

# THIẾT KẾ THÀNH PHẦN BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO, TÍNH NĂNG CAO CÓ KHẢ NĂNG GIẢM CO NGÓT

NGUYỄN QUANG PHÚ<sup>1,2</sup>, JIANG LIN HUA<sup>1</sup>,  
LIU JIAPING<sup>3</sup>, TIAN QIAN<sup>3</sup>

**Tóm tắt:** *Bê tông cường độ cao, tính năng cao luôn luôn được sản xuất với tỷ lệ nước/chất kết dính (W/B) trong khoảng 0.2 đến 0.4; khi mà cốt liệu thông thường được sử dụng. Để đảm bảo tỷ lệ W/B thấp và duy trì tốt tính công tác của bê tông thì cần thiết phải dùng phụ gia giảm nước (HRWR). Khi đó thường không thể sản xuất bê tông có cường độ nén trên 80 MPa; để tăng tính năng và cường độ của bê tông thì các phụ gia khoáng như Silica Fume, Fly Ash, Slag được sử dụng là cần thiết. Tuy nhiên khi bê tông có tỷ lệ nước/chất kết dính (W/B) thấp thì không tránh khỏi co ngót do sự thay đổi thể tích gây nên bởi hiện tượng co khô, tự co, phản ứng hóa học và sự thay đổi của nhiệt độ. Vì vậy bài viết này thiết kế một số cấp phối bê tông cường độ cao, tính năng cao có sử dụng phụ gia giảm co ngót (SRA) với mục đích giảm co ngót cho bê tông.*

## I. Tổng quan:

Thiết kế thành phần bê tông là sự lựa chọn thành phần vật liệu thích hợp (xi măng, phụ gia, cát, đá, nước) đảm bảo cường độ yêu cầu và các tính năng bền lâu của bê tông; một vài nhân tố quyết định những đặc tính này như sau:

- Chất lượng xi măng.
- Thành phần của xi măng và các vật liệu kết dính khác liên quan đến nước trong hỗn hợp (tỷ lệ W/B).
- Cường độ và độ sạch của cốt liệu (cát và đá).
- Sự tương tác và gắn kết giữa xi măng và cốt liệu.
- Thành phần cấp phối của các loại vật liệu hợp lý.
- Thời gian tạo hình và làm chặt bê tông tươi phải hợp lý.
- Điều kiện bảo dưỡng bê tông không dưới 10°C trong khi bê tông phát triển cường độ.
- Hàm lượng CaCl<sub>2</sub> không vượt quá 0,15% trong bê tông cốt thép và 1% cho lớp bê tông bảo vệ.

## II. LỰA CHỌN CƯỜNG ĐỘ YÊU CẦU KHI THIẾT KẾ THÀNH PHẦN BÊ TÔNG:

Cường độ nén trung bình của bê tông thí nghiệm nên vượt cường độ nén thiết kế đã đưa ra đảm bảo một sự dự trữ cao, nhằm giảm các khả năng cho những thí nghiệm có kết quả thấp hơn so với cường độ nén thiết kế yêu cầu.

### II.1. Dựa vào kinh nghiệm:

Cường độ yêu cầu trung bình nén lớn hơn<sup>[1]</sup>:

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34s \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

$$f'_{cr} = 0.90f'_c + 2.33s \quad (\text{MPa}) \quad (2)$$

Trong đó:

$$s = \left[ \frac{(n_1 - 1)(s_1)^2 + (n_2 - 1)(s_2)^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{1/2}$$

$f'_c$  - Cường độ nén thiết kế

$s$  - Độ lệch chuẩn của mẫu, psi

$s_1, s_2$  - Độ lệch tiêu chuẩn của đợt kiểm tra 1 và 2, psi

$n_1, n_2$  - Số mẫu thí nghiệm của mỗi đợt kiểm tra

Nếu số mẫu kiểm tra  $15 < n < 30$ , giá trị  $s$  trong công thức (1) và (2) nhân với hệ số biến đổi cho ở bảng sau:

1. Khoa Vật liệu Xây dựng, trường Đại học Hồ Hải, TP. Nam Kinh, Trung Quốc
2. Bộ môn Vật liệu Xây dựng - Khoa Công trình - Đại học Thủy lợi, Việt Nam
3. Viện nghiên cứu Vật liệu, Tỉnh Giang Tô, TP. Nam Kinh, Trung Quốc

Bảng 1-1: Hệ số thay đổi độ lệch chuẩn s khi số mẫu thí nghiệm nhỏ hơn 30

Số mẫu kiểm tra	Hệ số thay đổi
<15	Sử dụng bảng 1-2
15	1.16
20	1.08
25	1.03
≥30	1.00

Bảng 1-2: Cường độ trung bình yêu cầu khi số liệu thí nghiệm không đủ để thiết lập độ lệch chuẩn s (số mẫu <15)

Cường độ thiết kế $f'_c$ [psi (MPa)]	Cường độ yêu cầu $f'_{cr}$ [psi (MPa)]
<3000 (20.7)	+1000 (6.9)
3000-5000 (20.7-34.5)	+1200 (8.28)
>5000 (34.5)	+1400 (9.66)

\* 1000 psi = 6.9 MPa

Lấy  $f'_{cr}$  lớn hơn so với tính toán từ công thức (1) và (2) để thiết kế thành phần bê tông

**II.2. Dựa vào tỷ lệ cơ bản của các mẻ trộn trong phòng:**

$$f'_{cr} = \frac{f'_c + 9.65}{0.9} \text{ (MPa)} - \text{Mẫu hình trụ} \quad (3)$$

$$f'_{cr} = \frac{f'_c + 11.6}{0.9} \text{ (MPa)} - \text{Mẫu hình lập phương} \quad (4)$$

### III. LỰA CHỌN VẬT LIỆU:

#### 1. Xi măng và các loại vật liệu kết dính khác:

Cần xác định loại xi măng; cường độ nén trung bình của xi măng; các chỉ tiêu cơ lý: thời gian đông kết, lượng nước tiêu chuẩn, khối lượng riêng, khối lượng đơn vị....

Trong thành phần của bê tông cường độ cao - tính năng cao, nhất thiết phải có một số vật liệu phụ gia khoáng như: silica fume, slag và fly ash<sup>[1], [2], [3]</sup>. Những loại vật liệu này cần biết được tỷ lệ các thành phần oxyt và hàm lượng nước yêu cầu, khối lượng riêng, khối lượng đơn vị....

#### 2. Cốt liệu:

##### a- Cốt liệu thô (đá):

Sử dụng các loại cốt liệu đặc chắc, cứng, tối thiểu bằng cường độ của đá xi măng: Khi cường độ bê tông cao, cỡ của cốt liệu nên giảm; giới hạn cỡ đá khoảng 3/4 in. (19 mm) với cường độ bê tông đạt 9000 psi (62 MPa); với cường độ cao hơn, giới hạn cỡ của đá nên sử dụng khoảng 1/2 ÷ 3/8 in. (12.7 ÷ 9.5 mm). Ngoài phạm vi 20000 ÷ 30000 psi (138 ÷ 207 MPa), cỡ của đá không nên vượt 3/8 in. (9.5 mm) trong các kết cấu thành phần.

##### b- Cốt liệu mịn (cát)

Cát dùng cho bê tông phải sạch, không lẫn tạp chất hữu cơ, bụi, sét, bùn. Cát có cấp phối tốt, có mô đun độ lớn đạt từ 2.5 ÷ 3.2

#### 3. Nước:

Lượng nước yêu cầu của bê tông phụ thuộc vào độ rỗng của cát. Độ rỗng của cát cơ bản là 0,35 và nên được điều chỉnh cho các độ rỗng khác. Giả sử độ rỗng của cát là  $r_c\%$  được tính toán như sau:

$$r_c\% = [1 - \frac{\gamma_{ok}}{\gamma_a}] \times 100 \quad (5)$$

Lượng nước trộn được điều chỉnh theo sự thay đổi của độ rỗng:

$$A \text{ (kg/m}^3\text{)} = 4.7(r_c - 35) \quad (6)$$

#### 4. Phụ gia:

Hỗn hợp bê tông cường độ cao cần lượng chất kết dính lớn, khi đó lượng nước dùng yêu cầu sẽ cao, nhưng nếu lượng nước vượt quá giới hạn thì lại làm giảm cường độ và ảnh hưởng đến tính bền lâu của bê tông. Do vậy phụ gia giảm nước bắt buộc được dùng trong bê tông cường độ cao, tính năng cao: phụ gia giảm nước bậc cao (HRWR) được sử dụng.

