

DỰ ĐOÁN MÔ ĐUN ĐÀN HỒI CỦA BÊ TÔNG TỰ LÈN SỬ DỤNG TỔ HỢP PHỤ GIA KHOÁNG TRO TRÁU VÀ XI LÒ CAO

Nguyễn Quang Phú¹

Tóm tắt: Khi thay thế chất kết dính bằng 15% tro trấu và 30% xi lò cao hoạt tính, kết hợp lượng dùng phụ gia siêu dẻo hợp lý sẽ chế tạo được bê tông tự lèn có cường độ nén đạt mức từ 30 đến 60MPa, bê tông tự lèn có tính công tác tốt, cường độ nén cao, phù hợp cho thi công các công trình Thủy lợi. Từ kết quả thí nghiệm cường độ nén, dự đoán mô đun đàn hồi của bê tông, công thức thực nghiệm đảm bảo độ tin cậy cho dự đoán mô đun đàn hồi của các mức bê tông tự lèn thiết kế.

Từ khóa: Bê tông tự lèn; Xi lò cao hoạt tính; Tro trấu; Phụ gia siêu dẻo; Cường độ nén; Mô đun đàn hồi.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông tự lèn (BTTL) là loại bê tông khi thi công không cần công năng đầm chặt, hỗn hợp bê tông có độ linh động cao, khả năng lèn chặt tốt sẽ làm tăng độ đặc chắc của các kết cấu bê tông và bê tông cốt thép, giúp giải quyết được các giải pháp thi công mà bê tông thường không thể đáp ứng được. Tuy nhiên, BTTL sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính kết hợp tro trấu và xi lò cao hoạt tính vẫn chưa được chế tạo phổ biến và sử dụng một cách đa dạng với các loại vật liệu khác nhau, do đó cần phải phát triển loại bê tông này để đáp ứng yêu cầu cho các công trình nói chung và các công trình Thủy lợi có kết cấu phức tạp, thành mỏng, dày cốt thép là điều cần thiết.

Bê tông là loại vật liệu giòn, cấu trúc cũng như đặc tính kỹ thuật của bê tông sử dụng cần được nghiên cứu, phân tích và dự đoán một cách chính xác. Từ kết quả thí nghiệm cường độ nén, có thể dự đoán được mô đun đàn hồi của bê tông, qua đó sử dụng các số liệu này trong phân tích ứng suất biến dạng của các kết cấu bê tông và bê tông cốt thép; thông qua đó giúp cho việc bố trí và sử dụng vật liệu trong các kết cấu của công trình một cách hiệu quả và phù hợp với khả năng chịu lực, đảm bảo tính ổn định cho các công trình xây dựng.

2. VẬT LIỆU SỬ DỤNG TRONG NGHIÊN CỨU

2.1. Xi măng

Đề tài sử dụng xi măng PC40 Hà Tiên để thiết kế bê tông tự lèn; kết quả thí nghiệm một số chỉ tiêu cơ lý của xi măng như: Khối lượng riêng 3.15 g/cm³, lượng nước tiêu chuẩn 29.4%, giới hạn bền nén tuổi 28 ngày đạt 49.6 N/mm²; xi măng đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 2682:2009.

2.2. Phụ gia khoáng hoạt tính

+ **Tro trấu:** được phân tích và thí nghiệm một số tính chất cơ lý như sau: Khối lượng riêng 2.24 g/cm³, khối lượng thể tích xốp 0.48 g/cm³, lượng mất khi nung 1.95%, kính thước hạt trung bình 7.89 μm, chỉ số hoạt tính với xi măng 115%; tro trấu đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 8827:2011.

+ **Xi lò cao hoạt tính:** Xi được lấy từ nhà máy gang thép Hòa Phát và được đưa về phòng nghiên cứu vật liệu để thí nghiệm. Tính chất cơ lý của xi lò cao hoạt tính như sau: Khối lượng riêng 2.88 g/cm³, khối lượng thể tích xốp 0.82 g/cm³, lượng mất khi nung 1.52%, chỉ số hoạt tính cường độ sau 28 ngày đạt 109%; xi lò cao hoạt tính đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 11586:2016.

