

# THIẾT KẾ CẤP PHỐI BÊ TÔNG TÍNH NĂNG CAO SỬ DỤNG SILICA FUME VÀ PHỤ GIA SIÊU DẸO

Nguyễn Quang Phú<sup>1</sup>

**Tóm tắt:** Ngày nay, bê tông tính năng cao được sử dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp xây dựng trên toàn thế giới. Để sản xuất bê tông tính năng cao với thành phần vật liệu thông thường, chúng ta cần sử dụng các loại phụ gia khoáng như Silica Fume, Tro bay và Metakaolanh và những loại phụ gia siêu dẻo để tăng tính công tác cho bê tông. Việc sử dụng các loại phụ gia khoáng trong bê tông không chỉ giúp tăng cường độ mà còn làm tăng độ bền cho bê tông. Cường độ nén được thí nghiệm để tìm ra lượng dùng phụ gia khoáng tối ưu (Silica Fume ở mức 0; 5; 10; 15; 20 và 25% sau 7 ngày và 28 ngày dưỡng hộ). Việc khảo sát này nhằm mục đích đưa ra một cấp phối bê tông tính năng cao thiết kế bằng việc sử dụng phụ gia khoáng Silica Fume và phụ gia siêu dẻo.

**Từ khóa:** Bê tông tính năng cao; Silica Fume; Phụ gia siêu dẻo; Cường độ nén.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông tính năng cao có các đặc tính và khả năng xây dựng vượt trội so với bê tông thông thường. Các vật liệu thông thường và đặc biệt được sử dụng để sản xuất ra loại bê tông được thiết kế đặc biệt này phải đạt được các yêu cầu về sự kết hợp các tính năng cao. Bê tông tính năng cao được chế tạo bởi những thành phần vật liệu có chất lượng cao, cần được chọn lựa một cách cẩn thận và tối ưu hóa trong thiết kế. Bê tông tính năng cao có tỉ lệ nước/xi măng thấp, từ 0.2 đến 0.45. Phụ gia siêu dẻo thường được sử dụng để làm cho những loại bê tông này dẻo hơn và tăng tính công tác của bê tông. Bê tông tính năng cao hầu hết có cường độ và tính bền cao hơn bê tông thông thường.

Có rất nhiều phương pháp thiết kế cấp phối cho bê tông tính năng cao. Các phương pháp được đề xuất bởi ACI, Aitcin (Aitcin, 1998), Laskar và Talukdar (Laskar và Talukdar, 2008) là một số phương pháp được lựa chọn. Trong các phương pháp trên, điều quan trọng đầu tiên được đưa ra là việc lựa chọn tỷ lệ nước/chất kết dính (W/B) cho cường độ bê tông thiết kế nhất định, mặc dù tỷ lệ W/B không phải là một yếu tố dự báo tốt về cường độ nén của bê tông tính năng cao, việc sử dụng các phụ gia như Silica Fume kết hợp với

một lượng phụ gia siêu dẻo phù hợp là cách thường dùng để chế tạo bê tông tính năng cao.

VinayagamP (VinayagamP, 2012) đã tiến hành thí nghiệm với Silica Fume thay thế xi măng từ 0 đến 15% và phụ gia siêu dẻo cho bê tông tính năng cao. Các hỗn hợp bê tông tính năng cao được kiểm tra thực nghiệm cho tính công tác, cường độ nén, khả năng chịu kéo và uốn thì kết quả thí nghiệm của các hỗn hợp bê tông thiết kế này là rất tốt, đảm bảo các tính năng yêu cầu của bê tông đặt ra.

Hooton (Hooton, 1993) đã tiến hành các thí nghiệm bằng việc thay thế xi măng bằng Silica Fume và thí nghiệm nghiên cứu tính chất cơ lý và độ bền của bê tông khi đóng băng và băng tan, độ bền Sunphát và phản ứng kiềm-silica. Qua thí nghiệm thấy rằng, với việc thay thế 15% Silica fume, với liều lượng dùng phụ gia siêu dẻo hợp lý cho cấp phối bê tông có tỷ lệ W/B = 0.35 thì cường độ nén ở tuổi 28 ngày là cao nhất, đạt được các yêu cầu về tính bền đặt ra của bê tông thiết kế.

