùy ý, ít nhất một chất làm tăng độ bền có thể được thêm vào dung dịch chất hoạt hoá lên đến khoảng 2% trọng lượng, ví dụ như khoảng từ 0 đến 3% trọng lượng, như khoảng từ 0 đến 2% trọng lượng, như khoảng từ 0,5 đến 1,5% trọng lượng, hoặc như khoảng từ 0 đến 1,5% trọng lượng, như khoảng từ 0 đến 0,75% trọng lượng của vữa GUHPC. Có thể sử dụng bất kỳ chất làm tăng độ bền nào đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này hoặc các tổ hợp của các vật liệu đó. Ví dụ về các chất làm tăng độ bền bao gồm, nhưng không chỉ giới hạn ở, natri florua, kali florua, natri sulfat, natri oxalat, natri photphat và các hợp chất có liên quan, cũng như nhôm hydroxit.

Các sợi để gia cường

Tuỳ ý, có thể thêm sợi vào vữa GUHPC lên đến khoảng 15% trọng lượng, như lên đến khoảng 10%, như lên đến khoảng 7,5% trọng lượng, để đảm bảo tính dẻo mong muốn của sản phẩm bê tông đã đông cứng. Ví dụ về các loại sợi đó là các loại sợi ngắn như: các sợi hữu cơ (chẳng hạn, các sợi polyvinyl ancol và các sợi polyacrylonitril); các sợi thủy tinh (chẳng hạn, các sợi đá bazan); các sợi cacbon và các sợi kim loại.

Các sợi kim loại được ưu tiên sử dụng do tính dẻo đáng kể của chúng và do tính dẻo tăng mà chúng tạo ra cho sản phẩm bê tông GUHPC. Các sợi kim loại thường được chọn là sợi thép, ví dụ như sợi thép có độ bền cao và sợi thép không gỉ. Độ dài của mỗi sợi kim loại này thường ít nhất là 2 mm và tốt hơn thì khoảng từ 10 đến 30 mm. Tỷ lệ giữa độ dài và đường kính của các sợi kim loại được sử dụng để gia cường thường nằm trong khoảng từ 10 đến 300 và tốt hơn nếu nằm trong khoảng từ 30 đến 100. Có thể sử dụng các sợi kim loại có hình dáng khác nhau (ví dụ như dạng uốn cong, dạng gấp hoặc uốn móc câu ở đầu sợi). Có thể cải thiện độ liên kết các sợi kim loại trong geopolyme kết dính bằng cách xử lý bề mặt của các sợi bằng các phương pháp đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này, ví dụ như khắc mòn bằng axit hoặc tráng phủ các sợi đó bằng lớp xử. Các sợi thép Dramix® (ví dụ như các sợi có độ dài 13 mm và đường kính 0,20 mm) do hãng Bekaert Corporation sản xuất là một ví dụ về sợi kim loại được các tác giả sáng chế sử dụng để tạo ra một số sản phẩm bê tông GUHPC nêu trong các ví dụ.

Các chất làm giảm hàm lượng nước/chất rắn có tác dụng siêu dẻo hoá

Tuỳ ý, các chất làm giảm hàm lượng nước hoặc các chất rắn có tác dụng siêu dẻo hoá có thể được sử dụng để làm giảm lượng nước cần cho quá trình điều chế dung dịch chất hoạt hoá cho vữa GUHPC. Các chất rắn có tác dụng siêu dẻo hoá thuộc vào một loại mới của các chất làm giảm lượng nước có khả năng làm giảm hàm lượng nước khoảng 30% đối với các bê tông trên cơ sở xi măng Pooclan. Mới gần đây hơn các vật liệu siêu dẻo hoá được sử dụng là các hợp chất polycarboxylic, ví dụ như các polyacrylat, tuy nhiên có thể sử dụng bất kỳ vật liệu siêu dẻo hoá nào đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này.

Nếu được đưa vào, thì tốt hơn, các chất rắn có tác dụng siêu dẻo hoá được sử

dụng với tỷ lệ lên đến khoảng 5% trọng lượng, ví dụ như lên đến khoảng 2,5% trọng lượng, như lên đến khoảng 1,5% trọng lượng.

Các chất làm chậm sự đông cứng

Tuỳ ý, một hoặc nhiều chất làm chậm sự đông cứng (chẳng hạn như axit boric, một số thương phẩm như Daratar 17 của hãng Grace-Constructions, v.v.) có thể đưa vào vữa GUHPC để kéo dài thời gian đông cứng của vữa. Bất kỳ chất làm chậm sự đông cứng nào đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này đều có thể được đưa vào với mức độ thích hợp.

Phương pháp chung tạo bê tông GUHPC và liệt kê tổng hợp các thành phần

Theo một phương án, dung dịch chất hoạt hoá được điều chế bằng cách hoà tan silic oxit cực mịn vào dung dịch hydroxit của kim loại kiềm. Tuỳ ý, dung dịch chất hoạt hoá được làm cho chất tan tan hoàn toàn bằng cách lúc lúc lại khuấy. Các thành phần khô nêu trên, trừ vật liệu độn có kích thước hạt nhỏ hơn micron, được trộn trước trong một máy trộn thích hợp, ví dụ như máy trộn có tốc độ cao. Sau đó, dung dịch hoạt hoá có tính kiềm, cùng với vật liệu siêu dẻo hoá (nếu có) và/hoặc chất làm tăng độ bền (nếu có), được rót vào hỗn hợp khô nói trên và trộn đều. Với tỷ lệ W/C gần như tối ưu, hỗn hợp khô chuyển thành hỗn hợp tựa như dạng hạt, mà hỗn hợp này lại chuyển thành hỗn hợp tựa như dạng cát khi tiếp tục trộn đảo với tốc độ cắt lớn, chẳng hạn như khoảng 250 vòng/phút hoặc cao hơn. Sau đó, vật liệu độn có kích thước hạt nhỏ hơn micron, ví dụ như silic oxit cực mịn, được thêm vào và trộn đều; hỗn hợp tựa như dạng cát này chuyển thành hỗn hợp tựa như bột nhão, mà cuối cùng trở thành vữa đồng nhất, có thể chảy, dễ dùng. Tốt hơn thì các sợi ngắn (nếu có) được thêm vào lúc gần kết thúc quá trình trộn, ví dụ như cùng với vật liệu độn có kích thước hạt nhỏ hơn micron hoặc muộn hơn sau đó.

Các bê tông có cường độ siêu cao chứa geopolyme (GUHPC) theo sáng chế có thể được sản xuất bằng các phương pháp đã biết, ví dụ như bằng các phương pháp trộn các thành phần khô với dung dịch chất hoạt hoá đã biết, làm khuôn và đổ bê tông (đổ khuôn, đúc, phun, bơm, đúc ép, nén ép bằng trục lăn, v.v.), bảo dưỡng và làm đông cứng. Quy trình bảo dưỡng GHUPC theo sáng chế không bị bất kỳ giới hạn cụ thể nào. Mọi quy trình bảo dưỡng thông thường đều có thể được sử dụng cho các sản phẩm bê tông đúc tại chỗ và đúc sẵn.

Các thành phần nêu trên và các tỷ lệ của chúng trong các vữa GUHPC khác nhau được đúc kết và trình bày trong các Bảng 1 và 2.

Bảng 1: Các thành phần và các tỷ lệ của chúng trong các vữa GUHPC

Thành phần		Khoảng hàm lượng (% trọng lượng)
Vật liệu kết dính	Aluminisilicat có hoạt tính hoặc aluminisilicat của kim loại kiềm thổ có hoạt tính, hoặc cả hai	10-50
Vật liệu độn		0-35
Cốt liệu		0-75
Chất hoạt hoá	M ₂ O (M là K, Na hoặc cả hai)	2-15
	SiO ₂	2-15
	Nước	4-25
	Chất làm tăng độ bền	0-2
Vật liệu sợi		0-15
Chất rắn có tác dụng siêu dẻo hoá		0-5

Bảng 2: Các thành phần và các tỷ lệ được ưu tiên của chúng trong các vữa GUHPC

Kiểu vật liệu	Các thành phần	Khoảng hàm lượng I (% trọng lượng)	Khoảng hàm lượng II (% trọng lượng)
Vật liệu kết dính	Aluminisilicat có hoạt tính	0-30	2-15
	Aluminisilicat của kim loại kiềm thổ	2-40	8-25
Vật liệu độn		2-35	2-25
Cốt liệu		15-75	30-60
Chất hoạt hoá	M ₂ O (M là K, Na hoặc cả hai)	2-10	2-8
	SiO ₂	2-10	2-8
	Nước	5-20	7-15
	Chất làm tăng độ bền	0-1,5	0-0,75
Vật liệu sợi		0-10	0-7,5
Chất rắn có tác dụng siêu dẻo hoá		0-2,5	0-1,5

Các thông số ràng buộc

Các thông số ràng buộc và các khoảng giá trị tương ứng của chúng có thể được sử dụng để xác định một số công thức phối trộn không giới hạn của GUHPC. Các thông số ràng buộc được xác lập cho các thành phần cụ thể sử dụng trong vữa GUHPC.

Theo các phương án khi meta cao lanh được sử dụng làm aluminosilicat có hoạt tính, thì các thông số ràng buộc meta cao lanh là một tập hợp gồm tỷ lệ mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{M}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ và $\text{H}_2\text{O}/\text{M}_2\text{O}$, trong đó M đại diện cho một hoặc nhiều kim loại kiềm (chẳng hạn như Na, K, Li) hoặc kim loại kiềm thổ. Tỷ lệ mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ trong meta cao lanh khoảng là 2. Hydroxit của kim loại kiềm và silicat kim loại kiềm được thêm vào dung dịch để thu được các giá trị đòi hỏi đối với các tỷ lệ mol đặc trưng của dung dịch hoạt hoá. Các tỷ lệ mol đặc trưng này là $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ khoảng từ 3,0 đến 6,0, như khoảng từ 3,25 đến 4,5, như khoảng từ 3,5 đến 4,0; $\text{M}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ khoảng từ 0,7 đến 1,5, như khoảng từ 0,9 đến 1,25, hoặc khoảng từ 1,0 đến 1,35; và $\text{H}_2\text{O}/\text{M}_2\text{O}$ khoảng từ 5,0 đến 18,0, như khoảng từ 5,0 đến 14,0, như khoảng từ 6,0 đến 10,0.

Theo các phương án mà trong đó thủy tinh bột dạng tro bay tổng hợp được sử dụng làm aluminosilicat có hoạt tính; hoặc canxi aluminosilicat dạng thủy tinh được sử dụng làm aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính; hoặc xỉ lò cao được sử dụng làm aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính; hoặc một số tổ hợp của các vật liệu đó được sử dụng làm aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính, thì các thông số ràng buộc như sau. Các thông số ràng buộc là tập hợp các tỷ phần khối lượng của M_2O , SiO_2 , H_2O và các tỷ lệ mol $\text{SiO}_2/\text{M}_2\text{O}$ được sử dụng để pha chế dung dịch hoạt hoá. Cả aluminosilicat có hoạt tính và aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính đều là các vật liệu phụ gia thủy lực có cường độ tạo ra vật liệu geopolyme kết dính. Các tỷ phần khối lượng M_2O hoặc SiO_2 của các vật liệu phụ gia thủy lực có thể nằm trong khoảng từ 0,03 đến 0,15, chẳng hạn như nằm trong khoảng từ 0,05 đến 0,10. Tỷ lệ mol $\text{SiO}_2/\text{M}_2\text{O}$ nằm trong khoảng từ 0,2 đến 2,5, chẳng hạn như nằm trong khoảng từ 0,8 đến 1,5. Tỷ phần khối lượng của H_2O nằm trong khoảng từ 0,15 đến 0,40, chẳng hạn như nằm trong khoảng từ 0,25 đến 0,30. Các kim loại kiềm có thể là kim loại bất kỳ trong các kim loại Na, K và Li, hoặc là tổ hợp bất kỳ của các kim loại này, với kim loại Na là đặc biệt hữu dụng để tiết kiệm chi phí. Hàm lượng hydroxit của kim loại

kiềm, silicat kim loại kiềm và nước cần để cho các thành phần có hoạt tính được tổng kết để giúp thiết lập thành phần của dung dịch hoạt hoá.

