



NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ SIÊU CAO ÁP DỤNG CHO ĐỒNG NAI

ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE PROPERTIES, APPLICATION IN DONG NAI

Lê Hữu Thọ*¹

¹Khoa Kỹ thuật Công trình, Trường Đại học Lạc Hồng, Đồng Nai, Việt Nam
lethobktana@gmail.com

TÓM TẮT. Công nghệ bê tông mới tạo ra những loại bê tông có cường độ chịu lực cao hơn bê tông thường: có cường độ chịu nén, chịu kéo khi uốn tốt hơn luôn là vấn đề thiết thực đáp ứng nhu cầu phát triển công trình xây dựng, hạ tầng kỹ thuật nhằm nâng cao khả năng chịu lực và độ bền vững của kết cấu công trình. Bài báo so sánh ưu điểm của bê tông cường độ siêu cao so với bê tông thường truyền thống. Thành phần cấp phối, tính năng của bê tông cường độ cao và khả năng áp dụng tại Đồng Nai

TỪ KHOÁ. bê tông cường độ siêu cao, thành phần cấp phối chế tạo bê tông cường độ cao

ABSTRACT. This paper introduces and compare Normal concrete and ultra high strength concrete about compressive strength and how to make it in Dong Nai. The compressive strength of ultra high strength concrete is 150 – 200 Mpa. Mechanical properties and applicability of the concrete with the compressive strength up to 150 Mpa in bridge structures are specially paid attentions. Ultra-High Performance Concrete (UHPC), also known as reactive powder concrete (RPC), is a high-Strength, ductile material formulated by combining potland cement, silica fume, quartz flour, fine silica sand, hith-range water reducer, water, and steel or organic fibers. The material provides compressive strengths up to 29,000 pounds per square inch (psi) and flexural strengths up to 7,000 psi.

KEYWORDS. ultra-high performance concrete, aggregate to make ultra high strength concrete

1. GIỚI THIỆU

1.1 Mở đầu

Nghiên cứu về bê tông, thiết kế thành phần cấp phối để tạo ra được loại bê tông có cường độ tối ưu hơn bê tông thường, có cường độ chịu nén, chịu kéo khi uốn tốt hơn luôn là đề tài thiết thực đối với sự phát triển xây dựng của cả thế giới nhằm nâng cao khả năng chịu lực và độ bền vững của kết cấu công trình.

Trên thế giới hiện nay có rất nhiều nước đang nghiên cứu và phát triển bê tông cường độ cao để ứng dụng vào các kết cấu công trình cầu, đường, các nhà cao tầng

Chính vì thế bài báo trình bày tổng quan về bê tông cường độ cao: thành phần cấp phối, tính năng của bê tông cường độ cao cũng như sự so sánh ưu điểm của bê tông cường độ cao so với bê tông thường truyền thống để ứng dụng vào công trình xây dựng.

1.2 Một số công trình ứng dụng bê tông cường độ siêu cao [3]

Tòa nhà Diamond Plaza (Việt Nam), tháp đôi Petronas (Malaysia)



Hình 1. Công trình sử dụng bê tông cường độ cao

Bê tông UHPFRC được sử dụng trong các công trình trên thế giới chủ yếu là các công trình cầu, nhà cao tầng và các công trình đòi hỏi độ bền cao dưới tác động của những

yếu tố môi trường khắc nghiệt.

Hình ảnh thi công thay thế các mặt cầu cũ bằng các mô đun mặt cầu sử dụng bê tông cường độ siêu cao đúc ở công xưởng và lắp ghép tại công trường



Hình 2. Thi công mặt cầu lắp ghép và mối nối mặt cầu bằng bê tông cường độ siêu cao tại công trường

Ở Việt Nam: Bê tông cường độ siêu cao là một đề tài còn khá mới. Đến năm 2008 mới được một số nhà khoa học ở các trường Đại học Giao thông Vận tải; Đại học Xây dựng; Đại học Bách Khoa TP Hồ Chí Minh bắt đầu nghiên cứu về bê tông này, các kết quả nghiên cứu sử dụng cốt liệu thô lớn nhất là đá với $D=8\text{mm}$, sử dụng sợi thép thường có $\sigma_s \leq 1000\text{Mpa}$

