

DỰ ĐOÁN MÔ ĐUN ĐÀN HỒI CỦA BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO, TÍNH NĂNG CAO CÓ CHỨA PHỤ GIA GIẢM CO NGÓT

NGUYỄN QUANG PHÚ^{1,2}, JIANG LIN HUA¹,
LIU JIAPING³, TIAN QIAN³

Tóm tắt: *Gần đây sự dự đoán đặc tính cơ học của bê tông dựa vào các tính chất của nó rất được quan tâm. Trong các nghiên cứu gần đây, mọi sự cố gắng đều đưa ra các công thức thực nghiệm dự đoán mô đun đàn hồi của bê tông cường độ cao, tính năng cao dựa trên một số đặc điểm đã biết của hỗn hợp bê tông (hàm lượng phụ gia khoáng, cốt liệu, tỷ lệ nước/chất kết dính...). Để dự đoán mô đun đàn hồi của bê tông cường độ cao, tính năng cao dựa vào cường độ nén của bê tông và nghiên cứu ảnh hưởng của phụ gia giảm co ngót đến mô đun đàn hồi thì hai tỷ lệ nước/chất kết dính (W/CM = 0.22 và 0.40) và bốn tỷ lệ phụ gia giảm co ngót (0%, 1%, 2% và 4%) được lựa chọn cho thí nghiệm. Các mẫu thí nghiệm được đúc, bảo dưỡng và kiểm tra sau 7 và 28 ngày để xác định mô đun đàn hồi và cường độ nén. Độ tin cậy của công thức dự đoán đó được kiểm tra với các số liệu thí nghiệm độc lập và so sánh với các công thức dự đoán đã có.*

I. TỔNG QUAN

Mối tương quan giữa mô đun đàn hồi của bê tông và đặc điểm các thành phần của nó đã được quan tâm từ lâu đối với các kỹ sư và các nhà nghiên cứu^[1]. Đã có nhiều nghiên cứu đưa ra các công thức thực nghiệm để dự đoán mô đun đàn hồi dựa trên các thành phần vật liệu (tỷ lệ nước/chất kết dính, hàm lượng phụ gia khoáng, loại cốt liệu và hàm lượng cốt liệu trong bê tông...) và các đặc tính cơ lý của bê tông, như Viện bê tông Mỹ (ACI)^[2, 3], Hiệp hội bê tông Canada (CSA)^[4], Tiêu chuẩn châu Âu cho thiết kế bê tông công trình (CEB)^[5], Hiệp hội bê tông Na Uy (NSA) và một số công thức của các nhà nghiên cứu^[6] được diễn đạt qua các công thức sau:

Công thức của Viện bê tông Mỹ (ACI)

ACI 318M-95:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (1-1)$$

ACI 363 & Martinez:

$$E_c = (3320 \sqrt{f'_c} + 6900) \cdot \left(\frac{w_c}{2346} \right)^{1.5} \quad (1-2)$$

*Công thức của Hiệp hội bê tông Canada (CSA)
CSA A23.3:*

$$E_c = (3300 \sqrt{f'_c} + 6900) \cdot \left(\frac{w_c}{2300} \right)^{1.5} \quad (1-3)$$

*Công thức của Tiêu chuẩn châu Âu (CEB)
CEB-FIP-90:*

$$E_c = 10000(f'_c + 8)^{0.33} \quad (1-4)$$

*Công thức của Hiệp hội bê tông Na Uy (NSA)
và tác giả Smeplas*

$$E_c = 9500 f_c^{0.3} \cdot \left(\frac{w_c}{2400} \right)^{1.5} \quad (1-5)$$

Trong đó:

f'_c : Cường độ nén của bê tông (MPa)

E_c : Mô đun đàn hồi (MPa)

w_c : Khối lượng đơn vị của bê tông (kg/m³)

II. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU

Dự đoán mô đun đàn hồi của bê tông cường độ cao, tính năng cao dựa vào đặc tính cơ học là cường độ nén của bê tông có xét tới ảnh hưởng của phụ gia giảm co ngót cho hai tỷ lệ nước/chất kết dính (W/CM = 0.22 và 0.40) và bốn tỷ lệ phụ gia giảm co ngót (0%, 1%, 2% và 4%). Số liệu thí nghiệm được kiểm tra tại thời điểm 7 và 28 ngày tuổi. Công thức dự đoán được kiểm tra so sánh với một số công thức đã có ở trên để đánh giá độ chính xác.