Các thông số ràng buộc đối với CKD (bụi lò nung xi măng) – là aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính – bao gồm các tỷ phần khối lượng của SiO_2 (silic oxit hoà tan hoặc nguồn vật liệu silic oxit vô định hình bất kỳ - chẳng hạn như vi silic oxit, silic oxit cực mịn, v.v.), Al_2O_3 (aluminat hoà tan, nhôm oxit, các thứ nhôm hydroxit, v.v.) và H_2O . CKD giàu CaO tự do và thạch cao, cho thấy đặc tính phụ gia thuỷ lực mạnh của nó. Các tỷ phần khối lượng của SiO_2 nằm trong khoảng từ 0,05 đến 0,75, ví dụ như nằm trong khoảng từ 0,25 đến 0,5. Tỷ phần khối lượng của Al_2O_3 nằm trong khoảng từ 0,00 đến 1,0 và tỷ phần khối lượng của nước nằm trong khoảng từ 0,15 đến 0,6, tốt hơn nếu nằm trong khoảng từ 0,25 đến 0,35. Các thành phần gel thu được bao gồm CSH, etringit, CASH và AAS.

Không cần đến các thông số ràng buộc vẫn có thể sử dụng một hoặc nhiều silic oxit mịn, silic oxit kết tủa, nhôm oxit hoặc zeolit đã nung làm vật liệu độn có hoạt tính, nếu như các vật liệu độn có hoạt tính này được thêm vào vữa GUHPC chỉ với lượng rất nhỏ, chẳng hạn như khoảng dưới 2% trọng lượng của vữa bê tông. Tuy nhiên, nếu hỗn hợp các vật liệu độn có hoạt tính vượt quá 2% trọng lượng của vữa bê tông, thì cần phải sử dụng một số các thông số ràng buộc. Các tỷ phần khối lượng của M_2O đối với các vật liệu độn có hoạt tính đã nêu có thể nằm trong khoảng từ 0,0 đến 0,10, ví dụ như nằm trong khoảng từ 0,025 đến 0,05. Tỷ phần khối lượng của H_2O nằm trong phạm vi khoảng từ 0,0 đến 0,15, ví dụ như khoảng từ 0,025 đến 0,05.

Theo các phương án mà trong đó khi tro bay được sử dụng làm vật liệu độn có hoạt tính, thì phụ gia silic oxit hoà tan có thể được thêm vào dung dịch chất hoạt hoá với các tỷ phần khối lượng của SiO_2 trong các vật liệu độn có hoạt tính nằm trong khoảng từ 0,0 đến 0,10, ví dụ như khoảng từ 0,025 đến 0,05. Tỷ lệ mol $\text{SiO}_2/\text{M}_2\text{O}$ nằm trong phạm vi khoảng từ 0,2 đến 2,5, ví dụ như khoảng từ 0,8 đến 1,5.

Tỷ lệ khối lượng của nước trên các chất rắn geopolymer (W/C) là một thông số quan trọng đối với vữa GUHPC. Như được sử dụng ở đây, thuật ngữ "các chất rắn geopolymer" được xác định là tổng các khối lượng của các thành phần có hoạt tính trong vật liệu kết dính (tức là aluminosilicat có hoạt tính và/hoặc aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính) và các khối lượng của oxit kim loại kiềm, cũng như silic

điôxit, hoà tan trong dung dịch chất hoạt hoá. Tỷ lệ W/C được xác định bằng tập hợp các thông số ràng buộc, như tỷ lệ mol H_2O/M_2O đối với meta cao lanh (nếu có), tỷ phần khối lượng H_2O đối với aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính và các vật liệu aluminosilicat có hoạt tính khác với meta cao lanh (nếu có), tỷ phần khối lượng của H_2O đối với các vật liệu độn có hoạt tính, cũng như phụ thuộc vào việc vật liệu siêu dẻo hoá có được sử dụng không và được sử dụng bao nhiêu. Trong một số ví dụ trình bày ở đây, cát xây có độ ẩm khoảng 2,5% trọng lượng được sử dụng làm cốt liệu mịn. Nếu lượng ẩm của cốt liệu mịn sai lệch với con số khoảng 2,5% trọng lượng này, thì vữa bê tông cần phải được hiệu chỉnh vì sự khác biệt lượng H_2O . Thông thường, các tỷ lệ W/C trong các vữa GUHPC nằm trong khoảng từ 0,12 đến 0,60, như khoảng từ 0,20 đến 0,50, như khoảng từ 0,30 đến 0,45.

Bảng 3 trình bày các thông số ràng buộc phổ biến và các giá trị ưu tiên của thông số dùng để pha chế dung dịch chất hoạt hoá dành cho vữa GUHPC.

Bảng 3: Các thông số ràng buộc và các khoảng giá trị ưu tiên của các thông số đó đối với dung dịch chất hoạt hoá

Các thành phần	Tỷ lệ hoặc vật liệu	Khoảng giá trị	Khoảng giá trị ưu tiên
Aluminosilicat có hoạt tính (tỷ lệ mol)	SiO_2/Al_2O_3	3,00-5,00	3,50-3,90
	M_2O/Al_2O_3	0,70-1,50	1,00-1,35
	H_2O/M_2O (M là K, Na hoặc là cả hai)	5-18	6,0-10,0
Aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính (tỷ lệ mol)	H_2O/BFS^*	0,15-0,40	0,25-0,30
	SiO_2/BFS^*	0,03-0,15	0,07-0,09
	M_2O/BFS^* (M là K, Na hoặc là cả hai)	0,03-0,15	0,07-0,09
Các vật liệu độn có hoạt tính (tỷ lệ mol)	H_2O /vật liệu độn có hoạt tính (chẳng hạn như tro bay)	0-0,15	0,025
	M_2O /vật liệu độn có hoạt tính (chẳng hạn như tro bay)	0-0,05	0-0,025

Ghi chú: * BFS đại diện cho aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính

Cách tạo vữa GUHPC

Sau đây là cách thức tổng quát để chế tạo vữa GUHPC. Đầu tiên, phần trăm trọng lượng của cốt liệu, vật liệu độn, vật liệu sợi (nếu có) và các chất rắn có tác dụng siêu dẻo hoá (nếu có) được đề xuất. Thứ hai, phần trăm trọng lượng của aluminosilicat

kim loại kiềm thổ có hoạt tính và aluminosilicat có hoạt tính được xác lập theo các tỷ lệ khối lượng mong muốn. Thứ ba, sau đó các tỷ phần cốt liệu, vật liệu độn và vật liệu kết dính có thể được tối ưu hoá bằng thuyết mật độ cực đại. Thành phần của dung dịch hoạt hoá được lập ra dựa trên tập hợp các thông số ràng buộc và các khoảng giá trị tương ứng của các thông số đó đối với các thành phần (tức là aluminosilicat có hoạt tính, aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính và một số vật liệu độn có hoạt tính) bằng cách tổng hợp các lượng cần thiết của hydroxit của kim loại kiềm, silic oxit hoà tan và/hoặc nhôm oxit hoà tan (nếu có) và nước. Cuối cùng, vật liệu kết dính (aluminosilicat có hoạt tính và/hoặc aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính), vật liệu độn (nếu có), cốt liệu (nếu có), vật liệu sợi (nếu có), các vật liệu siêu dẻo hoá (nếu có), các chất làm chậm sự đông cứng (nếu có) và dung dịch hoạt hoá sau đó được chuẩn hoá để tổng khối lượng các thành phần vữa GUHPC bằng đúng 100% trọng lượng.

Về nguyên tắc, cường độ của GUHPC sẽ phụ thuộc ít nhất một phần vào mật độ lèn của tất cả các hạt từ các thành phần khô, bao gồm aluminosilicat có hoạt tính, aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính, cốt liệu và vật liệu độn. Bởi vì các sản phẩm GUHPC có thể được sản xuất bằng các vật liệu sẵn có tại chỗ, cho nên việc xác định các mật độ lèn của các mẫu thử có các tỷ phần khác nhau của các thành phần bằng cách sử dụng cả phương pháp lèn khô và phương pháp lèn ướt là việc có ích. Sau đó, các hợp phần có mật độ lèn hạt cao hơn của hạt sẽ được đưa vào các quy trình tối ưu hoá tiếp theo.

Các tỷ lệ đặc trưng của dung dịch hoạt hoá bao gồm tỷ lệ W/C; tỷ lệ chất hoạt hoá/các chất rắn geopolyme; tỷ lệ oxit kim loại kiềm/các chất rắn geopolyme; tỷ lệ silic oxit hoà tan/các chất rắn geopolyme; và tỷ lệ silic oxit hoà tan/oxit kim loại kiềm, tất cả đều tính theo trọng lượng. Các khoảng giá trị ưu tiên về các tỷ lệ đặc trưng này được xác định bằng các thông số ràng buộc và tập hợp các khoảng giá trị tương ứng của các thông số đó đối với mỗi thành phần của GUHPC mà trong đó chúng được áp dụng.

Tỷ lệ giữa M_2O (M là K, Na) và các chất rắn geopolyme tính theo trọng lượng thường nằm trong khoảng từ 0,01 đến 0,25, như khoảng từ 0,02 đến 0,15, như khoảng từ 0,05 đến 0,10. Tỷ lệ giữa SiO_2 và các chất rắn geopolyme thường nằm trong khoảng

từ 0,01 đến 0,25, như khoảng từ 0,03 đến 0,25, như khoảng từ 0,02 đến 0,20, như từ 0,05 đến 0,15. Tỷ lệ giữa SiO_2 và Na_2O tính theo trọng lượng thường nằm trong khoảng từ 0,1 đến 2,0, như khoảng từ 0,5 đến 1,5, như khoảng từ 0,75 đến 1,25. Tỷ lệ giữa chất hoạt hoá và các chất rắn geopolymer tính theo trọng lượng thường nằm trong khoảng từ 0,20 đến 1,25, ví dụ như khoảng từ 0,50 đến 1,0. Tỷ lệ giữa chất hoạt hoá và tổng lượng chất rắn thường nằm trong khoảng từ 0,05 đến 0,70, ví dụ như khoảng từ 0,30 đến 0,50. Đối với dung dịch hoạt hoá, silicat kim loại được ưu tiên sử dụng là hỗn hợp của các silicat kim loại kiềm, ví dụ như K và Na silicat với các tỷ lệ khối lượng giữa K_2O và Na_2O khoảng từ 0 đến 5; còn hydroxit của kim loại kiềm được ưu tiên là hỗn hợp các hydroxit của kim loại kiềm, ví dụ như các hydroxit của K và Na với các tỷ lệ khối lượng $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ khoảng từ 0,1 đến 3.

Các nồng độ mol của hydroxit kim loại kiềm (chẳng hạn như KOH và NaOH) trong dung dịch chất hoạt hoá thường nằm trong khoảng từ 5 đến 15M, tốt hơn nếu khoảng từ 7,5 đến 12M. Lượng ẩm trong cốt liệu thường được đưa vào các tính toán đó.

Dung dịch chất hoạt hoá chiếm khoảng từ 10% trọng lượng đến khoảng 40% trọng lượng của vữa bê tông.