Tác giả trường ĐH Xây dựng sử dụng tro trấu, tro bay, không sử dụng sợi thép trong thành phần hỗn hợp và chỉ mới tính đến cường độ nén. [1]

Vì vậy bê tông cường độ cao đang được phát triển ở Việt Nam còn khá mới mẻ và chưa được ứng dụng nhiều. Việc

Received: July, 23th 2018

Accepted: September, 13th 2018

*Corresponding Author

Email: lethobktana@gmail.com

nghiên cứu tổng quan về bê tông siêu cường độ sẽ là bước tiên đề tác giả tận dụng nguồn vật liệu cát, đá phong phú ở Đồng Nai thử nghiệm và thực nghiệm tạo ra bê tông cường độ cao tại thành phố Biên Hòa, Đồng Nai.

2. NỘI DUNG

2.1 Ưu điểm bê tông cường độ siêu cao so với bê tông thường

Bê tông siêu cường độ (Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete -UHPFRC) là một loại vật liệu mới được nghiên cứu và phát triển trên thế giới từ năm 1990, UHPFRC có cường độ rất cao từ 100 ÷ 200 MPa, độ bền cao và sự ổn định lâu dài. Bê tông siêu cường độ (UHPFRC) có thành phần là xi măng, cát quartz, sợi thép, bột quartz và chất siêu dẻo. Phân loại bê tông theo cường độ và tỷ lệ N/X: [2]

- Bê tông thường (NC): cấp cường độ nhỏ hơn hoặc bằng 40 MPa, N/X = 0,4÷0,6.
- Bê tông cường độ cao, chất lượng cao (HSC/HPC): cấp cường độ nhỏ hơn hoặc bằng 100 MPa, tỷ lệ N/X = 0,3÷0,4.
- Bê tông chất lượng rất cao (UHPC): cấp cường độ bằng 200 MPa, tỷ lệ N/X = 0,2÷0,25.
- Bê tông siêu cường độ cốt sợi thép (UHPFRC): cấp cường độ nhỏ hơn hoặc bằng 200MPa, tỷ lệ N/X = 0,2÷0,25 hàm lượng cốt sợi thép từ 1÷2%.

Bảng 1. Các tính năng của UHPFRC và bê tông thường

Tính năng	Đơn vị	UHPFRC	Bê tông thường
Cường độ nén	MPa	160÷250	~ 40
Mô đun đàn hồi	GPa	48÷60	~ 35
Cường độ kéo	MPa	9÷20	~ 3
Biến dạng	%	0,05÷0,2	0
Vết nứt đầu tiên	MPa	7÷16	~ 3

2.2 Thành phần bê tông cường độ siêu cao [1] [2]

Để chế tạo ra được loại vật liệu có tuổi thọ cao, tìm kiếm các loại kết cấu mới có chiều cao thấp so với các kết cấu cũ nên việc nghiên cứu thành phần vật liệu của bê tông là hết sức quan trọng. Thành phần chủ yếu bao gồm: Xi măng, nước, cốt liệu lớn, phụ gia siêu dẻo, muối silic, các bột khoáng có độ cứng lớn và các cốt sợi thép cường độ cao. Nguyên tắc cơ bản để cải thiện các tính chất của bê tông là tăng độ đặc của vữa xi măng và cải tiến vùng tiếp giáp giữa đá xi măng và hạt cốt liệu. Với bê tông UHPFRC tỷ lệ N/X có thể từ 0.2 đến 0.25. Với RPC tỷ lệ N/X là từ 0.17 đến 0.19. Chất kết dính của bê tông UHPFRC bao gồm xi măng, muối silic và dần được thay thế bằng các bột quartz có đường kính trung bình là 10 µm. Cốt liệu lớn thường được dùng là cát quartz có cỡ hạt lớn nhất từ 0.5 đến 1mm. Nâng cao tính đồng nhất của bê tông bằng cách giới hạn lượng cốt liệu thô. Chúng ta đã biết rằng vùng chuyển tiếp giữa đá xi măng và các hạt cốt liệu thường là nơi bắt đầu các vết vi nứt do sự khác nhau về các tính chất cơ học và vật lý của chúng. Kích thước lớn nhất của cốt liệu trong UHPFRC đã được khuyến cáo là cần phải nhỏ hơn 600µm.