1. Khoa Vật liệu Xây dựng, trường Đại học Hồ Hải, TP. Nam Kinh, Trung Quốc

2. NCS Trung Quốc - 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

III. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

III.1. Vật liệu:

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 Advanced Materials - BST - Trung Quốc. Các chỉ tiêu cơ lý của vật liệu như sau:

1. 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/cm³)

2. *Phụ gia khoáng*: Gồm silica fume, fly ash và slag. Tỷ lệ % các oxyt cơ bản của phụ gia khoáng như trong bảng 3-1

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

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

3. Đá dăm:

+ Khối lượng riêng: 2.76 (g/cm³)

+ Khối lượng đơn vị: 1.70 (g/cm³)

+ Độ ẩm: 0.5%

+ Đường kính lớn nhất: 10 mm và 20 mm

+ Thành phần cấp phối và độ sạch đạt yêu cầu

4. Cát:

+ Khối lượng riêng: 2.66 (g/cm³)

+ Khối lượng đơn vị: 1.65 (g/cm³)

+ Độ ẩm: 1.5%

+ Mô đun độ lớn: $M_1 = 2.92$

+ Thành phần cấp phối và độ sạch đạt yêu cầu

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

6. 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).

III.2. Phương pháp thí nghiệm:

Thiết kế thành phần bê tông cường độ cao - tính năng cao cho hai tỷ lệ nước/chất kết dính là: W/CM = 0.22 và 0.40

Thay đổi hàm lượng phụ gia giảm co ngót (SRA) với các tỷ lệ tương ứng là 0%, 1%, 2% và 4% so với hàm lượng chất kết dính (xi măng + phụ gia khoáng) cho từng cấp phối bê tông. Xác định khối lượng đơn vị của bê tông tươi cho các cấp phối bê tông tương ứng.

Đúc mẫu kích thước (10x10x10) cm để kiểm tra cường độ nén, kích thước (10x10x30) cm để kiểm tra mô đun đàn hồi. Mẫu được tháo khuôn sau 24 giờ và bảo dưỡng trong điều kiện môi trường tiêu chuẩn. Kiểm tra các mẫu thí nghiệm sau 7 và 28 ngày tuổi.

IV. Kết quả thí nghiệm

Kết quả thiết kế thành phần bê tông được thể hiện ở bảng 4-1, kết quả khối lượng đơn vị của bê tông tươi ở bảng 4-2, cường độ nén của bê tông cho các ngày tuổi ở bảng 4-3 và mô đun đàn hồi của bê tông ở bảng 4-4.

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

Vật liệu	W/CM = 0.40	W/CM = 0.22
Fly Ash (kg/m ³)	100	155
Silica Fume (kg/m ³)	0	93
Slag (kg/m ³)	100	0
Xi măng (kg/m ³)	200	372
Đá (kg/m ³)	1110	1150
Cát (kg/m ³)	740	630
Nước (kg/m ³)	160	136.4
HRWR (kg/m ³)	2.80	15.5

Bảng 4-2: Kết quả thí nghiệm khối lượng đơn vị của bê tông tươi

Chỉ tiêu	W/CM = 0.40				W/CM = 0.22			
	0% SRA	1% SRA	2% SRA	4% SRA	0% SRA	1% SRA	2% SRA	4% SRA
γ_{ob} (g/cm ³)	2.38	2.37	2.27	2.15	2.52	2.52	2.49	2.45