Việc vận dụng các tỷ lệ thành phần trong các khoảng giá trị nêu trên (ví dụ, xem Bảng 1) cho phép tối ưu hoá các thành phần của vữa GUHPC, giúp đạt được sự tăng độ bền ban đầu và độ bền cuối cùng cao của thành phẩm. Các vữa GUHPC mô tả ở đây có thể được tạo ra để đúc bê tông ở nhiệt độ môi trường, hoặc được tạo ra một cách đặc biệt để có thể ứng dụng cho mọi công việc đổ bê tông ở bất kỳ nhiệt độ nào khác, mà thường được áp dụng phổ biến trong công nghiệp xây dựng, ví dụ như áp dụng vào bê tông đúc sẵn, thường đòi hỏi phải bảo dưỡng ở nhiệt độ cao để đạt nhịp độ cao trong sản xuất. Một lợi thế của các vữa GUHPC mô tả trong sáng chế là, ngoài độ bền nén cao của bê tông thành phẩm, thì việc bảo dưỡng nhiệt cũng có thể là không cần thiết. Nhiệt độ bảo dưỡng có thể là thấp hơn nhiệt độ bảo dưỡng đối với bê tông UHPC thông thường. Ví dụ, việc bảo dưỡng có thể được tiến hành ở nhiệt độ thấp hơn hoặc bằng khoảng 250°C , như thấp hơn hoặc bằng khoảng 100°C , như thấp hơn hoặc bằng khoảng 75°C , như thấp hơn hoặc bằng khoảng 50°C , như thấp hơn hoặc bằng khoảng 45°C , như thấp hơn hoặc bằng khoảng 30°C , như thấp hơn hoặc bằng khoảng 25°C , như thấp hơn hoặc bằng khoảng 20°C .

Thời gian đông cứng ban đầu của các vữa GUHPC mô tả ở đây có thể là từ khoảng 0,5 giờ đến khoảng 3 giờ, ví dụ như khoảng từ 0,5 đến 1 giờ. Sau khi hợp phần đông cứng, thì nó được bảo dưỡng trong thời gian 24 giờ hoặc lâu hơn, ví dụ như 24 giờ đến một tuần hoặc lâu hơn, ở nhiệt độ bảo dưỡng trong phạm vi khoảng từ 20°C đến 75°C. Có thể đạt được thời gian đông cứng mong muốn bằng cách tối ưu hoá thành phần vật liệu kết dính và vật liệu độn (chẳng hạn như bằng cách chọn thành phần vật liệu kết dính và thành phần vật liệu độn có các hoạt tính khác nhau trong các dung dịch kiềm) hoặc bằng các phương pháp khác đã biết trong lĩnh vực kỹ thuật này.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Các ví dụ dưới đây nhằm minh hoạ sáng chế. Bất luận thế nào, các ví dụ này cũng không giới hạn phạm vi của các phương pháp đã nêu.

Trong các ví dụ dưới đây, tất cả các vữa GUHPC được bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng, chẳng hạn như ở nhiệt độ khoảng 25°C, trừ trường hợp các nhiệt độ bảo dưỡng khác được chỉ rõ.

Cát xây lấy từ các công nghiệp cốt liệu được sử dụng làm cốt liệu mịn có kích thước hạt nằm trong khoảng giữa 50 μm và 600 μm , với kích thước trung bình khoảng 250 μm . Hàm lượng nước trong cốt liệu mịn này là khoảng 2,5% trọng lượng ở nhiệt độ môi trường. Hàm lượng nước trong cốt liệu mịn đó được đưa vào để tính toán các nồng độ mol của hydroxit kim loại kiềm và tính toán tỷ lệ giữa nước và các chất rắn geopolyme. Chênh lệch thực tế về độ ẩm so với giá trị 2,5% trọng lượng đã được hiệu chỉnh trong tính toán.

#4 QROK đã được sử dụng làm cát thạch anh thô có kích thước hạt nằm trong khoảng giữa 0,6 mm và 1,7 mm, và Min U-SIL® đã được sử dụng làm bột thạch anh nghiền có kích thước hạt nằm trong khoảng từ 1 μm đến 25 μm , với đường kính trung bình của hạt là khoảng 5 μm . Cả hai sản phẩm thạch anh này đều là của hãng U.S. Silica.

Meta cao lanh (Kaorock) là của công ty Thiele Kaolin Company, Sandersville, GA. Meta cao lanh này có kích thước hạt nằm trong khoảng từ 0,5 μm đến 50 μm , với 50% theo thể tích có kích thước hạt dưới 4 μm .

Xi lò cao đã được nghiền thành hạt cấp độ 120 (xi măng xi NewCem) là của

hãng Lafarge, North America Inc. (Baltimore Terminal). Xi lò cao này có kích thước hạt nằm trong khoảng từ 0,5 μm đến 60 μm , với 50 % theo thể tích có kích thước hạt dưới 7 μm .

Silic oxit cực mịn, một sản phẩm phế thải của công nghiệp chế tạo hợp kim Fe-Si, là của hãng Norchem Inc. Silic oxit cực mịn này chứa 2,42% cacbon tính theo trọng lượng. Silic oxit cực mịn vừa nêu được sử dụng để điều chế các dung dịch chất hoạt hoá bằng cách hoà tan silic oxit cực mịn trong dung dịch hydroxit của kim loại kiềm, hoặc được thêm vào vữa bê tông để làm vật liệu độn có hoạt tính với kích thước hạt nhỏ hơn micron.

Một tro bay loại F (Micron³) được sử dụng là của hãng Boral Material Technologies Inc. Tro bay của Boral có kích thước hạt trong khoảng từ 0,5 μm đến 125 μm , với 50 % theo thể tích có kích thước hạt dưới 15 μm . Một tro bay loại F khác từ nhà máy điện Brandon Shores, Baltimore, MD, là của hãng Separation Technologies LLC. Tro bay của Brandon Shores có hàm lượng CaO thấp hơn (0,9% trọng lượng) và có độ hao hụt thấp khi đốt cháy (<1,5% trọng lượng); tro này được bán dưới tên thương mại ProAsh. Tro bay Brandon Shores có kích thước hạt trong khoảng từ 0,6 μm đến 300 μm , với 50 % theo thể tích có kích thước hạt dưới 26 μm . Một tro bay loại F khác từ nhà máy điện Limestone, Jewett, Texas, là của hãng Headwater Resources. Tro bay Jewett chứa khoảng 12% CaO trọng lượng và có kích thước hạt nằm trong khoảng từ 0,5 μm đến 300 μm , với 50 % theo thể tích có kích thước hạt dưới 15 μm . Các sợi thép Dramix® (dài 13 mm và đường kính 0,20 mm) của công ty Bekaert Corporation được sử dụng để cải thiện tính dẻo của bê tông.

Độ bền nén được đo trên máy nén Test Mark CM-4000-SD, theo phương pháp ASTM C39/C 39M. Trong quá trình thử nghiệm, tất cả các mẫu đo được lót mặt trên và mặt dưới bằng các đệm cao su, bởi vì các mặt trên và mặt dưới của mẫu không đủ song song và phẳng để đo mà không cần tấm đệm.

Ví dụ 1

Hoà tan KOH (90%) và NaOH (98%) vào nước máy để pha dung dịch kiềm nhờ sử dụng máy khuấy cơ học, rồi hoà tan silic oxit cực mịn vào dung dịch KOH và NaOH đó. Silic oxit cực mịn này của hãng Norchem Inc. chứa khoảng 2,42% cacbon trọng lượng. Dung dịch chất hoạt hoá có màu đen do cacbon không bị hoà tan. Dung

dịch chất hoạt hoá được để cho ổn định trong thời gian khoảng 2 ngày trước khi chuẩn bị mẫu nghiên cứu.

Cát xây chứa khoảng 2,5% trọng lượng là nước được sử dụng làm cốt liệu mịn.

Để tạo ra GUHPC, trước hết các thành phần sau đây được trộn khô:

- meta cao lanh để làm aluminosilicat có hoạt tính (chiếm 12,65% trọng lượng),
- xỉ lò cao đã được nghiền thành hạt để làm aluminosilicat kim loại kiềm thổ (chiếm 32,65% trọng lượng),
- zeolit 13x đã nung và silic oxit cực mịn để làm vật liệu độn có hoạt tính (tổng hàm lượng là 2% trọng lượng), và
- cát xây để làm cốt liệu mịn (chiếm 19,00% trọng lượng).

Tiếp theo, chất hoạt hoá được tạo ra bằng cách trộn đều:

- Na_2O (chiếm 2,52% trọng lượng) quy từ NaOH ,
- K_2O (chiếm 6,18% trọng lượng) quy từ KOH ,
- SiO_2 (chiếm 8,44% trọng lượng) là silic oxit cực mịn,
- H_2O (chiếm 16,55% trọng lượng), và
- các chất làm tăng độ bền.

Các chất làm tăng độ bền sử dụng trong hỗn hợp nêu trên bao gồm nhôm hydroxit, natri cacbonat, natri phosphat, natri sulfat, natri oxalat và florua. Tổng hàm lượng thêm vào là khoảng 1,25% trọng lượng của vữa bê tông. Các vật liệu này được hoà tan vào nước trước khi sử dụng.

Dung dịch chất hoạt hoá được trộn với các thành phần khô đã phối trộn từ trước nhờ thiết bị trộn điều khiển bằng tay UNITEC EHR23 (tốc độ tối đa là 275 vòng/phút). Trong quá trình trộn, quan sát thấy các giai đoạn sau đây: giai đoạn hỗn hợp khô, giai đoạn hỗn hợp trông tựa như cát, giai đoạn hỗn hợp trông tựa như dạng hạt nhỏ, giai đoạn hỗn hợp trông tựa như bột nhão, và, cuối cùng, giai đoạn hỗn hợp trông tựa như bột nhão chuyển thành vữa loãng có thể rót, cho thấy vữa bê tông có tỷ lệ W/C gần như tối ưu hoặc tối ưu. Thời gian có thể đạt được của giai đoạn cuối cùng (giai đoạn tạo thành vữa loãng) là khoảng 50 phút.

Đổ vữa bê tông nói trên vào các khuôn hình trụ (kích thước 2×4 inso) được

làm rung trong khi nạp vữa bê tông trong thời gian khoảng 3 phút để các bọt khí thoát ra; sau đó bảo dưỡng bê tông ở nhiệt độ phòng. Sau khoảng thời gian 24 giờ, các thử bê tông hình trụ được tháo khuôn và bảo quản ở nhiệt độ phòng. Sau khi bảo dưỡng trong thời gian 28 ngày, độ bền nén của các mẫu đo được là 23341 psi (160930593.16 N/m²).

Ví dụ 2:

Bê tông GUHPC thứ hai làm ví dụ được điều chế như sau:

Hoà tan KOH (90%) và NaOH (98%) vào nước máy để pha dung dịch kiềm nhờ sử dụng máy khuấy cơ học, rồi hoà tan silic oxit cực mịn có độ tinh khiết cao (khoảng 99,5% trọng lượng) của công ty Cabot Corporation vào dung dịch KOH và NaOH nêu trên.

Trước hết, hoà tan natri florua được sử dụng làm vật liệu tăng độ bền, vào nước máy. Lượng thêm vào là khoảng 0,5% trọng lượng của vữa bê tông.

Các thành phần sau đây (trừ khi được chỉ ra khác đi, thì các thành phần này nhận được từ các nguồn cung cấp nêu trên) được trộn khô:

- meta cao lanh dùng làm aluminosilicat có hoạt tính (chiếm 12,87% trọng lượng),

- xỉ lò cao đã được nghiền thành hạt dùng làm aluminosilicat kim loại kiềm thổ (chiếm 33,20% trọng lượng),

- zeolit 13x đã nung và silic oxit cực mịn dùng làm các vật liệu độn có hoạt tính (tổng lượng là 2% trọng lượng),

- natri florua dùng làm vật liệu tăng độ bền (chiếm khoảng 0,6% trọng lượng của GUHPC khô), và

- cát xây dùng làm cốt liệu mịn (chiếm 19,00% trọng lượng).