Bảng 2. Thành phần BTCĐSC điển hình của một số nước Châu Âu

Chất liệu	Khối lượng (kg/m ³)
Xi măng Pooclăng	900 – 1200
Muối Silic	170– 200
Cát Quartz	1000– 1050
Sợi thép	200– 250
Bột đá Quartz	160– 200
Chất siêu dẻo	35– 45
Nước	190– 220
Ti lệ N/XM	0,2 – 0,22

2.2.1 Xi măng

Xi măng thường được phân loại theo tiêu chuẩn ASTM, được chia ra làm 5 loại. Thông thường UHPFRC thường sử dụng xi măng nhóm I với cấp xi măng là 42,5 hoặc 52,5 Mpa. Ở Việt Nam thường chỉ chế tạo được xi măng PC40 cho nên vật liệu được lựa chọn sẽ là xi măng PC40.

Xi măng Pooclăng là chất kết dính vô cơ rắn trong nước và khi cứng rắn có thể bền nước, chứa 70- đến 80% silicat canxi và 15% aluminat canxi, là sản phẩm thu được từ quá trình nghiền mịn của clinker. Đồng Nai có sẵn xi măng (Hà Tiên, Insee....)

Bảng 3. Thành phần khoáng vật (%) theo ASTM

ASTM Nhóm	C3S	C2S	C3A	C4AF
N1	55	16	11	7
N2	44	26	5	15
N3	63	10	10	8
N4	25	47	4	15
N5	40	40	4	9

Nhóm 1 và 2 là xi măng tiêu chuẩn, chế độ nhiệt bình thường. Nhóm 3 là nhóm cần lưu ý về chế độ nhiệt. Nhóm 4 và 5 dùng cho kết cấu bê tông đặc biệt (ít tỏa nhiệt).

Chất kết dính có vai trò chủ chốt trong việc liên kết các loại vật liệu rời rạc thành khối bê tông đồng nhất. Tuy vậy quá nhiều chất kết dính sẽ làm bê tông có cường độ thấp và độ bền không tốt, ảnh hưởng đến môi trường. Việc sản xuất bê tông cường độ cao gắn liền với việc giảm lượng chất kết dính trong hỗn hợp và thay vào đó là những phụ gia khoáng với cỡ hạt nhỏ.

2.2.2 Cát



Hình 3. Cát quartz dùng để chế tạo bê tông UHPC

Để chế tạo bê tông cường độ, từ năm 1999 đến nay người ta thường sử dụng cát quartz. Đồng Nai với nguồn cát Đồng Nai, Trại An, tác giả nghiên cứu xem có khả thi để áp dụng được. Việc sử dụng cát quartz với kích thước hạt nhỏ sẽ làm cho tính đặc chắc của bê tông được tăng cao, không những vậy cường độ của bê tông đồng thời cũng được cải thiện đáng kể và giảm được hàm lượng chất kết dính. Tính chất của cát Quartz: Cát quartz dùng để chế tạo UHPFRC là loại cát có đường kính nhất định sau khi nghiền mịn đá quartz gốc và sàng với kích thước nhỏ tùy theo từng yêu cầu của mỗi thí nghiệm mà người ta có kích thước hạt cát quartz riêng. Ví dụ như với nghiên cứu của F. de Larard và T.Sedran thì cát quartz gồm 3 loại nằm trong cỡ sàng như sau:

Bảng 4. Cỡ hạt cát

T(um)	Sand S125	Sand S250	Sand S4000
63	0	0	0
80	13	0	0
100	56	0	0
125	100	2	2
160	100	19	16
200	100	53	43
250	100	100	80
315	100	100	96
400	100	100	100