Bảng 4-3: Kết quả thí nghiệm cường độ nén bê tông

Ngày nén	W/CM = 0.40				W/CM = 0.22			
	0% SRA	1% SRA	2% SRA	4% SRA	0% SRA	1% SRA	2% SRA	4% SRA
7	37.50	36.75	36.24	31.69	75.69	74.54	69.08	57.69
28	57.94	56.90	56.79	52.31	106.49	99.85	99.05	88.45

Bảng 4-4: Kết quả thí nghiệm mô đun đàn hồi của bê tông

Ngày nén	W/CM = 0.40				W/CM = 0.22			
	0% SRA	1% SRA	2% SRA	4% SRA	0% SRA	1% SRA	2% SRA	4% SRA
7	35.82	35.51	34.06	31.26	46.60	46.48	46.00	40.62
28	41.85	41.75	40.22	38.69	49.71	48.98	48.20	48.08

V. DỰ ĐOÁN MÔ ĐUN ĐÀN HỒI CỦA BÊ TÔNG VÀ ĐÁNH GIÁ ĐỘ TIN CẬY CỦA CÔNG THỨC THỰC NGHIỆM

V.1. Dự đoán mô đun đàn hồi của bê tông

Dựa vào cường độ nén của bê tông để dự đoán mô đun đàn hồi, kết quả của mối quan hệ giữa mô đun đàn hồi và cường độ nén của các mẫu thí nghiệm có quan hệ hồi quy, quan hệ đó được thể

hiện ở công thức 5-1. Đường cong biểu diễn quan hệ đó được thể hiện ở hình 5-1 dưới đây.

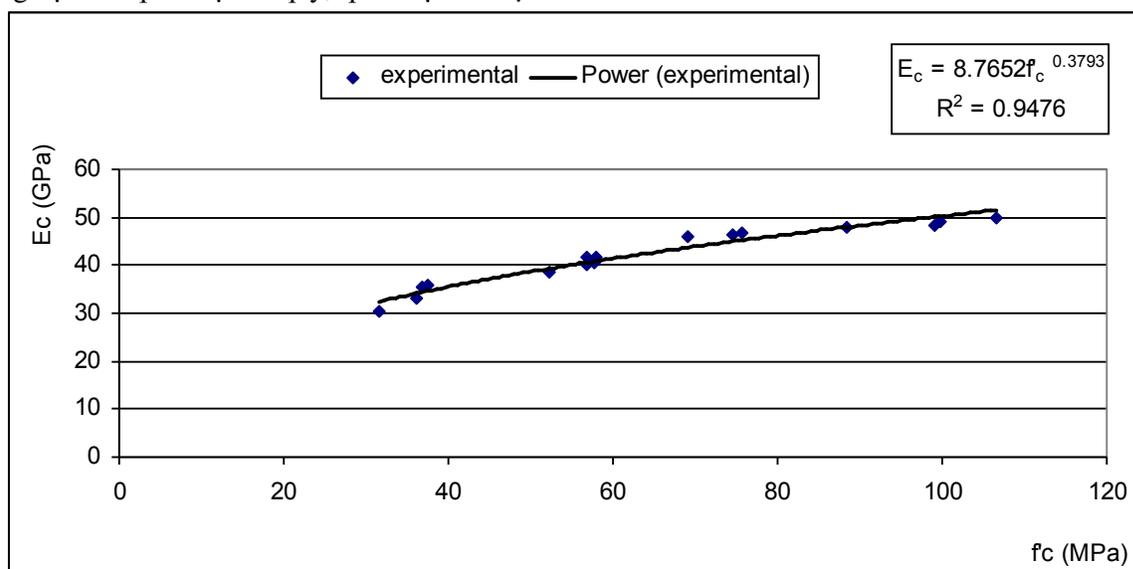
$$E_c = 8.7652f_c^{0.3793}, \quad R^2 = 0.9476 \quad (5-1)$$

Trong đó:

E_c : mô đun đàn hồi (GPa)

f_c : cường độ nén (MPa)