2.3. Cát liệu

+ **Cát (cát liệu mịn)** cũng là một phần rất quan trọng của hỗn hợp bê tông, nó ảnh hưởng đến độ chảy xè và khả năng điền đầy của hỗn hợp BTTL trong quá trình thi công. Trong thí nghiệm sử dụng cát tự nhiên, cát lấy từ công trình và đưa về phòng thí nghiệm; kết quả thí nghiệm một số tính

¹Bộ môn Vật liệu xây dựng, Khoa Công trình - ĐH Thủy lợi

chất cơ lý của cát: Khối lượng riêng 2.67 g/cm³, khối lượng thể tích xốp 1.66 g/cm³, mô đun độ lớn 2.66; cát sử dụng có thành phần hạt và các chỉ tiêu cơ lý phù hợp TCVN 7570:2006.

+ **Đá dăm (cốt liệu thô)** lấy ở công trình xây dựng và được đưa về phòng để thí nghiệm, đá dăm cỡ hạt (5-20) mm có thành phần hạt và tính chất cơ lý đạt tiêu chuẩn TCVN 7570:2006; Kết quả thí nghiệm một số tính chất cơ lý của đá: Khối lượng riêng 2.76 g/cm³, khối lượng thể tích xốp 1.68 g/cm³, độ hút nước 0.52%.

2.4. Nước sử dụng để trộn và bảo dưỡng bê tông là nước sinh hoạt phù hợp tiêu chuẩn TCVN 4506:2012.

2.5. Phụ gia hoá học: Để hỗn hợp bê tông có tính công tác và khả năng lèn chặt tốt thì hỗn hợp bê tông thiết kế không được phép xảy ra hiện

tượng phân tầng và tách nước. Thông thường, khi chế tạo BTTL phải sử dụng phụ gia tăng tính lưu biến, tuy nhiên đề tài nghiên cứu đã sử dụng phụ gia siêu dẻo giảm nước bậc cao AM-S50 gốc Polycarboxylate (PC) để thay thế, thông qua thí nghiệm để xác định tỷ lệ pha trộn hợp lý, đảm bảo tính công tác yêu cầu của hỗn hợp bê tông và mác bê tông thiết kế.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thiết kế cấp phối bê tông tự lèn

Sử dụng tổ hợp phụ gia khoáng gồm: Tro trấu + Xi lò cao, đề tài tiến hành thiết kế cho các mác bê tông M30, M40, M50 và M60. Trong thiết kế đã sử dụng thay thế xi măng Pooc-lăng bằng 30% GBFS và 15% RHA trong thành phần bê tông, thành phần các loại vật liệu cho 1m³ bê tông thiết kế như trong bảng 1.

Bảng 1. Thành phần vật liệu cho 1m³ bê tông thiết kế

Mác bê tông	Xi măng (kg)	Phụ gia khoáng		Nước (lít)	Cát (kg)	Đá dăm (kg)	Phụ gia hóa học (lít)
		Tro trấu (kg)	Xi lò cao (kg)				
M30	280.5	76.5	153	183	780	956	6.2
M40	319.0	87.0	174	180	800	874	7.0
M50	346.5	94.5	189	177	814	819	7.6
M60	357.5	97.5	195	163	885	765	8.0

Sau khi thiết kế thành phần vật liệu cho 1m³ bê tông, tiến hành phối trộn vật liệu đúng tiêu chuẩn và thí nghiệm xác định một số tính chất kỹ thuật của các hỗn hợp bê tông tự lèn như: độ chảy xòe và khả năng tự lèn của hỗn hợp bê tông. Sau đó, đúc mẫu thí nghiệm cường độ nén và mô đun đàn hồi của tất cả các mác bê tông thiết kế theo các tiêu chuẩn hiện hành.