2.2.3 Sợi thép

Sợi thép sẽ làm tăng độ dai cho bê tông cường độ siêu cao, hấp thụ năng lượng do tải trọng và tăng cường khả năng chịu lực sau khi xuất hiện vết nứt đầu tiên. Các nghiên cứu trên thế giới cho thấy độ dai của bê tông cường độ siêu cao phụ thuộc vào cường độ chịu kéo của sợi thép. Với bê tông thông thường, thường dùng các sợi thép có giới hạn chảy <800MPa. Bê tông cốt sợi cường độ cao thì dùng các sợi thép có giới hạn chảy khoảng 1.000MPa. Với bê tông cường độ siêu cao trên thế giới thường sử dụng cốt sợi thép có giới hạn chảy từ 2.000 – 2.600MPa. Các thử nghiệm bê tông cường độ siêu cao ở Đức, Hàn Quốc, Pháp sử dụng các sợi thép có đường kính 0,25 mm và chiều dài 13 -17 mm, giới hạn chảy là 2.500 Mpa.



Hình 4. Sợi thép dùng để chế tạo bê tông UHPC

2.2.4 Muội Silic và bột khoáng

Muội silic là một sản phẩm phụ được lấy ra từ quá trình nung thạch anh với than đá trong các lò hồ quang điện của ngành sản xuất silicon và các hợp kim thép silicon, khối bay

ra có hàm lượng dioxit silic vô định hình cao và chứa các tinh thể hình cầu rất mịn.

Muội silic gồm các hạt thủy tinh rất mịn với một diện tích bề mặt lên tới 20.000 m²/kg khi được đo bằng phương pháp hấp thụ Nitơ. Sự phân bố bề mặt kích thước hạt của một loại muội silic điển hình cho thấy hầu hết các hạt đều nhỏ hơn 1 m với đường kính trung bình khoảng 0,1 m nhỏ hơn kích thước của hạt xi măng gấp 100 lần. Trọng lượng riêng của muội silic phổ biến là 2,2g/cm³, nhưng cũng có thể cao hơn 2,5g/cm³. Khối lượng thể tích được lựa chọn từ 160-320kg/m³

Muội silic vì có hàm lượng oxit silic và độ mịn cực cao nên là vật liệu có hiệu quả tính Pozzolanic cao. Khối oxit silic phản ứng với đá vôi trong quá trình hydrat hóa xi măng để tạo ra hợp chất kết dính bền vững -CSH (can xi oxit silic hydrat). Tính sẵn có của hỗn hợp khử nước phạm vi cao đã làm thuận tiện việc sử dụng khối oxit silic như là một vật liệu kết dính trong bê tông để tạo ra cường độ cao. Hàm lượng khối oxit silic thông thường nằm trong phạm vi từ 5-15% lượng xi măng.

Cơ chế lấp đầy lỗ rỗng của hạt xi măng và độ rỗng trong các gel đá xi măng thể hiện qua đường kính hạt của phụ gia khoáng siêu mịn. Ở đây thì muội silic tối ưu là khoảng 30% so với lượng xi măng. Do đó hàm lượng muội silic trong UHPFRC thường khoảng 25-30% so với khối lượng xi măng, có đường kính hạt nhỏ d <0.1µm. Microsilica có hiệu quả nhất.

Bột khoáng: bao gồm xi măng cộng với bột mịn và muội silic theo của trường đại học Kassel Đức đã tổng kết cho thấy rằng có thể sử dụng bột đá vôi, bột quartz hoặc bột tro bay, tuy nhiên các nghiên cứu trên thế giới cho thấy rằng bột đá vôi là ít có hiệu quả nhất mà chủ yếu là sử dụng bột quartz.

Có thể sử dụng 2 loại bột quartz là Q1 hoặc Q2

Bột quartz Q1 có đường kính trung bình 2,92 µm và có độ đặc là 47% theo thể tích tỷ diện tích 18000 cm²/g.