Sau đó, chất hoạt hoá được tạo ra bằng cách phối trộn:

- Na₂O (chiếm 2,57% trọng lượng) quy từ NaOH,

- K₂O (chiếm 6,28% trọng lượng) quy từ KOH,

- SiO₂ (chiếm 8,59% trọng lượng) là silic oxit cực mịn, và

- H₂O (chiếm 15,50% trọng lượng).

Vật liệu siêu dẻo hoá ADVA 140M của công ty Grace Constructions được thêm vào dung dịch hoạt hoá trước khi trộn với các thành phần khô đã được phối trộn từ trước. Tỷ lệ vật liệu siêu dẻo hoá là khoảng 1500 ml cho mỗi 100 kg sản phẩm khô.

Trong quá trình trộn các thành phần khô với dung dịch chất hoạt hoá, cũng đã quan sát thấy chính các giai đoạn đã nêu (giai đoạn hỗn hợp khô, giai đoạn hỗn hợp tựa như cát, giai đoạn hỗn hợp tựa như dạng hạt nhỏ, giai đoạn hỗn hợp tựa như bột nhão, và cuối cùng là giai đoạn tạo vữa lỏng). Thời gian có thể đạt được của giai đoạn cuối (tạo thành vữa lỏng) là khoảng 50 phút. Như đã trình bày ở Ví dụ 1, các mẫu được rót vào khuôn, được bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng, được dỡ khuôn sau khi bảo dưỡng 24 giờ, rồi được bảo quản ở nhiệt độ phòng. Sau khi bảo dưỡng trong thời gian 28 ngày, độ bền nén của các mẫu đo được là 21248 psi (146499860.48 N/m²).

Ví dụ 3:

Sử dụng chính quy trình đã mô tả trong Ví dụ 1, không thêm vật liệu siêu dẻo hoá, đã chế tạo thêm các mẫu bê tông GUHPC phụ (các mẫu từ 3 đến 9) để thử nghiệm ảnh hưởng của các chất làm tăng độ bền trong dung dịch chất hoạt hoá. Các chất làm tăng độ bền riêng biệt được đánh giá tác dụng ở các mẫu 2 đến 4 và 6 đến 9 là thiếc florua, natri florua, natri oxalat, natri sulfat và nhôm hydroxit. Mỗi lượng thêm vào chiếm khoảng 0,5% trọng lượng của vữa bê tông. Không có chất làm tăng độ bền nào được đưa vào mẫu 5. Đo độ bền nén sau khi bảo dưỡng 28 ngày. Tất cả các mẫu được đo đều có độ bền nén trên 20.000 psi (137895200 N/m²). Thành phần, tỷ lệ W/C, nồng độ của các hydroxit kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén của các mẫu phụ được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 4: Thành phần (% trọng lượng), tỷ lệ W/C, nồng độ mol của các hydroxit kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén (tính bằng psi, 1 psi = 6894,76 N/m²) của các mẫu GUHPC*

Mẫu	Các thành phần khô					Chất hoạt hoá				Tổng	W/C	(K,Na)OH M	psi
	MK	BFS	SFF	ZT	Cát	K ₂ O	SiO ₂	Na ₂ O	Nước				
#3	13,02	33,60	1,01	1,01	19,23	5,15	8,69	2,60	15,69	100,00	0,26	11,94	21049
#4	12,78	32,97	1,01	1,01	19,23	5,07	8,54	2,55	16,85	100,00	0,28	10,95	20693
#5	12,80	33,03	1,01	1,01	19,23	5,07	8,55	2,55	16,75	100,00	0,28	11,03	20617
#6	12,80	33,03	1,01	1,01	19,23	5,07	8,55	2,55	16,75	100,00	0,28	11,03	20144
#7	12,80	33,03	1,01	1,01	19,23	5,07	8,55	2,55	16,75	100,00	0,28	11,03	20989
#8	12,80	33,03	1,01	1,01	19,23	5,07	8,55	2,55	16,75	100,00	0,28	11,03	20281
#9	12,80	33,03	1,01	1,01	19,23	5,07	8,55	2,55	16,75	100,00	0,28	11,03	20700

*SFF = vật liệu độn silic oxit cực mịn; ZT = zeolit; Na₂O và K₂O được thêm vào là quy từ các hydroxit, còn SiO₂ được thêm vào là silic oxit cực mịn (chẳng hạn như sản phẩm phế thải trong quá trình sản xuất hợp kim Fe-Si), để pha chế các dung dịch chất hoạt hoá.

Ví dụ 4:

Sử dụng quy trình nêu ở Ví dụ 1, chế tạo thêm các mẫu bê tông GUHPC phụ (các mẫu 10-16). Độ bền nén của các mẫu này được đo sau khi bảo dưỡng trong thời gian 28 ngày. Khoảng 1,2% trọng lượng là các chất rắn có tác dụng siêu dẻo hoá (sản phẩm ADVA Cast 575 của hãng Grace Constructions) được thêm vào để giảm lượng nước cần thiết và để cải thiện khả năng chảy của các vữa bê tông. Các chất làm tăng độ bền bao gồm natri florua, natri oxalat, natri sulfat và nhôm hydroxit được đồng thời đưa vào với tỷ lệ khoảng 1,15% trọng lượng. Ở mẫu 13, sợi thép sản phẩm của công ty Bekaert Corporation, được thêm vào với tỷ lệ khoảng 2% trọng lượng (không được nêu trong Bảng 5) ở bước cuối cùng của việc trộn vữa bê tông để cải thiện tính dẻo. Thành phần, tỷ lệ W/C, nồng độ của các hydroxit kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén của các mẫu phụ này được trình bày ở Bảng 5.

Bảng 5: Thành phần (% trọng lượng), tỷ lệ W/C, nồng độ mol của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén (tính bằng psi, 1 psi = 6894,76 N/m²) của các mẫu bê tông GUHPC phụ*

Mẫu	Các thành phần khô						Dung dịch hoạt hoá				Tổng	W/C	(K,Na)OH M	psi
	MK	BFS	SFF	ZT	Cát	K ₂ O	SiO ₂	Na ₂ O	SP	Nước				
#10	10,46	27,00	2,00	1,00	29,97	4,66	6,98	2,15	1,20	14,58	100,00	0,30	10,97	21653
#11	9,67	24,95	2,00	1,00	34,97	4,32	6,46	2,00	1,20	13,44	100,00	0,30	10,90	21970
#12	8,87	22,89	2,00	1,00	39,97	3,95	5,92	1,84	1,20	12,35	100,00	0,31	10,74	21930
#13	8,44	21,77	1,97	0,99	39,46	4,17	5,64	1,76	1,18	12,65	100,00	0,33	10,65	20468
#14	11,26	29,07	2,00	1,00	24,98	5,01	7,51	2,30	1,20	15,67	100,00	0,30	11,09	20454
#15	12,06	31,12	2,00	1,00	19,98	5,38	8,05	2,46	1,20	16,76	100,00	0,29	11,22	20488
#16	7,17	18,50	1,97	0,98	49,23	3,20	4,78	1,51	1,18	11,48	100,00	0,36	9,17	19326

* SFF = vật liệu độn silic oxit cực mịn; ZT = zeolit; SP = các chất rắn có tác dụng siêu dẻo hoá; Na₂O và K₂O được thêm vào là quy từ các hydroxit tương ứng, còn SiO₂ được thêm vào là silic oxit cực mịn (chẳng hạn như sản phẩm phế thải trong sản xuất hợp kim Fe-Si), để pha chế các dung dịch chất hoạt hoá.

Ví dụ 5:

Sử dụng chính quy trình trình bày ở Ví dụ 1, đã chế tạo thêm các mẫu bê tông GUHPC phụ (các mẫu 17-33). Các mẫu này được bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng và độ bền nén của các mẫu đó được đo sau khi bảo dưỡng trong thời gian 28 ngày. Thạch anh đã nghiền (QZ) có kích thước hạt trung bình 15 μm sản phẩm của hãng U.S. Silica được sử dụng làm vật liệu độn có hoạt tính yếu để cải thiện mật độ lèn của các sản phẩm bê tông. Không thêm vật liệu siêu dẻo hoá. Trong các mẫu 18, 23, 29 và 32, có khoảng 2% trọng lượng là sợi thép của công ty Bekaert Corporation để cải thiện tính dẻo. Ở các mẫu 20-22, tỷ lệ mol Florua (F)/Si trong dung dịch chất hoạt hoá lần lượt được tăng từ 0,2 lên 0,3 và 0,4, để thử nghiệm ảnh hưởng của nồng độ florua đến cường độ của bê tông. Tương ứng, tỷ lệ natri florua đã được tăng từ 0,90, 1,35, lên 1,79% trọng lượng của vữa bê tông. Thành phần, tỷ lệ W/C, nồng độ của các hydroxit kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén của các mẫu bê tông phụ này được trình bày ở Bảng 6.

Bảng 6: Thành phần (% trọng lượng), tỷ lệ W/C, nồng độ mol của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén (tính bằng psi, 1 psi = 6894,76 N/m²) của các mẫu GUHPC phụ*

Mẫu	Các thành phần khô								Chất hoạt hoá				Tổng	(K,Na)OH M	W/C	psi
	MK	BFS	SFF	ZT	QZ	Cát	Sợi	K ₂ O	SiO ₂	Na ₂ O	Nước					
#17	8,84	22,81	2,98	-	6,95	34,75	-	3,96	5,91	1,79	12,03	100,00	11,98	0,30	24094	
#18	7,48	19,29	2,95	-	7,87	39,33	1,97	3,33	4,99	1,52	11,29	100,00	9,75	0,34	24961	
#19	9,63	24,85	3,00	-	5,99	29,97	-	4,33	6,44	1,94	13,84	100,00	10,59	0,31	20469	
#20	9,63	24,85	3,00	-	5,99	29,97	-	4,33	6,44	1,94	13,84	100,00	10,59	0,31	24212	
#21	9,63	24,85	3,00	-	5,99	29,97	-	4,33	6,44	1,94	13,84	100,00	10,59	0,31	23370	
#22	9,63	24,85	3,00	-	5,99	29,97	-	4,33	6,44	1,94	13,84	100,00	10,59	0,31	20910	
#23	7,28	18,79	1,96	0,98	7,84	39,19	1,96	3,47	4,87	1,53	12,13	100,00	9,39	0,36	24150	
#24	7,68	19,82	1,98	0,99	7,93	39,64	-	3,59	5,13	1,61	11,62	100,00	10,17	0,33	23459	
#25	10,26	26,47	1,99	0,99	4,97	24,86	-	4,64	6,86	2,25	16,71	100,00	9,87	0,34	21929	
#26	11,37	29,33	1,97	0,98	3,94	19,69	-	5,27	7,59	2,32	17,54	100,00	10,36	0,32	20657	
#27	6,65	17,15	1,97	0,98	8,86	44,28	-	3,18	4,45	1,41	11,08	100,00	9,27	0,37	26005	
#28	6,48	16,73	2,00	1,00	9,00	45,00	-	3,19	4,33	1,61	10,65	100,00	10,16	0,36	24698	

#29	5,95	15,36	2,00	1,00	9,00	45,00	2,00	3,00	3,97	1,67	11,05	100,00	9,65	0,41	23188
#30	5,70	14,71	1,97	0,98	9,84	49,19	-	2,76	3,81	1,23	9,82	100,00	8,89	0,39	21717
#31	8,39	21,64	1,99	0,99	6,96	34,80	-	3,82	5,61	1,86	13,94	100,00	9,53	0,36	22955
#32	5,12	13,21	2,00	-	10,00	50,00	2,00	2,95	3,49	1,24	10,00	100,00	9,12	0,43	21487
#33	4,29	11,07	1,95	1,00	10,71	53,53	-	2,39	2,86	1,13	11,10	100,00	7,03	0,57	21456

* SFF = vật liệu độn silic oxit cực mịn; ZT = zeolit; Sợi = sợi thép; QZ = thạch anh đã nghiền; Na₂O và K₂O được thêm vào là quy từ các hydroxit, còn SiO₂ được thêm vào là silic oxit cực mịn (chẳng hạn như sản phẩm phế thải trong sản xuất hợp kim Fe-Si), để pha chế các dung dịch chất hoạt hoá.