3.2. Kết quả thí nghiệm độ chảy xòe và khả năng tự lèn của HGBT

Tiến hành trộn vật liệu các cấp phối bê tông thiết kế như bảng 1, thí nghiệm xác định độ chảy xòe của các hỗn hợp bê tông theo tiêu chuẩn. Sử dụng khuôn hình L-box để thí nghiệm khả năng tự lèn (khả năng chảy qua cốt thép) của các hỗn hợp bê tông tự lèn thiết kế. Kết quả thí nghiệm thể hiện như trong bảng 2.

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm độ chảy xòe và khả năng tự lèn các hỗn hợp bê tông

Mác bê tông	M30	M40	M50	M60
Độ chảy xòe (cm)	81	79	73	70
H ₂ /H ₁	0.98	0.96	0.91	0.88

Nhận xét: Từ kết quả thí nghiệm độ chảy xòe ở bảng 2 của các hỗn hợp bê tông thiết kế nhận thấy, các cấp phối bê tông thiết kế đều thỏa mãn yêu cầu tính công tác của bê tông tự lèn theo TCVN

12209:2018, độ chảy xòe của các hỗn hợp bê tông đều nằm trong phạm vi cho phép từ 65 đến 85 cm. Độ đồng nhất của hỗn hợp bê tông rất tốt, không phân tầng, không tách nước tại mép rìa ngoài của hỗn hợp.

Theo TCVN 12209:2018 thì tất cả các cấp phối bê tông tự lèn thiết kế đều đạt yêu cầu về khả năng tự lèn chặt ($H_2/H_1 \geq 0.8$), bê tông thỏa mãn về khả năng chảy qua cốt thép. Qua kết quả ở bảng 2 nhận thấy, với các mác bê tông thấp như M30 và M40 thì việc sử dụng phụ gia khoáng siêu mịn là Tro trấu kết hợp Xi lò cao hoạt tính sẽ cho độ lèn chặt rất tốt, H_2/H_1 gần bằng 1, khả năng chảy của hỗn hợp bê tông tốt nhất.

3.3. Kết quả thí nghiệm cường độ nén và mô đun đàn hồi

Để thí nghiệm cường độ nén, đúc các tổ mẫu

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm cường độ nén và mô đun đàn hồi của các mác bê tông thiết kế

STT	Mác bê tông	Cường độ nén, MPa				Mô đun đàn hồi, E_c (GPa)	
		3 ngày	7 ngày	28 ngày	90 ngày	7 ngày	28 ngày
1	M30	14.8	24.8	34.7	38.8	23.45	31.88
2	M40	19.5	32.5	46.6	51.2	30.86	37.85
3	M50	26.7	37.8	58.5	63.6	35.50	41.62
4	M60	28.5	41.2	68.6	74.6	37.66	43.85

Nhận xét: Từ kết quả thí nghiệm cường độ nén của các cấp phối bê tông tự lèn thiết kế nhận thấy: tất cả các cấp phối bê tông đều có cường độ nén vượt mác thiết kế ở tuổi 28 ngày. Tuy nhiên, khi bê tông pha phụ gia khoáng Tro trấu và Xi lò cao hoạt tính làm giảm thành phần khoáng vật của xi măng Poolăng thì cường độ nén ở 28 ngày tuổi của tất cả các cấp phối tăng chậm so với mác thiết kế từ 14.3% đến 17.0%; còn ở tuổi 90 ngày thì cường độ tăng cao hơn, tăng từ 24.3% đến 29.3% của tất cả các mác thiết kế. Điều này được lý giải là sau 28 ngày tuổi thì phản ứng thủy phân thủy hóa của các thành phần khoáng vật xi măng Pooclang được triệt để, thành phần $Ca(OH)_2$ được tạo ra nhiều hơn, làm cho phản ứng puzolanic của PGK tốt hơn, tạo ra các tinh thể rắn chắc và tăng độ đặc chắc của cấu trúc bê tông, làm tăng cường độ bê tông.