Bột quartz Q2 có đường kính trung bình 42 µm và có độ đặc là 48.6% theo thể tích tỷ diện tích 3590 cm²/g.

Trong báo cáo tổng quan về sử dụng bột thì có thể sử dụng từ xi lò cao nghiền mịn, thủy tinh mịn, các hỗn hợp tro bay có gốc từ than đá và các loại bụi chất lượng cao được sản xuất từ đá bazan. Thành phần bột đá vôi do độ cứng thấp nên không được sử dụng. Các nghiên cứu xa hơn vào năm 2009, 2010 về sự ảnh hưởng của ống nano để cải thiện đặc tính lưu biến và cường độ của UHPFRC. Bột mịn thông thường hiện nay được sử dụng là bột quartz có đường kính trung bình từ 5 – 30 µm với liều lượng thêm vào từ 0-30 %, tương ứng với nó thì giảm lượng xi măng từ 30 – 0 % .

2.2.5 Phụ gia siêu dẻo

Có 5 loại phụ gia siêu dẻo là Thế hệ 1 là A và thế hệ 2: B thế hệ 3 là C.

+ A1- Ligno Sul phonates (LS):

Là phụ gia siêu dẻo thế hệ 1 từ các chất cao phân tử tự nhiên Lignin (từ gỗ và senlulo) độ giảm nước tối đa là 10%, có thể làm chậm ninh kết, độ sụt giảm 30% sau 30 phút. Lượng dùng 2,5% xi măng

+ B1-Polime gốc sulphonated melamine (MFS):

Phụ gia siêu dẻo gốc URE và Phormadehyde có tác dụng giảm nước tối đa đến 25% lượng dùng 1,5-2,5 Xi măng giảm độ sụt đến 50% sau 40 phút và cho cường độ sớm (R3 = 0,85R28), thời gian thi công ngắn, tỷ lệ N/X < 0,4 và phù hợp với khí hậu nóng.

+ B2 – Naphthalene Sulphonate Polycondesate : BMS
 Nguồn gốc từ than đá, giảm nước tối đa 25% - Lượng dùng 1,5-2,5%X, giảm độ sụt đến 50% sau 50 phút.
 + B3 – Chất siêu dẻo thế hệ thứ hai: Vinglucopolymers VC:

Thành phần chính là : Sunfonated Vinylcopolymers (dầu thô)

Giảm nước tối đa đến 30% lượng dùng 1,5-2% Xi măng (lít). giảm độ sụt ban đầu đến 50% sau 100 phút, tạo ra độ sụt đến 22 cm, kéo dài thời gian thi công

+ C – Chất siêu dẻo thế hệ ba: PolyCarboxylates – (PC):
 Gốc Polyme cao phân tử tổng hợp, giảm muối tới 40 % (tỷ lệ N/X có thể đến 0,27), bê tông có thể đạt đến độ sụt 22 cm, cho cường độ cao. Duy trì được tính công tác trong thời gian dài.

Loại phụ gia đặc biệt này có thể thay đổi cấu tạo phân tử để phụ gia phù hợp với các yêu cầu đặc biệt. Với bê tông cường độ cao thường dùng chất siêu dẻo, loại PC, với bê tông tự đầm có thể dùng loại cải tiến là: Polyme Viscocrete (PV)

Các phụ gia siêu dẻo có thể thí nghiệm theo tiêu chuẩn Anh – BS 5075, ASTM – C494. ở Việt Nam có thể chọn các chất siêu dẻo chế tạo trong nước và các sản phẩm của Sika, của Đức, Ý, của Mỹ. Cần tổ chức tuyển chọn với số lượng các chất siêu dẻo ít nhất là 3 loại để có một chất siêu dẻo tối ưu.