Ví dụ 6:

Sử dụng chính quy trình trình bày ở Ví dụ 1, đã chế tạo thêm các mẫu GUHPC phụ (các mẫu 34-42). Các mẫu này đã được bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng và độ bền nén của các mẫu đó được đo sau khi bảo dưỡng trong thời gian 28 ngày. Ở các mẫu này, cát xây được dùng làm cốt liệu mịn, còn silic oxit cực mịn và zeolit đồng thời được thêm vào để làm các vật liệu độn có hoạt tính. Các chất làm tăng độ bền bao gồm natri florua, natri oxalat, natri sulfat và nhôm hydroxit đồng thời được đưa vào với tỷ lệ khoảng 1,15% trọng lượng của vữa bê tông ở các mẫu 34-40. Natri florua và natri oxalat được thêm vào với tỷ lệ khoảng 0,8% trọng lượng của vữa bê tông ở các mẫu 41 và 42. Không thêm vật liệu siêu dẻo hoá. Ở mẫu 40, sợi thép của công ty Bekaert Corporation được thêm vào để cải thiện độ dẻo. Thành phần, tỷ lệ W/C, nồng độ của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén của các mẫu phụ này được trình bày ở Bảng 7.

Bảng 7: Thành phần (% trọng lượng), W/C, nồng độ mol của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén (tính bằng psi, 1 psi = 6894,76 N/m²) của các mẫu GUHPC phụ*

Mẫu	Các thành phần khô						Chất hoạt hoá				Tổng	(K,Na)OH M	W/ C	psi
	MK	BFS	SFF	ZT	Cát	Sợi	K ₂ O	SiO ₂	Na ₂ O	Nước				
#34	10,20	28,32	2,00	1,00	29,97	-	4,56	6,94	2,24	16,77	100,00	9,65	0,35	20667
#35	9,41	24,28	1,99	0,99	34,81	-	4,62	6,41	2,07	15,41	100,00	10,14	0,35	20672
#36	8,60	22,20	2,00	1,00	39,96	-	3,88	5,86	2,07	14,44	100,00	9,66	0,36	20746
#37	7,85	20,26	2,00	1,00	44,97	-	3,52	5,35	1,91	13,15	100,00	9,55	0,37	20775
#38	11,16	28,79	2,00	1,00	25,00	-	5,47	7,60	2,43	16,55	100,00	11,33	0,31	20414
#39	7,14	18,42	2,00	1,00	50,12	-	3,72	4,86	1,70	11,03	100,00	10,89	0,34	21432
#40	5,96	15,38	2,00	1,00	55,00	2,00	3,29	4,06	1,46	9,85	100,00	10,43	0,37	20400
#41	7,13	18,40	2,00	1,00	50,00	-	3,78	4,76	1,58	11,35	100,00	10,41	0,35	21296
#42	6,30	16,26	2,00	1,00	55,00	-	3,39	4,21	1,49	10,35	100,00	10,23	0,37	20475

* SFF = vật liệu độn silic oxit cực mịn; ZT = zeolit; Sợi = sợi thép; Na₂O và K₂O được thêm vào là quy từ hydroxit tương ứng, còn SiO₂ được thêm vào là silic oxit cực mịn (chẳng hạn như phế thải trong sản xuất hợp kim Fe-Si), để pha chế các dung dịch chất hoạt hoá.

Ví dụ 7:

Sử dụng chính quy trình trình bày ở Ví dụ 1, đã chế tạo thêm các mẫu GUHPC phụ (các mẫu 43-48). Các mẫu này đã được bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng và độ bền nén của các mẫu đó được đo sau khi bảo dưỡng trong thời gian 28 ngày. Ở các mẫu này, cát xây được sử dụng làm cốt liệu mịn, còn silic oxit cực mịn và/hoặc zeolit được sử dụng làm các vật liệu độn có hoạt tính. Các chất làm tăng độ bền bao gồm natri florua, natri oxalat, natri sulfat và nhôm hydroxit được đồng thời thêm vào với tỷ lệ khoảng 1,15% trọng lượng của vữa bê tông ở các mẫu 43-45. Natri florua và/hoặc natri oxalat được thêm vào làm các vật liệu tăng độ bền với tỷ lệ khoảng 0,7% trọng lượng của vữa bê tông ở các mẫu 46-48. Không thêm vật liệu siêu dẻo hoá. Tro bay loại F của hãng Boral Material Technologies được sử dụng làm vật liệu độn có hoạt tính. Thành phần, tỷ lệ W/C, nồng độ của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén của các mẫu phụ được trình bày ở Bảng 8.

Bảng 8: Thành phần (% trọng lượng), tỷ lệ W/C, nồng độ mol của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén (tính bằng psi, 1 psi = 6894,76 N/m²) của các mẫu GUHP phụ*

Mẫu	Các thành phần khô						Chất hoạt hoá				Tổng	(K,Na)OH M	W/ C	psi
	MK	BFS	SFF	ZT	FAF	Cát	K ₂ O	SiO ₂	Na ₂ O	Nước				
#43	4,61	11,90	2,00	-	10,00	55,00	2,50	3,14	1,70	9,15	100,00	10,26	0,44	22624
#44	6,26	16,15	2,00	1,00	9,00	45,00	3,07	4,34	1,73	11,45	100,00	9,63	0,40	22862
#45	7,16	18,49	2,00	1,00	8,00	40,00	3,52	4,97	1,91	12,95	100,00	9,77	0,39	22235
#46	4,77	12,32	2,96	-	8,89	54,36	2,65	3,09	1,46	9,52	100,00	9,50	0,45	21652
#47	4,68	12,08	2,00	-	10,00	55,00	2,58	3,19	1,72	8,75	100,00	10,88	0,42	19970
#48	4,39	11,33	2,00	2,00	5,00	60,00	2,46	2,99	1,59	8,25	100,00	10,60	0,43	23007

* SFF = vật liệu độn silic oxit cực mịn; ZT = zeolit; FFA = Tro bay loại F; Na₂O và K₂O được thêm vào quy từ các hydroxit, còn SiO₂ được thêm vào là silic oxit cực mịn (chẳng hạn như phế thải trong sản xuất hợp kim Fe-Si), để pha chế các dung dịch chất hoạt hoá

Ví dụ 8:

Sử dụng chính quy trình trình bày ở Ví dụ 1, đã chế tạo thêm các mẫu GUHPC phụ (các mẫu 49-52). Các mẫu này đã được bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng và độ bền nén của các mẫu đó được đo sau khi bảo dưỡng trong thời gian 28 ngày. Ở các mẫu này, cát xây được sử dụng làm cốt liệu mịn, còn silic oxit cực mịn và/hoặc zeolit được thêm vào làm vật liệu độn có hoạt tính. Thạch anh đã nghiền (QZ) có kích thước hạt trung bình 15 μm , sản phẩm của công ty U.S. Silica, được sử dụng làm vật liệu độn có hoạt tính yếu. Ngoài ra, cát thạch anh thô (#4 Q-ROK) của công ty U.S. Silica được thêm vào để cải thiện mật độ lèn. Các chất làm tăng độ bền được sử dụng ở các mẫu này gồm nhôm hydroxit, natri cacbonat, natri phosphat, natri sulfat, natri oxalat và florua. Tổng lượng thêm vào của các chất làm tăng độ bền chiếm khoảng 0,85% trọng lượng của vữa bê tông ở các mẫu 49 và 51. Một mình natri florua được thêm vào để làm vật liệu tăng độ bền chiếm khoảng 0,25% trọng lượng của vữa bê tông ở các mẫu 50 và 52. Không thêm vật liệu siêu dẻo hoá. Thành phần, tỷ lệ W/C, nồng độ của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén của các mẫu phụ được trình bày ở Bảng 9.

Bảng 9: Thành phần (% trọng lượng), tỷ lệ W/C, nồng độ mol của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén (tính bằng psi, 1 psi = 6894,76 N/m²) của các mẫu GUHP phụ*

Mẫu	Các thành phần khô						Chất hoạt hoá				Tổng	(K,Na)OH M	W/C	psi
	MK	BFS	SFF	CA	QZ	Cát	K ₂ O	SiO ₂	Na ₂ O	Nước				
#49	5,84	15,06	2,98	35,11	6,50	14,96	3,13	4,05	1,35	11,02	100,00	9,66	0,36	21892
#50	7,54	19,47	1,99	29,61	5,48	12,61	4,12	5,23	1,29	12,65	100,00	9,96	0,38	22699
#51	6,68	17,24	2,98	32,06	5,94	13,65	3,43	4,63	1,54	11,86	100,00	10,04	0,34	20169
#52	5,06	13,05	2,98	38,17	7,07	16,26	2,73	3,51	1,25	9,94	100,00	9,49	0,40	20561

* SFF = vật liệu độn silic oxit cực mịn; CA = cốt liệu thô hơn; QZ = thạch anh đã nghiền; Sợi = sợi thép; Na₂O và K₂O được thêm vào là quy từ hydroxit tương ứng, còn SiO₂ được thêm vào là silic oxit cực mịn (chẳng hạn như phế thải trong sản xuất hợp kim Fe-Si), để pha chế các dung dịch chất hoạt hoá

Ví dụ 9:

Sử dụng chính quy trình trình bày ở Ví dụ 1, đã chế tạo thêm các mẫu GUHPC phụ (các mẫu 53-56). Các mẫu này đã được bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng và độ bền nén của các mẫu đó được đo sau khi bảo dưỡng trong thời gian 28 ngày. Ở các mẫu này, cát xây được sử dụng làm cốt liệu mịn; còn silic oxit cực mịn được dùng làm vật liệu độn có hoạt tính kích thước hạt nhỏ hơn micron. Thạch anh đã nghiền (QZ) của công ty U.S. Silica được sử dụng làm vật liệu độn có hoạt tính yếu. Natri florua (NaF) chiếm tỷ lệ khoảng 0,25% trọng lượng của vữa bê tông được thêm vào làm vật liệu tăng độ bền. Không thêm vật liệu siêu dẻo hoá. Ở mẫu 55, sợi thép của công ty Bekaert Corporation được thêm vào để cải thiện độ dẻo. Thành phần, tỷ lệ W/C, nồng độ của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén của các mẫu phụ này được trình bày ở Bảng 10.

