

NGHIÊN CỨU QUY TRÌNH DƯỠNG HỘ NHIỆT ẨM CHO BÊ TÔNG ĐÚC SẴN

TS. TRẦN VĂN MIỀN

Trường Đại Học Bách Khoa – Đại Học Quốc Gia TP.HCM

TS. NGUYỄN ĐỨC THẮNG

Viện KHCN Xây dựng

ThS. NGUYỄN LÊ THI

Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3

Tóm tắt: Dưỡng hộ nhiệt ẩm là phương pháp dưỡng hộ bằng cách cung cấp hơi nước ở nhiệt độ cao dưới áp suất thường. Các cấu kiện có kích thước lớn, phổ biến là các cấu kiện bê tông ứng suất trước đều được áp dụng phương pháp dưỡng hộ này. Kết quả nghiên cứu của bài báo cho thấy, tùy thuộc vào hàm lượng tro bay thay thế xi măng và mục tiêu cần đạt cường độ ở độ tuổi xác định, có thể xác lập quy trình dưỡng hộ phù hợp.

Từ khóa: Dưỡng hộ nhiệt ẩm, nhiệt độ, thời gian chờ tĩnh định, tro bay, bê tông đúc sẵn.

1. Giới thiệu

Trong sản xuất cấu kiện bê tông đúc sẵn, chỉ tiêu cường độ cao ở tuổi sớm của bê tông là rất quan trọng. Yếu tố này quyết định thời gian tháo khuôn và do đó ảnh hưởng đến công suất của dây chuyền sản xuất. Vì vậy, các nhà máy sản xuất cấu kiện bê tông đúc sẵn thường áp dụng các phương pháp khác nhau nhằm giúp bê tông đạt cường độ cao ở tuổi sớm như sử dụng xi măng rắn nhanh, phụ gia đông kết nhanh, dưỡng hộ nhiệt ẩm hay dưỡng hộ autoclave... Trong đó, phương pháp dưỡng hộ nhiệt ẩm thường được lựa chọn do có nhiều ưu điểm. Việc dưỡng hộ nhiệt ẩm sẽ giúp cho bê tông luôn duy trì độ ẩm, giảm thiểu việc bay hơi nước từ sản phẩm. Mặc dù quy trình dưỡng hộ nhiệt ẩm của tất cả sản phẩm bê tông đúc sẵn như ống cống, cọc ống, trụ điện... về nguyên tắc là như nhau nhưng quy trình gia nhiệt sẽ có khác nhau cho mỗi loại cấu kiện. Ví dụ, cấu kiện có kích thước nhỏ nhưng diện tích bề mặt lớn thì tốc độ truyền nhiệt và bay hơi sẽ nhanh. Một số cấu kiện như ống cống, cọc ống khi dưỡng hộ nhiệt ẩm thường bao gồm cả phần khuôn đúc, nhờ vậy sẽ giảm thiểu việc bay hơi nước nhưng sẽ giảm khả năng truyền nhiệt

vào bê tông dẫn đến có sự chênh lệch lớn về nhiệt độ bề mặt và bên trong sản phẩm, là nguyên nhân gây nên ứng suất nhiệt làm nứt bê tông.

Theo Verbeck và Helmuth (1968), đối với bê tông không sử dụng tro bay thay thế xi măng, sự thủy hóa nhanh chóng của xi măng ở nhiệt độ bảo dưỡng cao sẽ dẫn đến cường độ ban đầu cao do sản phẩm thủy hóa nhiều hơn được hình thành. Tuy nhiên, ở các độ tuổi sau, quá trình thủy hóa có sự chậm phát triển là do có một lớp vỏ dày đặc xung quanh các hạt xi măng đang thủy hóa sẽ dẫn đến một cấu trúc xốp hơn và giảm cường độ như minh họa ở hình 1.