Để chống co ngót của bê tông cường độ cao - tính năng cao, cần pha thêm phụ gia giảm co ngót hoặc phụ gia nở với hàm lượng phù hợp.

### IV. CÁC BƯỚC THIẾT KẾ THÀNH PHẦN HỖN HỢP BÊ TÔNG:

Để thiết kế thành phần bê tông cường độ cao - tính năng cao, cần thực hiện theo các bước sau đây<sup>[1, 4, 6]</sup>:

1. Lựa chọn độ sụt và cường độ yêu cầu.

2. Lựa chọn kích thước lớn nhất của cốt liệu.
3. Lựa chọn lượng cốt liệu thô (đá).
4. Thiết lập lượng nước và hàm lượng khí chứa trong bê tông.
5. Lựa chọn tỷ lệ nước/xi măng (W/C) .
6. Tính toán lượng xi măng cần thiết.
7. Tính toán lượng chất kết dính (xi măng + phụ gia khoáng) cần thiết
8. Tính tỷ lệ của hỗn hợp bê tông khi chưa kể phụ gia.
9. Tính tỷ lệ của hỗn hợp bê tông có cả phụ gia.
10. Tiến hành trộn mẫu thử cho mỗi cấp phối đã thiết kế từ bước 1 đến bước 9.
11. Điều chỉnh thành phần bê tông để đạt được độ lưu động yêu cầu bằng cách điều chỉnh các thành phần vật liệu và hàm lượng phụ gia HRWR.
12. Lựa chọn hỗn hợp tối ưu nhất đạt cường độ yêu cầu và các yêu cầu kỹ thuật khác.

## V. ÁP DỤNG TÍNH TOÁN:

**1. Yêu cầu:** Thiết kế cấp phối cho bê tông cường độ cao - tính năng cao (HS-HPC) có cường độ nén thiết kế ở tuổi 28 ngày đạt 40, 60, 80, 100 MPa; có khả năng chống co ngót cao.

Vật liệu dùng trong tính toán và thí nghiệm có tại phòng thí nghiệm vật liệu của Viện nghiên cứu vật liệu mới Jiangsu Bote New Materials - BST - Trung Quốc có các chỉ tiêu cơ lý như sau:

- *Xi măng:*

+ Cường độ nén tại 7 ngày đạt 49.7 MPa, 28 ngày: 60.1 MPa

+ Thời gian đông kết ban đầu: 110 phút, cuối cùng: 210 phút

+ Khối lượng riêng: 3.15 (g/cm<sup>3</sup>)

- *Phụ gia khoáng:* Gồm silica fume, fly ash và slag. Tỷ lệ % các oxyt cơ bản như sau:

*Bảng 1-3: Thành phần hóa học và chỉ tiêu cơ lý của silica fume, fly ash và slag*

Chỉ tiêu	Silica fume	Fly ash	Slag
SiO <sub>2</sub>	93.15	54.75	34.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.97	29.87	15.11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.01	4.45	1.32
CaO	0.43	23.4	36.50
MgO	0.88	2.7	8.21
SO <sub>3</sub>	0.5	0.6	0.75
γ <sub>a</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	2.20	2.39	2.78
Diện tích bề mặt (Blaine) (m <sup>2</sup> /kg)	24000	452	820

- *Đá dăm:*

+ Khối lượng riêng: 2.76 (g/cm<sup>3</sup>)

+ Khối lượng đơn vị: 1.70 (g/cm<sup>3</sup>)