Bảng 10: Thành phần (% trọng lượng), tỷ lệ W/C, nồng độ mol của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén (tính bằng psi, 1 psi = 6894,76 N/m²) của các mẫu GUHP phụ*

Mẫu	Các thành phần khô						Chất hoạt hoá				Tổng	(K,Na)OH M	W/ C	psi
	MK	BFS	SFF	QZ	Cát	Sợi	K ₂ O	SiO ₂	Na ₂ O	Nước				
#53	6,51	16,80	2,00	9,00	45,00	-	3,34	4,52	1,48	11,35	100,00	9,51	0,38	25072
#54	5,55	14,32	2,00	10,00	50,00	-	2,97	3,85	1,27	10,05	100,00	9,20	0,40	25681
#55	4,91	12,67	2,93	9,76	48,78	1,95	2,83	3,41	1,21	11,56	100,00	7,76	0,51	20997
#56	5,88	15,17	2,94	13,71	41,14	-	3,43	4,11	1,44	12,19	100,00	9,02	0,44	22154

* SFF = vật liệu độn silic oxit cực mịn; QZ = thạch anh đã nghiền; Sợi = sợi thép; Na₂O và K₂O được thêm vào là quy từ các hydroxit tương ứng, còn SiO₂ được thêm vào là silic oxit cực mịn (chẳng hạn như phế thải trong sản xuất hợp kim Fe-Si), để pha chế các dung dịch chất hoạt hoá

Ví dụ 10:

Sử dụng chính quy trình trình bày ở Ví dụ 1, đã chế tạo thêm các mẫu GUHPC phụ (các mẫu 57-64). Các mẫu này đã được bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng và độ bền nén của các mẫu đó được đo sau khi bảo dưỡng trong thời gian 28 ngày. Ở các mẫu này, cát xây được sử dụng làm cốt liệu mịn; còn silic oxit cực mịn và/hoặc zeolit được thêm vào làm vật liệu độn có hoạt tính. Thạch anh đã nghiền (QZ) của công ty U.S. Silica được sử dụng làm vật liệu độn có hoạt tính yếu ở các mẫu 62 và 64. Các dung dịch chất hoạt hoá được điều chế bằng cách sử dụng phần lớn là natri hydroxit và silic oxit cực mịn phế thải công nghiệp của công ty Norchem Inc. Các chất làm tăng độ bền được sử dụng ở các mẫu này gồm nhôm hydroxit, natri cacbonat, natri phosphat, natri sulfat, natri oxalat và florua. Tổng lượng thêm vào của các chất làm tăng độ bền chiếm khoảng dưới 1,0% trọng lượng của vữa bê tông. Các vật liệu này được hoà tan trong nước trước khi hoà tan các hydroxit của kim loại kiềm. Không thêm vật liệu siêu dẻo hoá. Thành phần, tỷ lệ W/C, nồng độ của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén của các mẫu phụ này được trình bày ở Bảng 11.

Bảng 11: Thành phần (% trọng lượng), tỷ lệ W/C, nồng độ mol của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén (tính bằng psi, 1 psi = 6894,76 N/m²) của các mẫu GUHP phụ*

Mẫu	Các thành phần khô						Chất hoạt hoá				Tổng	(K,Na)OH M	W/ C	psi
	MK	BFS	SFF	ZT	QZ	Cát	K ₂ O	SiO ₂	Na ₂ O	Nước				
#57	9,93	25,62	1,98	0,99	-	34,66	0,13	6,63	5,19	14,86	100,00	10,84	0,31	23804
#58	10,56	27,26	1,97	0,98	-	29,51	0,39	7,06	5,53	16,74	100,00	10,69	0,34	20258
#59	8,99	23,21	1,96	0,98	-	39,25	0,60	6,01	4,72	14,28	100,00	10,82	0,35	20529
#60	11,34	29,26	1,96	0,98	-	24,55	0,58	7,58	5,93	17,82	100,00	11,05	0,34	20910
#61	12,10	31,22	1,96	0,98	-	19,65	0,57	8,09	6,30	19,13	100,00	10,98	0,34	19760
#62	5,67	14,64	1,97	-	9,87	49,35	0,42	3,83	3,49	10,76	100,00	10,13	0,43	22433
#63	7,55	19,49	2,00	-	-	50,00	-	5,05	4,16	11,75	100,00	10,32	0,36	21596
#64	6,52	16,82	1,96	-	8,80	44,02	0,31	4,35	3,86	13,37	100,00	9,06	0,45	20898

* SFF = vật liệu độn silic oxit cực mịn; QZ = thạch anh đã nghiền; Sợi = sợi thép; Na₂O và K₂O được thêm vào là quy từ hydroxit tương ứng, còn SiO₂ được thêm vào là silic oxit cực mịn (chẳng hạn như phế thải trong sản xuất hợp kim Fe-Si), để pha chế các dung dịch chất hoạt hoá.

Ví dụ 11:

Sử dụng quy trình tương tự như quy trình trình bày ở Ví dụ 1, đã chế tạo thêm các mẫu GUHPC phụ (các mẫu 65-67). Các mẫu này đã được bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng và độ bền nén của các mẫu đó được đo sau khi bảo dưỡng trong thời gian 28 ngày. Ở các mẫu này, cát xây được sử dụng làm cốt liệu mịn; còn silic oxit cực mịn của công ty Norchem Inc. được sử dụng làm vật liệu độn kích thước hạt nhỏ hơn micron có hoạt tính. Thạch anh đã nghiền (QZ) của công ty U.S. Silica được sử dụng làm vật liệu độn có hoạt tính yếu ở các mẫu 65 và 66. Tro bay loại F của công ty Boral Material Technologies được sử dụng để thay thế bột nghiền thạch anh ở mẫu 67. Các dung dịch chất hoạt hoá được điều chế bằng cách sử dụng dung dịch natri silicat sẵn có trên thị trường (dung dịch natri silicat Ru™ của hãng PQ Inc.) thay cho việc hoà tan silic oxit cực mịn trong dung dịch hydroxit của kim loại kiềm. Natri florua (NaF) với tỷ lệ khoảng 0,25% trọng lượng của vữa bê tông được thêm vào làm vật liệu tăng độ bền. Không thêm vật liệu siêu dẻo hoá. Thành phần, tỷ lệ W/C, nồng độ của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén của các mẫu phụ được trình bày ở Bảng 12.

Bảng 12: Thành phần (% trọng lượng), tỷ lệ W/C, nồng độ mol của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén (tính bằng psi, 1 psi = 6894,76 N/m²) của các mẫu GUHP phụ*

Mẫu	Các thành phần khô						Chất hoạt hoá				Tổng	(K,Na)OH M	W/ C	psi
	MK	BFS	SFF	QZ	FAF	Cát	K ₂ O	SiO ₂	Na ₂ O	Nước				
#65	6,77	17,46	1,98	8,89	-	44,46	0,41	4,52	3,90	11,60	100,00	10,60	0,38	22485
#66	5,51	14,22	1,99	9,95	-	49,74	0,13	3,68	3,70	11,08	100,00	9,90	0,45	20622
#67	5,58	14,41	1,99	-	9,93	49,64	0,23	3,73	3,63	10,87	100,00	10,07	0,44	21448

* SFF = vật liệu độn silic oxit cực mịn; QZ = thạch anh đã nghiền; FFA = Tro bay loại F

Ví dụ 12:

Sử dụng chính quy trình trình bày ở Ví dụ 1, đã chế tạo thêm các mẫu GUHPC phụ (các mẫu 68-70). Các mẫu này đã được bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng và độ bền nén của các mẫu đó được đo sau khi bảo dưỡng trong thời gian 28 ngày. Ở các mẫu này, cát xây được sử dụng làm cốt liệu mịn; còn silic oxit cực mịn của công ty Norchem Inc. cùng với tro bay loại F của công ty Boral Material Technologies được sử dụng làm vật liệu độn có khả năng phản ứng ở các mẫu 68 và 70. Silic oxit cực mịn cùng với thạch anh đã nghiền (QZ) của công ty U.S. Silica được sử dụng làm vật liệu độn có hoạt tính ở mẫu 69. Các dung dịch chất hoạt hoá được điều chế bằng cách hoà tan silic oxit cực mịn của công ty Norchem Inc. trong dung dịch hydroxit của kim loại kiềm có tỷ lệ theo khối lượng K_2O/Na_2O khoảng 0,8. Natri florua (NaF) với tỷ lệ khoảng 0,25% trọng lượng của vữa bê tông được thêm vào làm vật liệu tăng độ bền. Không thêm vật liệu siêu dẻo hoá. Thành phần, tỷ lệ W/C, nồng độ của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén của các mẫu phụ này được trình bày ở Bảng 13.

Bảng 13: Thành phần (% tính theo trọng lượng), tỷ lệ W/C, nồng độ mol của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén (tính bằng psi, 1 psi = 6894,76 N/m²) của các mẫu GUHP phụ*

Mẫu	Các thành phần khô							Chất hoạt hoá				Tổng	(K,Na)OH M	W/C	psi
	MK	BFS	SFF	ZT	QZ	FA F	Cát	K ₂ O	SiO ₂	Na ₂ O	Nước				
#68	6,31	16,29	2,98	0,99	-	8,95	44,73	2,05	4,04	2,63	11,03	100,00	10,43	0,39	22653
#69	5,48	14,15	2,95	-	9,82	-	49,09	2,25	3,37	2,33	10,56	100,00	10,27	0,43	24582
#70	5,46	14,10	2,96	-	-	9,88	49,39	2,02	3,51	2,45	10,23	100,00	10,47	0,42	23307

* SFF = vật liệu độn silic oxit cực mịn; ZT = zeolit; QZ = thạch anh đã nghiền; FAF = Tro bay loại F; Na₂O và K₂O được thêm vào là quy từ hydroxit tương ứng, còn SiO₂ được thêm vào là silic oxit cực mịn (chẳng hạn như là phế thải trong sản xuất hợp kim Fe-Si), để pha chế các dung dịch chất hoạt hoá

Ví dụ 13:

Sử dụng quy trình tương tự như quy trình trình bày ở Ví dụ 1, đã chế tạo thêm các mẫu GUHPC phụ (các mẫu 71-88). Việc phối trộn được tiến hành bằng máy trộn vữa bê tông có tốc độ cao (máy trộn K-Lab của hãng Lancaster Products). Các mẫu này đã được bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng và độ bền nén của các mẫu đó được đo sau khi bảo dưỡng trong thời gian 28 ngày. Ở các mẫu này, cát xây được sử dụng làm cốt liệu mịn; còn silic oxit cực mịn của hãng Norchem Inc. cùng với thạch anh đã nghiền (QZ) của công ty U.S. Silica được sử dụng ở các mẫu 71-79. Silic oxit cực mịn cùng với tro bay loại F của công ty Boral Material Technologies được sử dụng làm vật liệu độn có hoạt tính ở các mẫu 80 đến 86. Zeolit được sử dụng làm vật liệu độn có hoạt tính ở các mẫu 87 và 88. Các dung dịch chất hoạt hoá được pha chế bằng cách hoà tan silic oxit cực mịn của hãng Norchem Inc. trong dung dịch hydroxit của kim loại kiềm có tỷ lệ khối lượng K_2O/Na_2O khoảng từ 2 đến 3. Thép sợi của công ty Bekaert Corporation được thêm vào để cải thiện độ dẻo ở các mẫu 71, 73, 76, 81, 85 và 87. Natri florua (NaF) với tỷ lệ khoảng 0,25% trọng lượng của vữa bê tông được thêm vào làm vật liệu tăng độ bền. Không thêm vật liệu siêu dẻo hoá. Thành phần, tỷ lệ W/C, nồng độ của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén của các mẫu phụ này được trình bày ở Bảng 14.