Việt Nam hiện chưa có quy định hay hướng dẫn liên quan đến quy trình dưỡng hộ nhiệt ẩm. Tuy nhiên, Hiệp hội kỹ sư Nhật Bản (JSCE) [1] và Hội Bê tông Hoa Kỳ (ACI) [2] đã đề cập các thông số cần lưu ý trong quy trình dưỡng hộ nhiệt ẩm bao gồm: Thời gian chờ tĩnh định, tốc độ tăng và giảm nhiệt, nhiệt độ dưỡng hộ tối đa và thời gian duy trì đẳng nhiệt ở nhiệt độ tối đa này.

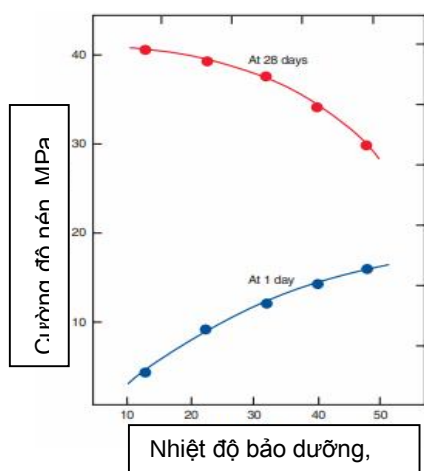
Thời gian chờ tĩnh định (x_1) là thời gian tính từ khi cho nước vào xi măng trong quá trình trộn bê tông đến khi bắt đầu cung cấp hơi nước để dưỡng hộ nhiệt ẩm. JSCE kiến nghị tỉ lệ nước/chất kết dính (N/CKD) càng cao thì thời gian chờ càng lớn, thông thường từ (2h ÷ 3h). ACI chỉ đề cập thời gian chờ không nên nhỏ hơn thời gian bắt đầu đông kết của bê tông. Thực tế, ở Việt Nam áp dụng thời gian chờ từ (1h ÷ 2h) đối với công nghệ ly tâm và (3h ÷ 5h) đối với công nghệ khác.

Nhiệt độ dưỡng hộ tối đa (x_2) theo JSCE kiến nghị nên nhỏ hơn 65°C trong khi theo ACI có thể đến 82 °C. Theo nghiên cứu của ACI, nếu không

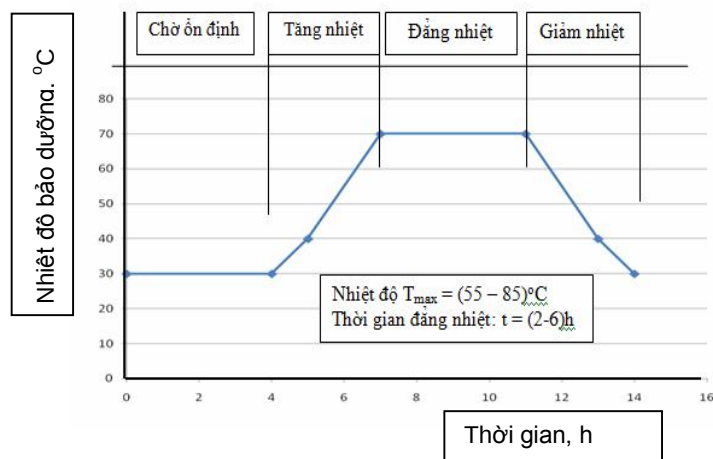
tiếp tục bảo dưỡng trong môi trường ẩm, cường độ bê tông ở 28 ngày khi dưỡng hộ nhiệt ẩm ở ($70^{\circ}\text{C} \div 80^{\circ}\text{C}$) có giảm chút ít so với dưỡng hộ ở ($48^{\circ}\text{C} \div 50^{\circ}\text{C}$) và nếu thời gian chờ phù hợp, sự suy giảm cường độ này nằm trong khoảng 5% sau 28 ngày tuổi. Ở Việt Nam thường áp dụng nhiệt độ dưỡng hộ tối đa từ ($55^{\circ}\text{C} \div 85^{\circ}\text{C}$).