2.3. Tính năng của bê tông cường độ siêu cao [2] [3]

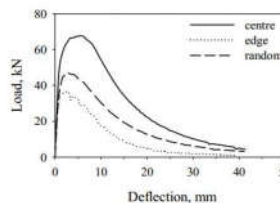
2.3.1 Cường độ chịu nén

Cường độ chịu nén cao nằm giữa 150 MPa và 250 MPa chủ yếu phụ thuộc vào tỷ lệ N/XM, thể tích nước trên cốt liệu mịn hệ số N/Fv = N/ tổng thể tích (Xi măng + silica + chất dẻo) của vữa và kích thước hạt của cốt liệu dẫn đến một biến dạng đàn hồi tuyến tính lên đến khoảng 95% tổng tải trọng phá hoại.

Điều đó có nghĩa là UHPFRC không có cốt sợi thì nó giống như vật liệu giòn rất dễ gãy, mô đun đàn hồi tương đối cao, cường độ chịu kéo của vữa tinh khiết là khoảng 8 MPa. Sử dụng những sợi thép với mô đun đàn hồi đủ cao, cường độ vữa không đổi hoặc tăng, trong khi cường độ chịu kéo được cải thiện đáng kể. Cường độ chịu kéo khi uốn chủ yếu phụ thuộc vào cường độ bê tông, loại và số lượng sợi được sử dụng. Qua đó cho thấy hỗn hợp gồm những sợi thép và những sợi thích hợp khác với các loại khác nhau về chiều dài và đường kính sẽ kinh tế hơn so với sử dụng một loại sợi thống nhất.



Hình 5. Thí nghiệm uốn tấm tròn UHPC



Bê tông cường độ siêu cao có tốc độ tăng cường độ ở các giai đoạn đầu cao hơn so với bê tông thường ở các giai đoạn

sau sự khác nhau là không đáng kể. Tốc độ cao hơn của sự hình thành cường độ của bê tông cường độ cao ở các giai đoạn đầu là do sự tăng nhiệt độ xử lý trong mẫu bê tông vì nhiệt của quá trình hidrát hóa, cũng do sự xích gần sớm của các hạt bê tông tươi, cũng như là vai trò làm đông cứng của muối silic. [4]

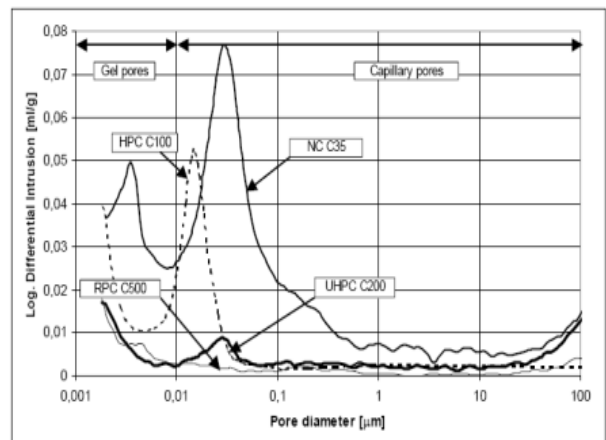
2.3.2 Mô đun đàn hồi

Theo những tài liệu đã nghiên cứu và kết quả đã thực nghiệm ở Việt Nam, mô đun đàn hồi của UHPFRC biến đổi từ 46500 Mpa đến 49300 Mpa (46,5 Gpa đến 49,3 Gpa), với cường độ nén của bê tông từ 110 đến 150 Mpa. theo các kết quả nghiên cứu ở Đức cũng thông báo là mô đun đàn hồi cũng biến đổi từ 45 đến 50 Mpa [3]

Mô đun đàn hồi chính là một đặc tính chỉ dẫn trực tiếp về độ cứng của kết cấu bê tông. Mô đun đàn hồi lớn thì độ cứng kết cấu lớn và kết cấu càng ít bị biến dạng. Mô đun đàn hồi của bê tông chịu ảnh hưởng lớn của các vật liệu thành phần và tỷ lệ phối hợp các vật liệu. Việc tăng cường độ chịu nén kèm theo mô đun đàn hồi cũng tăng.