Yogendran và Langan (Yogendran và Langan, 1982) đã khảo sát về bê tông cường độ cao sử dụng Silica Fume với tỷ lệ nước/chất kết dính là 0,34 (W/B = 0,34) và tỷ lệ thay thế của Silica fume từ 0 đến 25%, với lượng thay đổi phụ gia siêu dẻo. Kết quả thí nghiệm cho thấy lượng dùng thay thế Silica Fume tối đa 15% là hợp lý nhất.

<sup>1</sup> Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi, Việt Nam.

Annadurai và Ravichandran (Annadurai và Ravichandran, 2014) đã tiến hành thí nghiệm đối với cấp phối bê tông cường độ cao thiết kế với các loại phụ gia; một số tỷ lệ dùng phụ gia siêu dẻo khác nhau với một khoảng từ 0,6 ÷ 0,9%, với mức tăng cho mỗi cấp phối thí nghiệm là 0,1%. Kết quả thí nghiệm cho thấy việc bổ sung Silica Fume tăng cường độ nén và giảm độ sụt của bê tông.

Trong nghiên cứu đã sử dụng các loại vật liệu trong nước đang được thi công rộng rãi cho một số công trình để thiết kế thành phần bê tông HPC kết hợp phụ gia khoáng là Silica Fume và phụ gia siêu dẻo với lượng dùng hợp lý, nhằm mục đích tăng cường độ và độ bền cho bê tông sử dụng.

## 2. MỤC TIÊU NGHIÊN CỨU

Thiết kế thành phần bê tông tính năng cao theo ACI, qua đó thay đổi lượng dùng Silica Fume (SF) để thay thế xi măng trong thành phần

bê tông (phụ gia khoáng SF thay thế lần lượt là 5%; 10%; 15%; 20% và 25%) và giữ nguyên lượng phụ gia siêu dẻo và các thành phần vật liệu khác của bê tông. Các thí nghiệm được tiến hành trên bê tông tính năng cao cho bê tông đối chứng mác 60 MPa. Qua các thí nghiệm tìm ra tỷ lệ thay thế SF hợp lý nhất, đảm bảo bê tông HPC có cường độ và tính bền cao.

## 3. VẬT LIỆU VÀ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

### 3.1. Vật liệu sử dụng trong thí nghiệm

Xi măng Pooc lăng PC40 Chinfon - Hải Phòng đạt cường độ nén 49,5MPa, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 2682:2009. Cốt liệu mịn (cát) sử dụng cát sông Hồng; Cốt liệu thô (đá dăm) sử dụng kết hợp 32% đá có  $D_{\max} = 10\text{mm}$  và 68% đá có  $D_{\max} = 20\text{mm}$  (theo khối lượng) có sẵn tại phòng thí nghiệm Vật liệu xây dựng - Viện Thủy công thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 7570:2006. Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của xi măng, cát, đá được thể hiện trong Bảng 1, 2 và 3 tương ứng.

**Bảng 1. Tính chất cơ lý của xi măng**

| STT | Chỉ tiêu thí nghiệm               | Phương pháp thử | Đơn vị          | Kết quả TNo |
|-----|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| 1   | Khối lượng riêng                  | TCVN: 4030-2003 | $\text{g/cm}^3$ | 3,12        |
| 2   | Độ mịn (Lượng sót trên sàng 0,09) | nt              | %               | 3,2         |
| 3   | Lượng nước tiêu chuẩn             | TCVN: 6017-1995 | %               | 28,2        |
| 4   | Thời gian bắt đầu đông kết        | nt              | phút            | 110         |
|     | Thời gian kết thúc đông kết       | nt              | phút            | 305         |
| 5   | Độ ổn định thể tích               | nt              | mm              | 2,2         |
| 6   | Giới hạn bền nén tuổi 3 ngày      | TCVN: 6016-1995 | $\text{N/mm}^2$ | 34,0        |
|     | Giới hạn bền nén tuổi 28 ngày     | nt              | $\text{N/mm}^2$ | 49,5        |