Đối với thời gian duy trì ở nhiệt độ tối đa (đẳng nhiệt) (x_3), JSCE không đề cập cụ thể còn ACI cho rằng thông thường thời gian này kết thúc khi nhiệt độ bên trong cấu kiện đạt đến nhiệt độ tối đa. ACI cũng cho rằng, cường độ bê tông sẽ tăng trong khoảng thời gian đẳng nhiệt từ (4h ÷ 10h) nhưng nếu kéo dài sau (10h ÷ 12h), cường độ sẽ có xu hướng giảm. Ở Việt Nam thường áp dụng thời gian đẳng nhiệt từ (2h ÷ 6h).

Tốc độ tăng nhiệt khi dưỡng hộ nhiệt ẩm (x_4) theo JSCE kiến nghị cần nhỏ hơn $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ trong khi ACI cho rằng tốc độ tăng nhiệt có thể biến thiên từ ($11^{\circ}\text{C}/\text{h} \div 44^{\circ}\text{C}/\text{h}$) và nếu thời gian chờ thích hợp sẽ không ảnh hưởng đến cường độ sớm và cường độ lâu dài của bê tông. Ở Việt Nam thường áp dụng tốc độ tăng nhiệt từ ($15^{\circ}\text{C}/\text{h} \div 25^{\circ}\text{C}/\text{h}$), cá biệt có thể lên đến $30^{\circ}\text{C}/\text{h}$.



Hình 1. Quan hệ nhiệt độ và cường độ bê tông



Hình 2. Quy trình dưỡng hộ nhiệt ẩm điển hình

2. Phương pháp nghiên cứu

Cấp phối bê tông sử dụng trong nghiên cứu được thiết kế tham khảo theo ACI 211.1 [3], áp dụng tỉ lệ tro bay thay thế xi măng 0%; 20% và 35%, ứng với các cấp phối có ký hiệu B0; B3 và B7. Thành phần cấp phối được trình bày ở bảng 1 theo nguyên tắc sau:

- Giữ nguyên tỉ lệ $C/(C+Đ) = 0,38$ trong tất cả các cấp phối.

- Thiết kế thay đổi tỉ lệ N/CKD và liều lượng của phụ gia hóa học để có độ sụt của hỗn hợp bê tông không đổi (4 ± 2)cm.

- Mẫu thử có kích thước ($70,7 \times 70,7 \times 70,7$) mm, được bảo dưỡng trong nước ở ($27^{\circ}\text{C} \pm 2$)

sau khi dưỡng hộ nhiệt cho đến khi thử nghiệm, ngoại trừ mẫu thử ở 1 ngày tuổi.

Quy trình gia nhiệt được nghiên cứu bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm [4], mô hình được lựa chọn là mô hình tuyến tính gồm 4 yếu tố: $y' = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4$. Thực nghiệm đã thực hiện là thực nghiệm các yếu tố toàn phần TYP với số lượng mẫu: $2^{4-1} = 8$ mẫu.

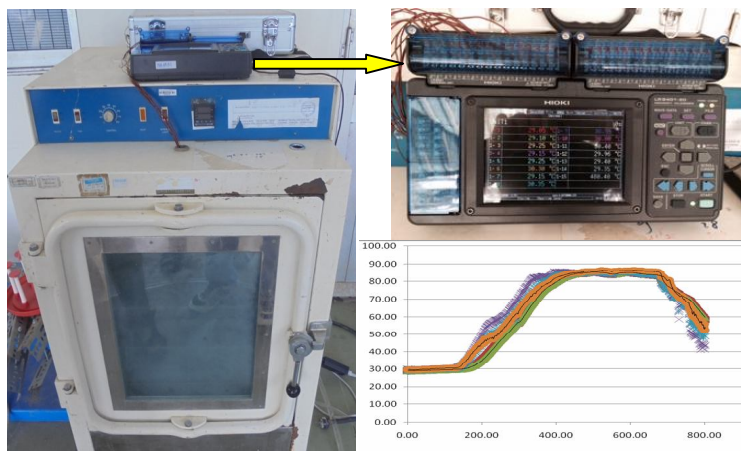
Nguyên vật liệu sử dụng trong nghiên cứu gồm: Xi măng poóc lăng (X) phù hợp ASTM C 150, Type I; tro bay (F) phù hợp ASTM C 618, loại F; đá dăm 1x2 có kích thước cỡ hạt lớn nhất