Như kết quả thí nghiệm trong bảng 3 thì mô đun đàn hồi của bê tông tăng khi cường độ nén bê tông tăng và ngày tuổi của mẫu thí nghiệm tăng. Để xác định chính xác mô đun đàn hồi của các mác bê tông khác nhau, cần thiết phải thí nghiệm kiểm tra song song giữa cường độ nén và mô đun đàn hồi tương ứng của nhiều tổ mẫu khác nhau ở nhiều

thí nghiệm hình lập phương có kích thước (15x15x15) cm, mẫu đúc thí nghiệm được chế tạo và bảo dưỡng theo TCVN 3105:1993. Thí nghiệm cường độ nén ở 3, 7, 28 và 90 ngày tuổi đối với các mác bê tông thiết kế.

Thí nghiệm mô đun đàn hồi, tiến hành đúc các tổ mẫu thí nghiệm có kích thước (10x10x30) cm, mẫu được chế tạo và bảo dưỡng theo TCVN 3105:1993. Bảo dưỡng mẫu trong điều kiện môi trường tiêu chuẩn sau 7 và 28 ngày tuổi kiểm tra mô đun đàn hồi.

ngày tuổi khác nhau, thông qua các kết quả thí nghiệm đó dự đoán công thức tính mô đun đàn hồi từ cường độ nén của bê tông; sau đó, kiểm tra độ chính xác của công thức với một số công thức thực nghiệm đã có của một số nhà khoa học trên thế giới đã được công bố.

Gần đây, việc dự đoán đặc tính cơ học của bê tông dựa vào một số tính chất của nó rất được quan tâm. Trong một vài 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 tự lèn dựa trên một số đặc điểm của hỗn hợp bê tông đã biết như: hàm lượng phụ gia khoáng, loại phụ gia, cốt liệu, tỷ lệ nước/chất kết dính.... Để dự đoán mô đun đàn hồi của bê tông tự lèn dựa vào cường độ nén của bê tông và nghiên cứu ảnh hưởng của các loại phụ gia khoáng (Tro trấu và Xi lò cao hoạt tính) đến mô đun đàn hồi thì các mẫu thí nghiệm được đúc, bảo dưỡng, tiến hành kiểm tra xác định mô đun đàn hồi và cường độ nén sau 7 và 28 ngày tuổi như kết quả ở trên bảng 3. Độ tin cậy của công thức dự đoán đã được kiểm tra với các số liệu thí nghiệm độc lập và so sánh với các công thức dự đoán đã có của một số nhà khoa học trên thế giới đã được công bố.

Một số công thức thực nghiệm xác định mô đun đàn hồi (E_c) đặc trưng như Viện bê tông Mỹ (ACI), Hiệp hội bê tông Canada (CSA), tiêu

chuẩn châu Âu (CEB), hiệp hội bê tông Na Uy (NSA) và một số công thức của các nhà nghiên cứu như sau:

+ Công thức của Viện bê tông Mỹ (ACI)

$$\text{ACI 318M-95: } E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (1)$$

$$\text{ACI 363 \& Martinez: } E_c = (3320 \sqrt{f'_c} + 6900) \cdot \left(\frac{w_c}{2346} \right)^{1.5} \quad (2)$$

+ Công thức của Hiệp hội bê tông Canada (CSA)

$$\text{CSA A23.3: } E_c = (3300 \sqrt{f'_c} + 6900) \cdot \left(\frac{w_c}{2300} \right)^{1.5} \quad (3)$$

+ Công thức của Tiêu chuẩn châu Âu (CEB):

$$\text{CEB-FIP-90: } E_c = 10000(f'_c + 8)^{0.33} \quad (4)$$

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

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

Trong đó: f'_c : Cường độ nén của bê tông (MPa)