**Bảng 2. Tính chất cơ lý của cát**

| STT | Chỉ tiêu                | Đơn vị          | Kết quả TNo |
|-----|-------------------------|-----------------|-------------|
| 1   | Khối lượng riêng        | $\text{g/cm}^3$ | 2,67        |
| 2   | Khối lượng thể tích xốp | $\text{g/cm}^3$ | 1,61        |
| 3   | Độ hồng                 | %               | 39,7        |
| 4   | Hàm lượng bụi, bùn, sét | %               | 0,96        |
| 5   | Mô đun độ lớn           | -               | 3,06        |
| 6   | Tạp chất hữu cơ         | -               | Đạt         |
| 7   | Thành phần hạt          | -               | Đạt         |

**Bảng 3. Tính chất cơ lý của đá dăm**

| STT | Chỉ tiêu thí nghiệm     | Đơn vị            | Kết quả TNo |
|-----|-------------------------|-------------------|-------------|
| 1   | Khối lượng riêng        | g/cm <sup>3</sup> | 2,75        |
| 2   | Khối lượng thể tích xốp | g/cm <sup>3</sup> | 1,68        |
| 3   | Hàm lượng bụi, bùn, sét | %                 | 0,58        |
| 4   | Hàm lượng thoi dẹt      | %                 | 18,2        |
| 5   | Hàm lượng hạt mềm yếu   | %                 | 1,10        |
| 6   | Độ hút nước             | %                 | 0,43        |
| 7   | Thành phần hạt          | -                 | Đạt         |

Phụ gia khoáng sử dụng Silica fume thay thế thành phần xi măng trong các cấp phối bê tông thiết kế. Các tính chất kỹ thuật của Silica fume được phân tích tại Viện Khoa học Công nghệ xây dựng (IBST), kết quả như Bảng 4.

**Bảng 4. Tính chất kỹ thuật của Silica fume**

| STT | Chỉ tiêu                   | Đơn vị            | Kết quả | Yêu cầu kỹ thuật ASTM C 1240-00 |
|-----|----------------------------|-------------------|---------|---------------------------------|
| 1   | Khối lượng riêng           | g/cm <sup>3</sup> | 2,40    |                                 |
| 2   | Độ ẩm                      | %                 | 2,76    |                                 |
| 3   | Hàm lượng mất khi nung     | %                 | 2,82    | ≤ 6,0                           |
| 4   | Hàm lượng SiO <sub>2</sub> | %                 | 88,15   | SiO <sub>2</sub> ≥ 85,0         |
| 5   | Hàm lượng SO <sub>3</sub>  | %                 | 0,05    | < 2,0                           |
| 6   | Hàm lượng CaO              | %                 | 0,66    | < 1,0                           |
| 6   | Hàm lượng Cl <sup>-</sup>  | %                 | 0,01    | < 0,3                           |

Phụ gia hóa học là phụ gia siêu dẻo AM S40 gốc Sulphonated naphthalene formaldehyde được sử dụng có tác dụng tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông, giảm lượng dùng nước và tăng độ đặc của bê tông.

### 3.2. Thiết kế cấp phối HPC

Thiết kế cấp phối bê tông tính năng cao theo phương pháp ACI. Để đạt được cường độ cao với

tỷ lệ nước/chất kết dính thấp và để đạt được tính công tác tốt thì phụ gia siêu dẻo được sử dụng hợp lý. Thành phần vật liệu của bê tông thí nghiệm được thể hiện trong Bảng 5. Trong thí nghiệm, tỷ lệ nước/chất kết dính thí nghiệm là 0,28 và liều lượng của phụ gia siêu dẻo AM-S40 là 5,5 lít/m<sup>3</sup> bê tông. Lượng phụ gia khoáng Silica fume thay thế lần lượt là 0; 5; 10; 15; 20 và 25%.