Bảng 14: Thành phần (% trọng lượng), tỷ lệ W/C, nồng độ mol của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén (tính bằng psi, 1 psi = 6894,76 N/m²) của các mẫu GUHP phụ*

Mẫu	Các thành phần khô							Chất hoạt hoá				Tổng	(K,Na)O H M	W/C	psi
	MK	BFS	SFF	QZ	FAF	Cát	Sợi	K ₂ O	SiO ₂	Na ₂ O	Nước				
#71	6,37	16,43	1,95	8,78	-	43,88	2,50	3,38	4,41	1,44	10,87	100,00	9,90	0,37	23342
#72	6,56	16,92	2,01	9,04	-	45,20	-	3,49	4,54	1,49	10,75	100,00	10,27	0,36	25686
#73	6,39	16,50	1,96	8,81	-	44,07	2,51	3,40	4,43	1,45	10,48	100,00	10,27	0,36	25918
#74	5,57	14,37	2,00	10,00	-	50,00	-	3,00	3,86	1,34	9,85	100,00	9,64	0,39	21200
#75	5,64	14,55	2,00	10,00	-	50,00	-	3,08	3,92	1,36	9,45	100,00	10,21	0,37	24269
#76	5,50	14,19	1,95	9,75	-	48,75	2,50	3,00	3,82	1,33	9,21	100,00	10,21	0,34	24652
#77	4,63	11,94	2,00	11,00	-	55,00	-	2,55	3,09	1,14	8,65	100,00	9,08	0,43	20638
#78	4,62	11,92	2,00	11,00	-	55,00	-	2,55	3,09	1,18	8,65	100,00	9,19	0,43	20700
#79	4,93	19,77	2,00	9,00		45,00		2,80	4,02	1,73	10,75	100,00	9,71	0,36	21132
#80	4,72	12,17	2,00	-	10,00	55,00	-	2,55	3,21	1,60	8,75	100,00	10,46	0,42	20343
#81	4,60	11,86	1,95	-	9,75	53,62	2,50	2,49	3,13	1,56	8,53	100,00	10,46	0,42	21285

#82	4,70	12,13	2,00	-	10,02	55,12	-	2,92	3,21	1,35	8,55	100,00	10,64	0,41	22952
#83	4,58	11,82	1,95	-	9,77	53,74	2,51	2,85	3,12	1,32	8,33	100,00	10,64	0,41	23807
#84	4,84	12,48	2,02	-	10,08	55,46	-	2,83	3,30	1,41	7,59	100,00	11,78	0,36	27415
#85	4,71	12,16	1,97	-	9,83	54,06	2,52	2,76	3,21	1,38	7,40	100,00	11,78	0,35	23369
#86	4,80	12,37	2,00	-	10,00	55,00	-	2,81	3,27	1,40	8,35	100,00	11,30	0,38	20816
#87	6,18	15,95	1,95	-	0,97**	53,62	2,50	3,36	4,13	1,42	9,90	100,00	10,45	0,36	22688
#88	6,34	16,36	2,00	-	1,00**	55,00	-	3,45	4,24	1,46	10,15	100,00	10,45	0,36	21532

* SFF = vật liệu độn silic oxit cực mịn; QZ = thạch anh đã nghiền; FAF = tro bay loại F; Na₂O và K₂O được thêm vào là quy từ các hydroxit, còn SiO₂ được thêm vào là silic oxit cực mịn (chẳng hạn như phế thải trong sản xuất hợp kim Fe-Si), để pha chế các dung dịch chất hoạt hóa.

** Zeolit

Ví dụ 14:

Sử dụng chính quy trình trình bày ở các ví dụ 13, đã chế tạo thêm các mẫu GUHPC phụ (các mẫu 89-92). Việc phối trộn được tiến hành nhờ máy trộn vữa bê tông có tốc độ cao (máy trộn vữa bê tông K-Lab của hãng Lancaster Products). Thời gian đông cứng ban đầu được xác định bằng hệ thống Vicat. Các mẫu này được bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng và các độ bền nén của các mẫu đó được đo sau khi bảo dưỡng trong thời gian 3 giờ, 6 giờ, 1 ngày, 3 ngày, 7 ngày, 15 ngày, 21 ngày và 28 ngày. Ở các mẫu này, cát xây được sử dụng làm cốt liệu mịn; còn silic oxit cực mịn của công ty Norchem Inc. cùng với tro bay loại F của công ty Boral Material Technologies được sử dụng làm vật liệu độn có hoạt tính ở mẫu 89. Silic oxit cực mịn cùng với thạch anh đã nghiền (QZ) của công ty U.S. Silica được sử dụng làm vật liệu độn có hoạt tính ở các mẫu 90-92. Các dung dịch chất hoạt hoá được điều chế bằng cách hoà tan silic oxit cực mịn của hãng Norchem Inc. trong dung dịch hydroxit của kim loại kiềm có các tỷ lệ khối lượng K_2O/N_2O khoảng 2,2. Không thêm vật liệu siêu dẻo hoá. Natri florua (NaF) được thêm vào để làm vật liệu tăng độ bền. Thành phần, tỷ lệ W/C và nồng độ của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá của các mẫu phụ này được trình bày trong Bảng 15. Độ bền nén của các mẫu 89-92 tại các thời gian nêu trên được trình bày trong Bảng 16. Biểu đồ biểu diễn các độ bền nén đó tương quan với thời gian bảo dưỡng được trình bày ở Fig.1.

Bảng 15: Thành phần (% trọng lượng), tỷ lệ W/C, nồng độ mol của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén (tính bằng psi, 1 psi = 6894,76 N/m²) của các mẫu GUHP phụ*

Mẫu	Các thành phần khô						Chất hoạt hoá				Tổng	(K,Na)OH M	W/ C
	MK	BFS	SFF	QZ	FAF	Cát	K ₂ O	SiO ₂	Na ₂ O	Nước			
#89	4,82	12,43	2,01	-	10,04	55,24	2,82	3,28	1,41	7,94	100,00	11,30	0,38
#90	6,56	16,92	2,01	9,04	-	45,20	3,49	4,54	1,49	10,75	100,00	10,27	0,36
#91	5,64	14,55	2,00	10,00	-	50,00	3,08	3,92	1,36	9,45	100,00	9,96	0,37
#91	4,62	11,92	2,00	11,00	-	55,00	2,55	3,09	1,18	8,65	100,00	9,19	0,43

* SFF = vật liệu độn silic oxit cực mịn; QZ = thạch anh đã nghiền; FAF = tro bay loại F; Na₂O và K₂O được thêm vào là quy từ các hydroxit, còn SiO₂ được thêm vào là

silic oxit cực mịn (chẳng hạn như phế thải trong sản xuất hợp kim Fe-Si), để pha chế các dung dịch chất hoạt hoá.

Bảng 16: Độ bền nén (tính bằng psi, 1 psi = 6894,76 N/m²) của các mẫu được bảo dưỡng trong các khoảng thời gian khác nhau

Mẫu	Thời gian đông cứng ban đầu /cuối cùng	Độ bền nén (psi)							
		3 giờ	6 giờ	24 giờ	3 ngày	7 ngày	15 ngày	21 ngày	28 ngày
#89	25/35 phút	1095	2339	7026	13794	17360	21361	20949	23633
#90	63/75 phút	1512	2846	7518	15278	19351	24268	22918	27211
#91	50/57 phút	1312	2567	5780	14435	19221	25390	29104	25847
#91	42/68 phút	1257	2016	6043	13823	17972	22080	23524	23174

Ví dụ 15:

Sử dụng chính quy trình trình bày ở Ví dụ 13, đã chế tạo thêm các mẫu GUHPC phụ (các mẫu 93-98). Việc trộn vữa được thực hiện bằng máy trộn vữa bê tông tốc độ cao (máy trộn vữa bê tông K-Lab của hãng Lancaster Products). Các mẫu này đã được bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng và độ bền nén của các mẫu đó được đo sau khi bảo dưỡng trong thời gian 3 giờ, 6 giờ, 1 ngày, 3 ngày, 7 ngày, 15 ngày, 21 ngày và 28 ngày. Ở các mẫu này, cát xây được sử dụng làm cốt liệu mịn; còn silic oxit cực mịn của hãng Norchem Inc. cùng với tro bay loại F có hàm lượng CaO thấp của nhà máy điện Brandon Shores Power Stations, Baltimore, Maryland (Separation Technologies) được sử dụng làm vật liệu độn có hoạt tính ở các mẫu 93, 95, 97 và 99. Silic oxit cực mịn của hãng Norchem Inc. cùng với tro bay loại F có hàm lượng CaO cao của nhà máy điện Limestone Power Station, Jewett, Texas (Headwater Resources) được sử dụng làm vật liệu độn có hoạt tính ở các mẫu 94, 96, 98 và 100. Các dung dịch chất hoạt hoá được pha chế bằng cách hoà tan silic oxit cực mịn của hãng Norchem Inc. trong dung dịch hydroxit của kim loại kiềm có các tỷ lệ khối lượng K₂O/Na₂O khoảng 2,2. Không thêm vật liệu siêu dẻo hoá. Natri florua (NaF) với tỷ lệ khoảng 0,25% trọng lượng của vữa bê tông được thêm vào làm vật liệu tăng độ bền. Thành phần, tỷ lệ W/C và nồng độ của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá của các mẫu phụ này được trình bày trong Bảng 17. Các độ bền nén của các mẫu 93-98 vào các thời gian đông cứng nêu trên được trình bày trong Bảng 18.

Bảng 17: Thành phần (% trọng lượng), tỷ lệ W/C, nồng độ mol của các hydroxit của kim loại kiềm trong dung dịch chất hoạt hoá và độ bền nén (tính bằng psi, 1 psi = 6894,76 N/m²) của các mẫu GUHP phụ*

Mẫu	Các thành phần khô					Chất hoạt hoá				Tổng	(K ₂ Na)OH M	W/C	Kiểu FAF
	MK	BFS	SFF	FAF	Cát	K ₂ O	SiO ₂	Na ₂ O	Nước				
#93	5,64	14,55	2,00	10,00	50,00	3,08	3,92	1,36	9,45	100,00	10,21	0,38	Hàm lượng CaO thấp
#94	5,64	14,55	2,00	10,00	50,00	3,08	3,92	1,36	9,45	100,00	10,21	0,38	Hàm lượng CaO cao
#95	4,62	11,92	2,00	11,00	55,00	2,55	3,09	1,18	8,65	100,00	9,19	0,43	Hàm lượng CaO thấp
#96	4,62	11,92	2,00	11,00	55,00	2,55	3,09	1,18	8,65	100,00	9,19	0,43	Hàm lượng CaO cao
#97	4,80	12,37	2,00	10,00	55,00	2,81	3,27	1,40	8,35	100,00	10,78	0,38	Hàm lượng CaO thấp
#98	4,80	12,37	2,00	10,00	55,00	2,81	3,27	1,40	8,35	100,00	10,78	0,38	Hàm lượng CaO cao
#99	6,53	16,85	2,00	3,47	4,52	1,48	45,00	9,00	11,15	100,00	9,90	0,36	Hàm lượng CaO thấp
#100	6,53	16,85	2,00	3,47	4,52	1,48	45,00	9,00	11,15	100,00	9,90	0,36	Hàm lượng CaO cao

* SFF = vật liệu độn silic oxit cực mịn; FAF = tro bay loại F; Na₂O và K₂O được thêm vào là quy từ hydroxit tương ứng, còn SiO₂ được thêm vào là silic oxit cực mịn (chẳng hạn như phế thải trong sản xuất hợp kim Fe-Si), để pha chế các dung dịch chất hoạt hoá.