2.3.3 Độ bền

Độ bền được cải tiến của UHPFRC để chống lại các loại khí độc hại, các chất lỏng, clorua, sương giá hay đóng tan băng được cải thiện bởi độ đặc và cấu trúc hạt của chất kết dính và vùng tiếp xúc giữa vữa và cốt liệu thô cũng như cấu trúc đặc hơn của sản phẩm hydrat hóa.



Hình 6. Sự phân bố kích thước lỗ rỗng của bê tông thường, HPC và UHPFRC

Các lỗ rỗng khí của UHPFRC được đặc trưng bởi những lỗ rỗng mao quản, là một trong những loại lỗ rỗng có thể nhìn thấy được từ sự phân bố kích thước lỗ rỗng được thể hiện và được thí nghiệm bởi sự xâm thực của thủy ngân. [5]

2.3.4 Các đặc tính về nhiệt

Các đặc tính về nhiệt của bê tông cường độ cao nằm trong phạm vi đúng đối với bê tông có cường độ thấp. Tốc độ giảm cường độ của bê tông cường độ siêu cao nhanh hơn so với bê tông thường. Điểm bắt đầu giảm cường độ thấp hơn (ở nhiệt độ 300°C). Tính ổn định thể tích ở nhiệt độ cao cũng kém hơn.

3. KẾT LUẬN

Như vậy bê tông UHSFRC là một bước đột phá trong công nghệ vật liệu xây dựng nói chung và bê tông nói riêng. UHSFRC sẽ làm thay đổi quan điểm và triết lý thiết kế về bê tông. Bê tông UHSFRC cung cấp một sự kết hợp tuyệt vời của vật liệu và hiệu suất sử dụng tạo ra sản phẩm với các đặc tính sau:

- Độ dai: khả năng hỗ trợ sức chịu tải kể cả sau khi xuất hiện vết nứt (kết cấu vẫn còn khả năng tăng sức chịu tải).

- Cường độ siêu cao nén: cường độ nén có thể đạt được từ 100 đến 200MPa.

- Độ bền rất cao: nâng cao tuổi thọ lâu dài cho kết cấu, công trình.

- Cường độ chịu kéo khi uốn tăng cao có thể lên đến 40MPa đây là điểm khắc phục nhược điểm lớn nhất của các cấu kiện bê tông

- Giảm thiểu hàm lượng cốt thép thường và cốt thép cấu tạo trong kết cấu công trình.

Từ những ưu điểm đó tác giả sẽ tìm kiếm vật liệu ở Đồng Nai chế tạo ra cấp phối vật liệu bê tông cường độ siêu cao và tiến hành thí nghiệm thực nghiệm để nêu lên các đặc trưng cơ học: cường độ chịu nén, chịu kéo khi uốn, mô đun đàn hồi

cũng như ứng dụng công trình thực tế làm giảm chiều cao dầm cầu khi sử dụng bê tông cường độ siêu cao tại Biên Hòa, Đồng Nai sẽ tạo điều kiện phát triển công trình hạ tầng, xây dựng tăng khả năng chịu lực và bền vững tuổi thọ của công trình.

4. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] GS.TS Phạm Duy Hữu, TS. Phạm Duy Anh, TS. Nguyễn Thanh Sang, Th.S. Nguyễn Lộc Kha. *Nghiên cứu công nghệ chế tạo bê tông cường độ siêu cao và ứng dụng trong kết cấu cầu và nhà cao tầng (UHSFRPC)*. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, **2012**.
- [2] Phạm Duy Hữu, Nguyễn Ngọc Long, Đào Văn Đông, Phạm Duy Anh. *Bê tông cường độ cao và bê tông chất lượng cao*. Nhà Xuất Bản Giao Thông Vận Tải, **2009**.
- [3] Ultra High performance concrete: Properties and Applications S.P.Shah - **2005**.
- [4] Shi, Caijun, et al. A review on ultra high performance concrete: Part I. Raw materials and mixture design. *Construction and Building Materials*, **2015**, 101, 741-751.
- [5] French Association for Civil Engineering, *Ultra high performance fiber-reinforced concrete*, Recommendations, Revised edition, **2013**.