**Bảng 5. Thành phần vật liệu của các cấp phối bê tông thí nghiệm**

| Cấp phối | W/B  | XM (kg) | Cát (kg) | Đá dăm (kg) | Nước (lít) | AM-S40 (lít) | Silica fume (kg) |
|----------|------|---------|----------|-------------|------------|--------------|------------------|
| CP1      | 0,28 | 515,00  | 775      | 1050        | 144        | 5,5          | 0,00             |
| CP2      | 0,28 | 489,25  | 775      | 1050        | 144        | 5,5          | 25,75            |
| CP3      | 0,28 | 463,50  | 775      | 1050        | 144        | 5,5          | 51,50            |
| CP4      | 0,28 | 437,75  | 775      | 1050        | 144        | 5,5          | 77,25            |
| CP5      | 0,28 | 412,00  | 775      | 1050        | 144        | 5,5          | 103,00           |
| CP6      | 0,28 | 386,25  | 775      | 1050        | 144        | 5,5          | 128,75           |

### 3.3. Kết quả thí nghiệm cho các cấp phối HPC

Kiểm tra độ sụt của các hỗn hợp bê tông theo tiêu chuẩn, sau đó đúc mẫu bảo dưỡng trong điều kiện môi trường tiêu chuẩn để kiểm tra

cường độ nén ở tuổi 7 và 28 ngày. Các mẫu thí nghiệm được đúc trên hai loại mẫu khác nhau: mẫu lập phương (LP): 15x15x15cm và mẫu hình trụ kích thước D15xH30cm. Kết quả thí nghiệm được thể hiện trên Bảng 6.

**Bảng 6. Kết quả thí nghiệm độ sụt và cường độ cho các cấp phối bê tông HPC**

| Cấp phối | Độ sụt | Cường độ nén 7 ngày (MPa) |         | Cường độ nén 28 ngày (MPa) |         |
|----------|--------|---------------------------|---------|----------------------------|---------|
|          |        | Mẫu LP                    | Mẫu trụ | Mẫu LP                     | Mẫu trụ |
| CP1      | 95     | 52,9                      | 42,4    | 60,2                       | 48,1    |
| CP2      | 83     | 56,5                      | 44,6    | 63,6                       | 50,2    |
| CP3      | 78     | 59,1                      | 46,2    | 66,5                       | 51,9    |
| CP4      | 72     | 60,0                      | 50,3    | 71,8                       | 56,7    |
| CP5      | 66     | 59,5                      | 46,7    | 67,8                       | 53,3    |
| CP6      | 60     | 57,6                      | 43,8    | 64,2                       | 49,8    |

#### **Nhận xét:**

+ Khi giữ nguyên các thành phần vật liệu trong cấp phối bê tông, hàm lượng Silica fume thay thế xi măng tăng lên, thì độ sụt của hỗn hợp bê tông giảm xuống. Do độ mịn của Silica fume rất cao (khoảng 20.000 m<sup>2</sup>/kg), nên độ hút nước nhiều hơn, làm giảm độ sụt của hỗn hợp bê tông.

+ Thay thế 15% Silica fume (CP4) thì cường độ của bê tông ở 7 và 28 ngày tuổi là cao nhất (71,8 MPa), sau đó cường độ giảm dần khi hàm lượng Silica fume thay thế tăng lên. Điều này có thể do thực tế là phản ứng pozzolanic không hết với thành phần hoạt tính SiO<sub>2</sub> và hiệu ứng điền đầy của phụ gia Silica fume chưa triệt để.

#### **4. KẾT LUẬN**

Trên cơ sở của các kết quả thí nghiệm có thể đưa ra các kết luận sau đây:

+ Quy trình thiết kế cấp phối cho bê tông tính năng cao sử dụng Silica fume và phụ gia siêu dẻo được xây dựng theo phương pháp ACI là hợp lý, ngoài ra còn có thể tham khảo thêm một số phương pháp thiết kế khác về bê tông tính năng cao đã được nghiên cứu.

+ Hàm lượng Silica fume thay thế xi măng trong thành phần của bê tông tính năng cao tăng lên thì tương ứng làm tăng cường độ nén bê tông, hàm lượng Silica fume tăng lên đến 15%

(CP4) thì cường độ nén của bê tông cao nhất, tuy nhiên sau đó giảm dần khi hàm lượng Silica fume tăng lên (CP5 và CP6). Do đó sự thay thế tối ưu của Silica fume là 15%.