Bảng 18: Độ bền nén (tính bằng psi, 1 psi = 6894,76 N/m²) của các mẫu được bảo dưỡng trong các khoảng thời gian khác nhau

Mẫu	Độ bền nén (psi)							
	3 giờ	6 giờ	24 giờ	3 ngày	7 ngày	15 ngày	21 ngày	28 ngày
#93	2497	5793	10468	16210	19322	24645	21210	22506
#94	2107	4403	10875	15940	19357	20634	21896	21982
#95	1430	2098	6663	12054	15287	19263	20143	Kxd
#96	1233	2452	7263	12625	16905	20968	Kxd	Kxd
#97	1313	3207	9355	13420	16932	18048	20901	20873
#98	1666	3609	9179	-	18621	20589	20649	Kxd
#99	3243	6272	7795	12772	15381	20950	Kxd	Kxd
#100	2445	3453	8744	12625	18931	20968	Kxd	Kxd

Kxd: không được xác định

Nội dung của các bài báo, các bằng sáng chế và các đơn yêu cầu cấp sáng chế, cũng như tất cả các tài liệu khác và các thông tin thu được bằng kỹ thuật điện tử được nêu ra hoặc trích dẫn trong sáng chế đã được kết hợp vào đây theo lối viện dẫn, tới mức độ dường như cho thấy từng xuất bản phẩm được nêu ra cụ thể và từng tài liệu được đưa vào theo lối viện dẫn. Các tác giả của sáng chế bảo lưu quyền hạn được cụ thể đưa vào đơn sáng chế này bất kỳ tài liệu nào hoặc tất cả các tài liệu và thông tin từ bất kỳ bài báo, patent, đơn yêu cầu cấp patent đã nêu, hoặc các tài liệu ẩn loát và các tài liệu điện tử khác.

Các phương pháp trình bày trong sáng chế theo lối minh họa có thể được thực hành một cách thích hợp, nhưng phải không được có bất kỳ yếu tố hoặc các yếu tố nào, bất kỳ giới hạn hoặc các giới hạn nào không được trình bày cụ thể trong sáng chế. Ví dụ như, các thuật ngữ “bao gồm”, “gồm có”, “chứa”, v.v., có ý nghĩa bao quát rộng và không giới hạn. Hơn nữa, các thuật ngữ và các từ ngữ dùng trong sáng chế đã được sử dụng làm thuật ngữ mô tả và không giới hạn, cũng như không có ý định sử dụng

các thuật ngữ và từ ngữ đó để loại trừ bất kỳ điểm tương đương nào của các đặc điểm được nêu ra và được mô tả, hoặc loại trừ các bộ phận trong đó. Cần phải nhận thấy là, có thể có các cải biến khác nhau nằm trong khuôn khổ được yêu cầu bảo hộ của sáng chế. Như vậy, cần phải hiểu rằng, mặc dù sáng chế đã được mô tả một cách cụ thể bằng các phương án ưu tiên và các đặc điểm Tuỳ ý, song các cải biến và các thay đổi đối với sáng chế tuy đã được mô tả cụ thể, minh hoạ bằng các phương án nêu trên, vẫn có thể được vận dụng có sự sắp xếp lại bởi người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này; các cải biến và thay đổi như vậy vẫn được xem là thuộc phạm vi của sáng chế.

Sáng chế đã được mô tả trên bình diện rộng và theo từng loại vật liệu bê tông. Trong việc mô tả các loại vật liệu bê tông, mỗi nhóm trong các nhóm vật liệu hẹp hơn và trong các nhóm nhỏ thuộc mỗi loại vật liệu bê tông cũng tạo thành một bộ phận trong việc trình bày các phương pháp của sáng chế. Điều này bao gồm việc mô tả các phương pháp theo từng loại vật liệu bê tông, với điều kiện là, hoặc, không hạn chế việc loại bỏ bất kỳ đối tượng nào khỏi loại vật liệu đó, không kể vật liệu bị cắt xén này có được nêu ra cụ thể hay không.

Các phương án khác được nêu trong yêu cầu bảo hộ dưới đây. Ngoài ra, trong trường hợp các đặc điểm hoặc các hướng của các phương pháp được mô tả bằng các nhóm Markush, thì người có hiểu biết trung bình trong lĩnh vực kỹ thuật này sẽ nhận thấy rằng do đó chúng cũng được mô tả bằng bất kỳ phần tử riêng lẻ nào hoặc bất kỳ phân nhóm nào của các phần tử trong nhóm Markush.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Vữa bê tông có cường độ siêu cao chứa chế phẩm geopolymer (vữa GUHPC) bao gồm:

a) vật liệu kết dính là một hoặc nhiều chất được chọn từ nhóm chỉ bao gồm aluminosilicat có hoạt tính và aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính;

b) chất hoạt hóa có tính kiềm là dung dịch chứa nước của hydroxit kim loại và silicat kim loại; và

c) một hoặc nhiều cốt liệu có kích thước hạt nằm trong khoảng từ 0,075 đến 10 mm; và

(d) một hoặc nhiều vật liệu độn có kích thước hạt nằm trong khoảng từ 0,05 đến 75 μm ,

trong đó mật độ lèn của tất cả các thành phần rắn trong vữa GUHPC thấp nhất là 0,5 (tính theo thể tích/thể tích), và vật liệu kết dính, cốt liệu và vật liệu độn có các thành phần hóa học giống hoặc khác nhau.

2. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó vật liệu kết dính chiếm khoảng từ 10 đến 50% trọng lượng của vữa GUHPC.

3. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó vật liệu kết dính là một hoặc nhiều aluminosilicat có hoạt tính chiếm khoảng từ 0 đến 30% trọng lượng của vữa GUHPC.

4. Vữa GUHPC theo điểm 3, trong đó một hoặc nhiều aluminosilicat có hoạt tính được chọn từ nhóm chỉ bao gồm meta cao lanh, thủy tinh aluminosilicat có hoạt tính và tro bay loại F cực mịn.

5. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó vật liệu kết dính là một hoặc nhiều aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính chiếm khoảng từ 2 đến 40% trọng lượng của vữa GUHPC.

6. Vữa GUHPC theo điểm 5, trong đó một hoặc nhiều aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính được chọn từ nhóm chỉ bao gồm xỉ lò cao đã nghiền thành hạt, canxi aluminosilicat dạng thủy tinh (VCAS), tro bay loại C và bụi lò nung xi măng dùng sản xuất bê tông.

7. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó vật liệu kết dính là aluminosilicat có hoạt tính

và aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính.

8. Vữa GUHPC theo điểm 7, trong đó khối lượng của aluminosilicat có hoạt tính gấp khoảng 10 lần so với khối lượng của aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính.

9. Vữa GUHPC theo điểm 7, trong đó aluminosilicat có hoạt tính chiếm khoảng từ 2 đến 15% trọng lượng của vữa GUHPC.

10. Vữa GUHPC theo điểm 7, trong đó khối lượng của aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính gấp khoảng 20 lần so với khối lượng của aluminosilicat có hoạt tính.

11. Vữa GUHPC theo điểm 7, trong đó aluminosilicat kim loại kiềm thổ có hoạt tính chiếm khoảng từ 8 đến 25% trọng lượng của vữa GUHPC.

12. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó vữa GUHPC này còn chứa thêm một hoặc nhiều vật liệu độn chiếm tới khoảng 35% trọng lượng của vữa GUHPC.

13. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó một hoặc nhiều vật liệu độn có kích thước hạt nằm trong khoảng từ 1 đến 75 μ m và được chọn từ nhóm chỉ bao gồm thạch anh đã nghiền, tro bay loại F, tro bay loại C, zeolit, thủy tinh đã nghiền, meta cao lanh, xỉ lò cao đã nghiền thành hạt, xỉ lò cao cực mịn và tro bay cực mịn.

14. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó một hoặc nhiều vật liệu độn có kích thước hạt khoảng từ 0,05 đến 1 μ m, và được chọn từ nhóm chỉ bao gồm silic oxit cực mịn, silic oxit kết tủa, canxi cacbonat cực mịn, nhôm oxit có kích thước hạt tính bằng micron và các hạt có kích thước nhỏ hơn micron của các oxit kim loại.

15. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó một hoặc nhiều cốt liệu chiếm tới khoảng 75% trọng lượng của vữa GUHPC.

16. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó một hoặc nhiều cốt liệu là một hoặc nhiều cốt liệu thô có kích thước hạt khoảng từ 0,075 đến 10 mm được chọn từ nhóm chỉ bao gồm cát thạch anh, granit, bazan, gơnai, xỉ lò cao đã nghiền thành hạt, đá vôi và cát boxit đã nung.

17. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó một hoặc nhiều cốt liệu là một hoặc nhiều cốt liệu mịn có kích thước hạt khoảng từ 0,075 đến 0,75 mm.

18. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó dung dịch hoạt hoá có tính kiềm chiếm khoảng từ 10 đến 40% trọng lượng của vữa GUHPC.

19. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó hydroxit kim loại là natri hydroxit, kali hydroxit hoặc gồm cả hai hydroxit này.
20. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó hydroxit kim loại chiếm khoảng từ 2 đến 10% trọng lượng dưới dạng M_2O trong vữa GUHPC.
21. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó silicat kim loại là natri silicat, kali silicat hoặc gồm cả hai silicat này.
22. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó silicat kim loại chiếm khoảng từ 2 đến 10% trọng lượng dưới dạng SiO_2 trong vữa GUHPC.
23. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó dung dịch hoạt hoá có tính kiềm là nước chiếm tỷ lệ khoảng từ 4 đến 25% trọng lượng của vữa GUHPC.
24. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó vữa GUHPC này còn chứa thêm một hoặc nhiều vật liệu sợi, chiếm tới khoảng 15% trọng lượng của vữa GUHPC.
25. Vữa GUHPC theo điểm 24, trong đó một hoặc nhiều vật liệu sợi được chọn từ nhóm chỉ bao gồm sợi hữu cơ, sợi thủy tinh, sợi vô cơ, sợi bazan, sợi cacbon, sợi nano và sợi kim loại.
26. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó vữa GUHPC này còn chứa thêm một hoặc nhiều chất làm tăng độ bền, chiếm tới khoảng 2% trọng lượng của vữa GUHPC.
27. Vữa GUHPC theo điểm 26, trong đó một hoặc nhiều chất làm tăng độ bền được chọn từ nhóm chỉ bao gồm nhôm hydroxit, cacbonat của kim loại kiềm, phosphat của kim loại kiềm, sulfat của kim loại kiềm, oxalat của kim loại kiềm và florua của kim loại kiềm.
28. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó vữa GUHPC này còn chứa thêm chất rắn có tác dụng siêu dẻo hoá bê tông, chiếm tới khoảng 5% trọng lượng của vữa GUHPC.
29. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó vữa GUHPC này còn chứa thêm chất làm chậm sự đông cứng bê tông, chiếm tới khoảng 5% trọng lượng của vữa GUHPC.
30. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó mật độ lèn của tất cả các thành phần rắn trong vữa GUHPC thấp nhất là 0,6 (tính theo thể tích/thể tích)
31. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó vữa GUHPC này tạo ra sản phẩm bê tông có độ bền nén sau thời gian bảo dưỡng 28 ngày ít nhất là khoảng 10000 psi (68947600

N/m²).

32. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó vữa GUHPC này tạo ra sản phẩm bê tông có độ bền nén sau thời gian bảo dưỡng 28 ngày ít nhất là khoảng 20000 psi (137895200 N/m²).

33. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó vữa GUHPC này tạo ra sản phẩm bê tông có độ bền nén sau thời gian bảo dưỡng 28 ngày ít nhất là khoảng 25000 psi (172369000 N/m²).

34. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó vữa GUHPC này tạo ra sản phẩm bê tông có thời gian đông cứng nằm trong khoảng từ 30 phút đến 3 giờ.

35. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó vữa GUHPC này tạo ra sản phẩm bê tông có nhiệt độ đông cứng nằm trong khoảng từ 0°C đến 150°C.

36. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó dung dịch hoạt hóa có nồng độ mol của hydroxit kim loại kiềm nằm trong khoảng từ 5 đến 15.

37. Vữa GUHPC theo điểm 1, trong đó vữa GUHPC này có tỷ lệ khối lượng giữa nước và các chất rắn geopolymer (W/C) nằm trong khoảng từ 0,12 đến 0,65.

Fig.1