$D_{\max} = 20\text{mm}$; cát sông hạt nhỏ (C_s) có $M_{dl} = 2,0$, sử dụng kết hợp với cát nghiền (C_N) phù hợp theo ASTM C33 và phụ gia hóa học (PG) phù hợp ASTM C494, loại F. Các vật liệu sử dụng trong nghiên cứu có tính chất cơ lý phù hợp với tiêu chuẩn kỹ thuật tương ứng.

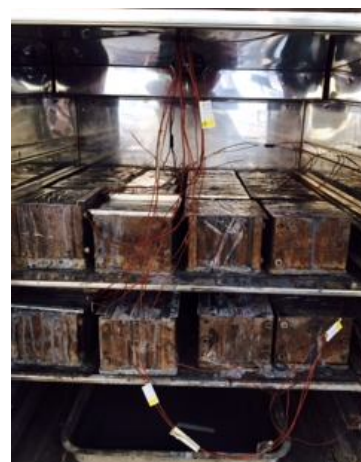
Quy trình dưỡng hộ nhiệt ẩm dùng trong nghiên cứu như mô tả ở bảng 2. Thiết bị dưỡng hộ nhiệt ẩm và theo dõi nhiệt độ môi trường, nhiệt độ mẫu thử trong quá trình dưỡng hộ nhiệt ẩm dùng trong nghiên cứu mô tả như ở hình 3 và hình 4.

Bảng 1. Thành phần cấp phối bê tông

Ký hiệu cấp phối	Thành phần vật liệu cho 1m^3 , kg							N/CKD	Khối lượng thể tích, kg/m^3
	X	F	C_s	C_N	Đ	N	PG		
B0	500	0	311	383	1160	130	5.0	0.26	2490
B7	400	100	318	391	1174	110	6.0	0.22	2500
B3	325	175	313	385	1156	130	5.0	0.26	2490



Hình 3. Tủ dưỡng hộ nhiệt ẩm và thiết bị theo dõi nhiệt độ



Hình 4. Mẫu được bảo dưỡng nhiệt ẩm

Bảng 2. Tóm tắt quy trình dưỡng hộ nhiệt ẩm

Giai đoạn	Chờ đông kết	Tăng nhiệt		Đẳng nhiệt $T_{\max}$	Giảm nhiệt	
		Chậm	Nhanh		Chậm	Nhanh
Thời gian, h	3→5			2→4		-
Nhiệt độ, °C	(27 ± 2)	20 °C/h	30 °C/h	55 °C → 85 °C	20 °C/h	30 °C/h

3. Kết quả thực nghiệm và bàn luận

a. Ma trận quy hoạch thực nghiệm và kết quả cho ở bảng 3 như sau:

- Z_1 : Thời gian chờ tĩnh định, biến thiên từ (3h ÷ 5h), giá trị mã hóa là x_1 , biến thiên từ (-1; +1).

- Z_2 : Nhiệt độ bảo dưỡng tối đa, biến thiên từ (55 °C ÷ 85 °C), giá trị mã hóa là x_2 , biến thiên từ (-1; +1).

- Z_3 : Thời gian duy trì nhiệt độ tối đa, biến thiên từ (2h ÷ 4h), giá trị mã hóa là x_3 , biến thiên từ (-1; +1).

- Z_4 : Tốc độ tăng/ giảm nhiệt, biến thiên từ $(20^\circ\text{C/h} \div 30^\circ\text{C/h})$, giá trị mã hóa là x_4 , biến thiên từ $(-1; +1)$.