+ Độ ẩm 0.5%

+ Đường kính lớn nhất: 10 mm và 20 mm

+ Thành phần cấp phối và độ sạch đạt yêu cầu

- *Cát:*

+ Khối lượng riêng: 2.66 (g/cm<sup>3</sup>)

+ Khối lượng đơn vị: 1.65 (g/cm<sup>3</sup>)

+ Độ ẩm: 1.5%

+ Mô đun độ lớn: M<sub>1</sub> = 2.92

+ Thành phần cấp phối và độ sạch đạt yêu cầu

- *Nước:* Dùng nước máy sinh hoạt để trộn bê tông

- *Các phụ gia:*

+ Phụ gia giảm nước (HRWR): Dùng loại JMSBT-PCA(I)

+ Phụ gia chống co ngót: JMSBT-SRA

Tất cả các loại phụ gia này đều được sản xuất tại Viện nghiên cứu vật liệu mới - TP. Nam Kinh - Trung Quốc (Jiangsu Bote Advanced Materials - BST).

**2. Kết quả tính toán thí nghiệm cho các cấp phối bê tông:**

Bảng 1-4: Thành phần vật liệu cho các cấp phối bê tông

Vật liệu	C40	C60	C80	C100
Fly Ash (kg/m <sup>3</sup> )	100	115	133	155
Silica Fume (kg/m <sup>3</sup> )	0	0	80	93
Slag (kg/m <sup>3</sup> )	100	115	0	0
Xi măng (kg/m <sup>3</sup> )	200	230	317	372
Đá (kg/m <sup>3</sup> )	1110	1365	1123	1150
Cát (kg/m <sup>3</sup> )	740	696.5	659.4	630
Nước (kg/m <sup>3</sup> )	160	147	138	136.4
HRWR (kg/m <sup>3</sup> )	2.80	5.52	9.54	15.5
JMSBT-SRA (kg/m <sup>3</sup> )	8.0	9.2	10.6	12.4

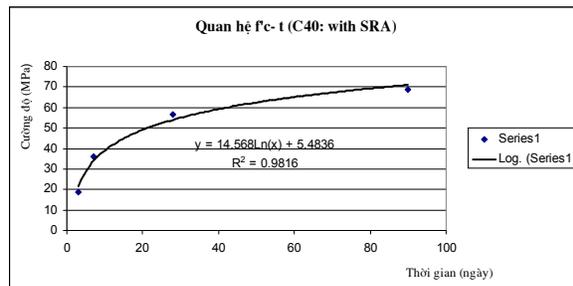
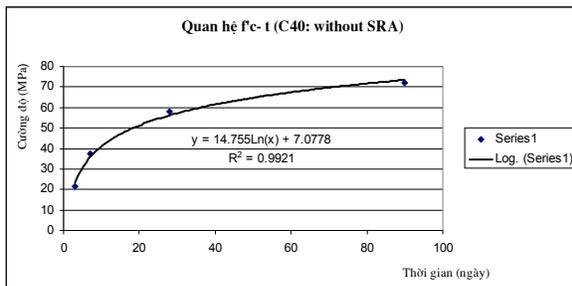
Bảng 1-5: Kết quả thí nghiệm một số chỉ tiêu kỹ thuật cơ bản của bê tông tươi