E_c : Mô đun đàn hồi (GPa)

w_c : Khối lượng đơn vị của bê tông (kg/m^3)

Dựa vào cường độ nén của bê tông ở bảng 3 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 được thể hiện ở công thức 6. Đường cong biểu diễn quan hệ đó được thể hiện ở hình 1 dưới đây:

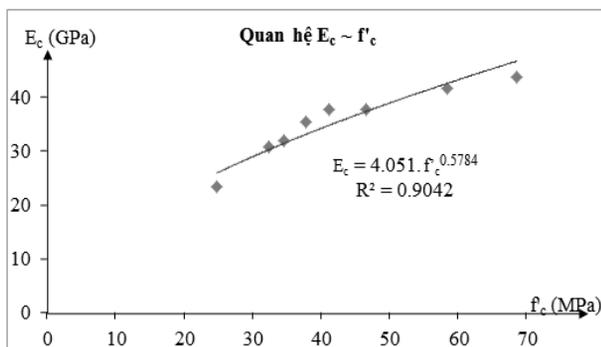
$$E_c = 4.051 f_c^{0.5784}, \quad R^2 = 0.9042 \quad (6)$$

Trong đó: E_c : Mô đun đàn hồi (GPa)

f'_c : Cường độ nén (MPa)

R^2 : Hệ số độ tin cậy

Ghi chú: Theo TCVN thì cường độ nén của bê tông ký hiệu là R_n , tuy nhiên theo tiêu chuẩn của nước ngoài thì cường độ nén của bê tông ký hiệu là f'_c . Do đó, trong các công thức 1 đến 6 vẫn giữ nguyên ký hiệu của nước ngoài để biểu thị các công thức thực nghiệm.



Hình 1. Quan hệ giữa mô đun đàn hồi và cường độ nén của bê tông tự lèn

* Đánh giá độ tin cậy của công thức thực nghiệm dự đoán:

Để đánh giá độ tin cậy của công thức thực nghiệm tính mô đun đàn hồi theo cường độ nén của BTTL nghiên cứu đã dự đoán, đề tài sử dụng một số kết quả nghiên cứu độc lập của các nhà nghiên cứu để kiểm tra sai số giữa giá trị thí nghiệm và kết quả tính theo các công thức thực nghiệm. Qua đó thấy công thức dự đoán (công thức 6) có sai số có thể chấp nhận được và cũng nằm trong phạm vi sai số cho phép của các công thức thực nghiệm đã có, đảm bảo độ tin cậy cho dự đoán mô đun đàn hồi

của các mác BTTL thiết kế. Kết quả đánh giá sai số của một số công thức thực nghiệm và công thức thiết lập từ kết quả nghiên cứu (công thức 6) được thể hiện như bảng 4 dưới đây.

Bảng 4. 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)	CT (2)	CT (5)	CT (4)	CT (3)
Iravani 1996	66.00	42.00	45.71	38.18	34.22	32.97	41.39	34.74
			(+8.80)	(-9.09)	(-18.53)	(-21.50)	(-1.46)	(-17.30)
Khayat et al. 1995	85.00	45.50	52.91	43.33	36.29	34.07	44.63	36.84
			(+16.30)	(-4.77)	(-20.23)	(-25.12)	(-1.92)	(-19.04)
Giaacio et al.1992	77.50	48.50	50.16	41.38	33.11	31.39	43.41	33.61
			(+3.40)	(-14.69)	(-31.73)	(-35.29)	(-10.50)	(-30.71)
Giaacio et al.1992	87.00	46.50	53.63	43.84	40.68	38.09	44.94	41.28
			(+15.30)	(-5.72)	(-12.53)	(-18.09)	(-3.35)	(-11.22)
Giaacio et al.1992	58.20	39.00	42.50	35.86	34.62	33.76	39.89	35.14
			(+9.00)	(-8.06)	(-11.24)	(-13.44)	(+2.29)	(-9.89)