+ Tỷ lệ cường độ nén của bê tông tính năng cao với các mẫu được đúc bằng mẫu lập phương so với các mẫu hình trụ ở 7 ngày và 28 ngày là từ 1,26 đến 1,28. Vì vậy khi sử dụng mẫu thí nghiệm cường độ nén của bê tông không đúng với mẫu chuẩn (Lập phương: 15x15x15cm) thì kết quả thí nghiệm cần nhân với hệ số hiệu chỉnh đó.

+ Tỷ lệ phần trăm thay thế của xi măng bằng Silica fume tăng thì tính công tác của hỗn hợp bê tông giảm khi giữ nguyên các thành phần vật liệu khác trong cấp phối của bê tông. Vì vậy, cần có sự lựa chọn cường độ thiết kế hợp lý và phù hợp với công trình xây dựng để có biện pháp điều chỉnh thành phần vật liệu một cách hợp lý.

+ Thành phần bê tông được thiết kế với các loại vật liệu trong nước hiện đang được sử dụng cho các công trình xây dựng; mác bê tông thiết kế phù hợp với yêu cầu tăng cường độ và tính bền của bê tông các công trình xây dựng, vì vậy kết quả thí nghiệm có thể là tài liệu tham khảo cho các công trình bê tông có mác thiết kế phù hợp trong khoảng 60 đến 70MPa.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

*Giáo trình Vật liệu xây dựng* - Đại học Thủy lợi.

TCVN 2682:2009. *Xi măng Pooc lăng - Yêu cầu kỹ thuật*.

TCVN 4506:2012. *Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*.

TCVN 7570:2006. *Cốt liệu dùng cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật*.

TCVN: 6016-1995. *Xi măng - Phương pháp thử - Xác định độ bền*.

TCVN: 6017-1995. *Xi măng - Phương pháp thử - Xác định thời gian đông kết và độ ổn định thể tích của xi măng*.

Annadurai and A. Ravichandran (2014), “*Development of mix design for high strength concrete with Admixtures*”, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, vol.10, issues-5, pp.22-27.

Islam Laskar and S. Talukdar (2008). “*A New Mix Design Method For High Performance Concrete*”, Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), Vol.9, No.1, pp.15-23, 2008.

ACI, 234R-96 (1996), “*Guide for the use of silica fume in concrete*”, Reported by ACI, Committee, 234, pp.1-51.

Aitcin. P.C. (1998), “*High performance concrete*”, E & FN Spon, London, 1998.

ASTM C 1240-00. *Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures*.

Hooton R.D (1993), “*Influence of silica fume replacement of cement on physical properties and resistance to Sulphate attack, Freezing and Thawing, and alkali-silica reactivity*”, ACI Material Journal, No.2, pp.143-151.

P.Vinayagam (2012), “*Experimental Investigation on high performance concrete Using Silica Fume and Superplasticizer*”, International journal of Computer and Communication Engineering, Vol.1, No.2, pp. 168-171.

Patil Shreekedar.A and Kumbhar. P.D (2013), “*Study on effect of mineral admixtures in mix proportioning of HPC*”, International Journal of Research in Advent Technology, Vol.1, Issue.5, pp.499-504.

V. Yogendran, B.W.Langan, M.N. Haque, M.A. Ward (1982), “*Silica fume in high strength concrete*”, ACI Mater. J.84 (2), pp.124-129.

### Abstract:

#### MIX DESIGN OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE USING SILICA FUME AND SUPER-PLASTICIZER

*High Performance Concrete (HPC) now a days used widely in the construction industry world-wide. To produce HPC with normal ingredients we use mineral admixtures like Silica fume, Fly ash and Metakaoline and workable agents Super-plasticizers are also used. The usage of mineral admixtures in the concrete not only enhances its strength properties but also durability. The compressive strength are investigating finding the optimum use of mineral admixture (Silica fume of levels 0; 5; 10; 15; 20 and 25% at 7 days and 28 days of curing). The present investigation aims to give design mix for HPC by using Silica Fume and Super-plasticizers.*

**Keywords:** High Performance Concrete; Silica Fume; Super-plasticizer; Compressive strength.

---

*BBT nhận bài:* 13/8/2015

*Phản biện xong:* 10/9/2015