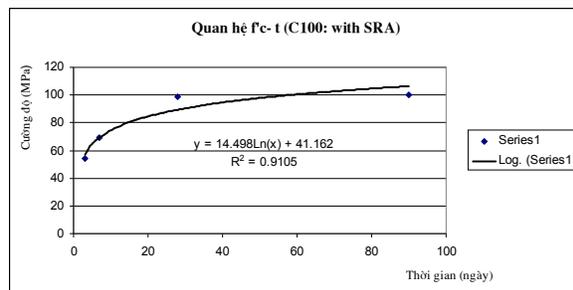
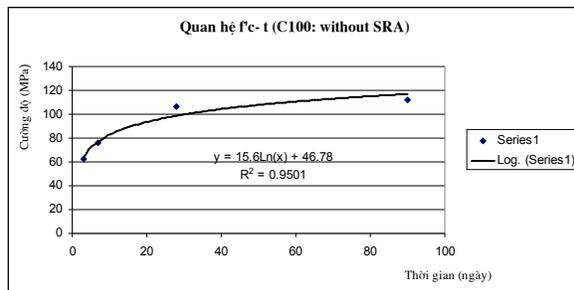
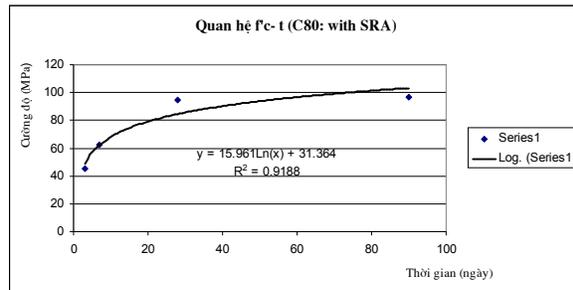
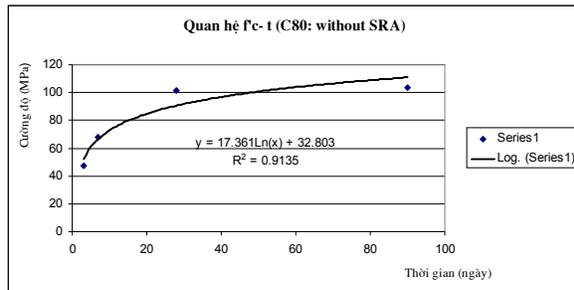
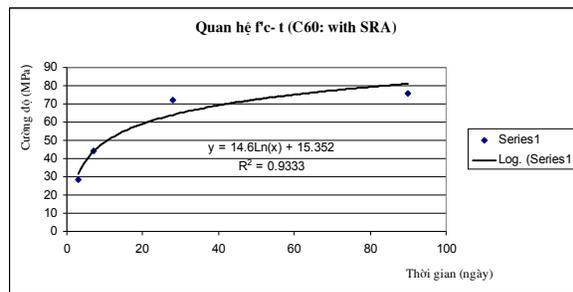
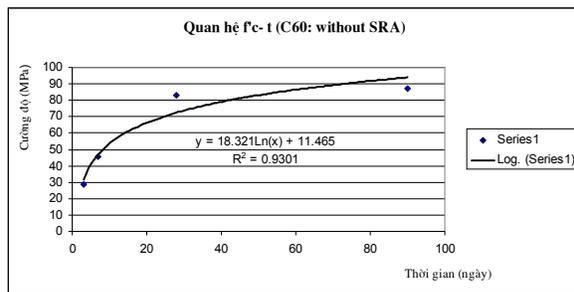
Chỉ tiêu	C40		C60		C80		C100	
	Có SRA	Không có SRA						
$\gamma_{ob}$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.27	2.38	2.35	2.42	2.43	2.46	2.49	2.52
Độ sụt (cm)	22.0	21.4	21.2	20.5	16.8	15.5	14.8	14.2
Hàm lượng khí (%)	3.50	3.20	3.00	2.70	2.40	2.20	1.80	1.70

Bảng 1-6: Kết quả thí nghiệm cường độ nén bê tông

Ngày nén	C40		C60		C80		C100	
	Có SRA	Không có SRA						
3	18.73	21.42	28.37	28.84	45.55	47.10	54.02	62.35
7	36.24	37.50	44.10	45.86	62.34	68.07	69.08	75.69
28	56.79	57.94	72.06	83.28	94.49	101.32	99.05	106.49
90	68.62	71.93	75.67	87.15	96.68	103.55	100.18	112.26

\* Dự đoán cường độ bê tông cho những ngày tuổi lớn hơn 28 ngày:





## VI. KẾT LUẬN:

+ Khi bê tông sử dụng phụ gia giảm co ngót (SRA) thì tính năng của bê tông tươi: độ sụt và độ hàm khí tăng hơn so với bê tông không có SRA, còn khối lượng đơn vị thấp hơn.

+ Khi sử dụng phụ gia giảm nước (HRWR: JMSBT-PCA(I)), tính công tác của bê tông rất cao, độ sụt của bê tông đạt từ 14 cm (C100) đến 22 cm (C40) mà bê tông thông thường với tỷ lệ W/B thấp (W/B = 0.22 ÷ 0.40) không thể đạt được độ sụt đó.