R^2 : hệ số hồi quy



Hình 5-1: Quan hệ giữa mô đun đàn hồi và cường độ nén của bê tông

V.2. Đánh giá độ tin cậy của công thức thực nghiệm

Để đánh giá độ tin cậy của công thức đã dự đoán, bài báo sử dụng một số kết quả nghiên cứu độc lập của một số nhà nghiên cứu để kiểm tra sai số giữa giá trị thí nghiệm và các kết quả tính theo các công thức thực nghiệm. Qua đó

cho thấy công thức dự đoán (5-1) có sai số có thể chấp nhận được và cũng nằm trong phạm vi sai số của các công thức thực nghiệm đã có, đảm bảo độ tin cậy cho dự đoán mô đun đàn hồi của bê tông cường độ cao, tính năng cao. Kết quả đánh giá sai số được thể hiện trong bảng 5-1 dưới đây.

Bảng 5-1: Đánh giá độ tin cậy của công thức dự đoán và các công thức thực nghiệm đã có

Dữ liệu	f_c (MPa)	E_c (GPa)	E_c (GPa) / Sai số (%)					
			CT dự đoán	CT (1-1)	CT (1-2)	CT (1-5)	CT (1-4)	CT (1-3)
Larrard & Belloc [1]	90.90	52.10	48.49 (-6.93)	44.81 (-13.99)	38.95 (-25.24)	36.29 (-30.34)	45.54 (-12.59)	39.53 (-24.13)
Iravani 1996 [6]	120.00	58.80	53.88 (-8.37)	51.49 (-12.44)	39.65 (-32.56)	35.79 (-39.14)	49.59 (-15.67)	40.24 (-31.56)
Iravani 1996 [6]	66.00	42.00	42.95 (2.25)	38.18 (-9.09)	34.22 (-18.53)	32.97 (-21.50)	41.39 (-1.46)	34.74 (-17.30)
Khayat et al. 1995 [8]	85.00	45.50	47.27 (3.89)	43.33 (-4.77)	36.29 (-20.23)	34.07 (-25.12)	44.63 (-1.92)	36.84 (-19.04)
Giaacio et al.1992 [12]	77.50	48.50	45.64 (-5.89)	41.38 (-14.69)	33.11 (-31.73)	31.39 (-35.29)	43.41 (-10.50)	33.61 (-30.71)
Giaacio et al.1992 [12]	87.00	46.50	47.69 (2.56)	43.84 (-5.72)	40.68 (-12.53)	38.09 (-18.09)	44.94 (-3.35)	41.28 (-11.22)
Giaacio et al.1992 [12]	58.20	39.00	40.94 (4.99)	35.86 (-8.06)	34.62 (-11.24)	33.76 (-13.44)	39.89 (2.29)	35.14 (-9.89)
Baalbaki et al.1992 [13]	100.00	51.00	50.28 (-1.42)	47.00 (-7.84)	43.07 (-15.54)	39.71 (-22.13)	46.88 (-8.07)	43.72 (-14.28)
Aitcin&Mehta. 1990 [14]	97.30	47.90	49.76 (3.88)	46.36 (-3.21)	42.59 (-11.09)	39.39 (-17.77)	46.49 (-2.93)	43.23 (-9.76)
Larrard & Belloc [1]	109.50	52.60	52.04 (-1.07)	49.18 (-6.50)	43.49 (-17.32)	39.67 (-24.57)	48.21 (-8.35)	44.13 (-16.10)

* CT: Công thức

VI. Kết luận

+ Khi bê tông cường độ cao, tính năng cao có phụ gia giảm co ngót (SRA) thì cả cường độ nén và mô đun đàn hồi đều giảm khi hàm lượng SRA tăng lên. Tuy nhiên ảnh hưởng của SRA đến mô đun đàn hồi cũng không nhiều; so với mẫu không có phụ gia giảm co ngót, mô đun đàn hồi giảm từ 3 đến 8%; trong khi đó cường độ nén của bê tông giảm từ 10 đến 18%. Vì vậy khi pha phụ gia giảm co ngót (SRA) nhằm mục đích giảm co ngót cho bê tông cường độ cao,

tính năng cao thì cần quan tâm đến vấn đề này.