* CT: Công thức

4. KẾT LUẬN

Khi thiết kế thành phần bê tông tự lèn sử dụng PGK hoạt tính, nhất thiết phải sử dụng các loại phụ gia siêu dẻo một cách hợp lý. Bê tông sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng Tro trấu và Xi lò cao hoạt tính cho cường độ nén và mô đun đàn hồi cao, tính công tác tốt. Bê tông tự lèn thiết kế đạt các yêu cầu kỹ thuật để thi công các hạng mục công trình có hình dạng phức tạp hay kết cấu có cốt thép dày đặc. Đặc biệt, bê tông sử dụng phụ gia khoáng Tro trấu và Xi lò cao giúp tăng cường độ của bê tông, bê tông có mác chống thấm cao, qua đó tăng khả năng chống mài mòn và chống xâm thực cho bê tông, rất hiệu quả với các công trình Thủy lợi.

Để dự đoán mô đun đàn hồi của BTTL sử dụng PGK hoạt tính, cần phải thí nghiệm xác định cường độ nén và mô đun đàn hồi của các mác bê tông ở các ngày tuổi khác nhau, đặc biệt là các ngày tuổi dài ngày (sau 28 ngày tuổi) để đánh giá chính xác sự phát triển cường độ của bê tông theo thời gian; sau đó đánh giá độ chính xác của công thức thực nghiệm đã dự đoán. Bên cạnh đó, cần thay đổi nhiều tỷ lệ pha trộn phụ gia khoáng khác nhau, nhằm đa dạng các loại BTTL thiết kế để có thể ứng dụng cho các hạng mục công trình khác nhau trong xây dựng nói chung và Thủy lợi nói riêng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- TCVN 11586:2016. Xi hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa.
 TCVN 12209:2018. Bê tông tự lèn - Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử.
 TCVN 2682:2009. Xi măng Poóc lăng - Yêu cầu kỹ thuật.
 TCVN 3105:1993. Hỗn hợp bê tông nặng và bê tông nặng - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử.
 TCVN 3118:2012. Bê tông nặng - Phương pháp xác định định cường độ nén.
 TCVN 4506:2012. Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật.
 TCVN 6016:2015. Xi măng - phương pháp thử xác định độ bền.
 TCVN 6017:2015. Xi măng - phương pháp thử - xác định thời gian đông kết và độ ổn định.
 TCVN 7570:2006. Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật.

- TCVN 7572:2006. *Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử.*
- TCVN 8826:2011. *Phụ gia hóa học cho bê tông.*
- TCVN 8827:2011. *Phụ gia khoáng hoạt tính cao dùng cho bê tông và vữa - Silic fume và Tro trấu nghiền mịn.*
- ASTM C494-86. *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.*
- 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.
- Iravani, S. (1996). "Mechanical properties of concrete". *ACI Materials Journal*, 93(5), P416-426.
- 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.

Abstract:

PREDICTION OF ELASTIC MODULUS OF THE SELF COMPACTED CONCRETE USING THE MINERAL ADDITIVES OF GRANULATED BLAST FURNACE SLAG AND RICE HUSK ASH

When replacing the binder with 15% Rice Husk Ash and 30% Granulated Blast Furnace Slag, combined using of reasonable superplasticizer, the self compacted concrete will be manufactured with compressive strength from 30 to 60MPa, the self compacted concrete component with good workability, high compressive strength, suitable for the irrigation constructions. From the results of compressive strength, to predict the elastic modulus of concrete; the experimental formula ensures the reliability for predicting the elastic modulus of self compacted concrete.

Keywords: Self Compacted Concrete - SCC; Granulated Blast Furnace Slag - GBFS; Rice Husk Ash - RHA; Superplasticizer; Compressive strength; Elastic modulus.

Ngày nhận bài: 11/12/2019

Ngày chấp nhận đăng: 02/01/2020