+ Với bê tông tính năng cao có pha thêm phụ gia khoáng (silica fume, slag, fly ash) thì thời gian đầu cường độ phát triển chậm hơn so với bê tông thường (do lượng xi măng giảm đi và thay bằng phụ gia khoáng), sau tăng nhanh và đạt cường độ rất cao. Tuy nhiên, khi bê tông có phụ gia giảm co ngót (SRA) thì thời gian đầu cường độ bê tông tăng nhanh hơn, nhưng giai đoạn sau

cường độ tăng chậm và có giá trị thấp hơn so với bê tông không có SRA.

Do đó với HS-HPC có tỷ lệ W/B thấp thì phụ gia khoáng (silica fume, slag, fly ash) và HRWR là cần thiết trong thiết kế thành phần cấp phối. Tuy nhiên hàm lượng phụ gia khoáng như thế nào là tối ưu nhất sẽ được đề cập ở các nghiên cứu tiếp theo.

+ Từ các dự đoán cường độ bê tông ở các tuổi lớn hơn 28 ngày có hệ số hồi quy  $R^2 > 0.9$ , đảm bảo độ tin cậy cho dự đoán kết quả cường độ bê tông. Qua đó ta có thể tính toán tiết kiệm được vật liệu sử dụng một cách hiệu quả nhất mà vẫn đảm bảo cường độ thiết kế yêu cầu.

+ Ngoài ra, tính bền, tính co ngót của bê tông cường độ cao - tính năng cao, biện pháp giảm co ngót và các tính năng kỹ thuật có liên quan đến co ngót sẽ được đề cập ở bài viết sau.

**Tài liệu tham khảo:**

- [1]. Dr. Edward G.Nawy, P.E., C.Eng, fundamentals of high performance concrete.
- [2]. S. Newbolds, J.Olek, 2002, influence of curing conditions on strength properties and maturity development of concrete.
- [3]. J.Olek, A.Lu, X.Feng, B.Magee, 2002, Performance related specifications for concrete bridge superstructures, volume 2: High performance concrete.
- [4]. ACI 363R-92, State-of-art report on high strength concrete.
- [5]. Kenneth W.Meeks, Nicholas J.Carino, Curing of high performance concrete: Report of the stated-of-the-art.
- [6]. ACI Committee 211, "Guide for selecting proportions for high strength concrete with Portland cement and Fly ash (ACI 211.4R), American concrete institute, Detroit, 1993.
- [7]. ACI Committee 209, "Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures", in *ACI Manual of Concrete Practice*. American Concrete Institute: Farmington Hills, MI. 1997, p. 209R.1-209R.47.
- [8]. HPC Bridge views, No.4, July/August 1999, published by the Federal Highway Administration and National concrete bridge council.
- [9]. Một số tiêu chuẩn ACI, ASTM, AASHTO T & M.

**Abstract:****PROPORTION OF HIGH STRENGTH, HIGH PERFORMANCE CONCRETE WITH CAPABILITY TO REDUCE SHRINKAGE**

*High strength, high performance concrete mixtures are usually produced with water/binder (W/B) ratios in the range of 0.2 ÷ 0.4, where normal density aggregates are used. To achieve this low W/B ratio and maintain proper workability it is necessary to use water reducing admixtures. Often this is not sufficient to produce very high strength concrete mixes with compressive strength above 80 MPa and therefore, it is necessary to add mineral admixtures such as silica fume, fly ash, and slag are used in order to increase the high performance of concrete. However, when concrete have low water to binder ratio the shrinkage don't avoid because the volume changes occur in concrete as a result of drying, self-desiccation, chemical reactions, and temperature change. For this reason, in this report some mixes of HS-HPC are designed with shrinkage reducing admixture (SRA) to aim reducing shrinkage of concrete.*

**Keyword:** High strength (HS), high performance concrete (HPC), silica fume (SF), fly ash (FA), slag, shrinkage reducing admixture (SRA)