+ Quan hệ giữa mô đun đàn hồi và cường độ nén của bê tông có thể được diễn đạt bởi công thức (5-1) với độ tin cậy cho phép.

+ Để dự đoán một cách chính xác hơn mô đun đàn hồi của bê tông cường độ cao, tính năng cao; cần thiết phải thí nghiệm hàng loạt các tỷ lệ nước/chất kết dính khác nhau cùng với các loại vật liệu khác nhau, từ đó có xét tới các yếu tố ảnh hưởng của vật liệu đến mô đun đàn hồi.

Tài liệu tham khảo

1. Larrad, F. & Belloc, A. (1997). The influence of aggregate on the compressive strength of normal and high strength concrete. ACI Materials Journal, 94(5), P417-426.

2. Pauw, A. (1960). Static modulus of concrete as affected by density. ACI Journal Proceedings, 57(6), P679-688.
3. ACI Committee 318-95, (1995). Building code requirement for reinforced concrete, Metric System, American Concrete Institute, Detroit.
4. CSA A23.3-94, (1995). Design of concrete structures. Canadian Standard Association, Rexdale, Ontario, Canada.
5. CEB/FIP Model MC90, (1997). European Standard for Design of Concrete Structures, P.348.
6. Iravani, S. (1996). Mechanical properties of high performance concrete. ACI Materials Journal, 93(5), P416-426.
7. ACI Committee 363-92, (1998). State-of-the-art report on high strength concrete. ACI Manual of Concrete Practice, Part 3.
8. Khayat, K. H., Bickley, J. A. & Hooton, R. D. (1995). High strength concrete properties derived from compressive strength values. Cement, Concrete, and Aggregate. CCAGDP, 17(2), P126-133.
9. Dr. Edward G. Nawy, P.E., C.Eng, fundamentals of high performance concrete
10. Parrott, L. J. (1969). Production and properties of high strength concrete, Concrete, 3(11), P443-448.
11. ACI Committee 211-89, (1998). Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Part 3.
12. Giaacio, G., Rocco, C., Violini, D., Zappitelli, J. & Zerbino, R. (1992). High strength concrete incorporating different coarse aggregate. ACI Materials Journal, 89(3), P242-246.
13. Baalbaki, W., Aitcin, P. C. & Ballivy, G. (1992). On predicting modulus of elasticity in high strength concrete. ACI Materials Journal, 89(5), P517-520.
14. Aitcin, P. C. & Mehta, P. K. (1990). Effect of coarse aggregate characteristics on mechanical properties of high strength concrete. ACI Materials Journal, 87(2), P103-107.

Abstract:

**PREDICTION OF THE MODULUS OF ELASTICITY
OF HIGH STRENGTH, HIGH PERFORMANCE CONCRETE CONTAINING
SHRINKAGE REDUCING ADMIXTURE**

Recently, the prediction of the mechanical characteristics of concrete according to its components' properties has been great interest. In the current study, attempts have been made to some experimental models to predict the modulus of elasticity of high strength - high performance concrete (HS-HPC) based on some known characteristics of the concrete mix (the percentage of mineral admixtures, aggregate, and water to cementitious materials ratios ...). To predict the modulus of elasticity of HS-HPC based on the compressive strength and research the influence of shrinkage reducing admixture on modulus of elasticity, two of water to cementitious materials ratios ($W/CM = 0.22$ and 0.40) and four percentage of shrinkage reducing admixture (0%, 1%, 2% and 4%) were selected. The specimens were cast, cured and tested after 7 and 28 days to determine the modulus of elasticity and compressive strength. The credibility of model was verified using some independent experimental data and comparison of the predicted model with some experimental models from the literature.

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