- Các thí nghiệm từ 1 ÷ 8 theo ma trận quy hoạch thực nghiệm. Các thí nghiệm 9 ÷ 11 là thí nghiệm bổ sung ở tâm phương án để xác định phương sai tái hiện.

- Cường độ nén được thử nghiệm tại các độ tuổi: 1, 7, 28 và 180 ngày. Trong đó:

+ y : Giá trị cường độ nén trung bình của 2 viên mẫu theo thực nghiệm ở các chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm, MPa.

+ y' : Giá trị cường độ nén theo tính toán từ phương trình hồi quy, MPa.

b. Biểu diễn kết quả thực nghiệm:

- Kết quả thực nghiệm cường độ nén theo độ tuổi và biểu đồ so sánh theo nhóm cấp phối, nhiệt độ dưỡng hộ của cấp phối B0 (không sử dụng tro bay), B7 (sử dụng 20% tro bay thay thế xi măng) và B3 (sử dụng 35% tro bay thay thế xi măng) được thể hiện lần lượt ở hình 5, hình 6 và hình 7.

- Giải hệ phương trình tương ứng ta được các phương trình hồi quy tương thích với thực nghiệm cho các cấp phối B0, B7 và B3 như sau:

$$y'_1(B0) = 83.80 + 2.90x_2 + 3.45x_3 \quad (1)$$

$$y'_7(B0) = 95.25 - 2.38x_1 + 3.55x_4 \quad (2)$$

$$y'_{28}(B0) = 105.2 \quad (3)$$

$$y'_{180}(B0) = 113.1 \quad (4)$$

$$y'_1(B7) = 72.48 + 3.83x_2 + 4.15x_3 \quad (5)$$

$$y'_7(B7) = 83.35 + 4.80x_4 \quad (6)$$

$$y'_{28}(B7) = 99.76 - 4.39x_2 - 5.09x_3 \quad (7)$$

$$y'_{180}(B7) = 113.8 \quad (8)$$

$$y'_1(B3) = 55.61 + 4.16x_1 + 7.06x_2 + 2.71x_3 \quad (9)$$

$$y'_7(B3) = 70.95 - 2.80x_4 \quad (10)$$

$$y'_{28}(B3) = 93.50 + 4.93x_1 - 12.43x_2 \quad (11)$$

$$y'_{180}(B3) = 108.3 - 11.81x_2 \quad (12)$$

c. Bàn luận kết quả thực nghiệm:

- Kết quả thử nghiệm cường độ nén ở phương trình (1), (2), (3) và (4) của cấp phối B0 cho thấy: Cường độ ở 1 ngày tuổi chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ bảo dưỡng tối đa và thời gian duy trì ở nhiệt độ tối đa. Cường độ nén ở 7 ngày tuổi lại phụ thuộc vào thời gian chờ tĩnh định và tốc độ

tăng nhiệt. Cường độ nén ở 28 ngày tuổi và 180 ngày tuổi lại không phụ thuộc vào bất kỳ yếu tố nào. Ngoài ra, cường độ nén ở 1 ngày tuổi sẽ đạt giá trị lớn nhất khi nhiệt độ bảo dưỡng và thời gian duy trì ở nhiệt độ này đạt đến giá trị lớn nhất. Trong khi đó, cường độ nén ở 7 ngày tuổi sẽ đạt giá trị lớn nhất khi thời gian chờ tĩnh định nhỏ nhất và tốc độ tăng nhiệt lớn nhất.

- Kết quả thử nghiệm cường độ nén ở phương trình (5), (6), (7) và (8) của cấp phối B7 cho thấy: Cường độ ở 1 ngày tuổi và 28 ngày tuổi đều phụ thuộc vào nhiệt độ bảo dưỡng tối đa và thời gian duy trì ở nhiệt độ tối đa. Cường độ nén ở 7 ngày tuổi chỉ phụ thuộc vào tốc độ tăng nhiệt. Ngoài ra, cường độ nén ở 1 ngày tuổi sẽ đạt giá trị lớn nhất khi nhiệt độ bảo dưỡng và thời gian duy trì ở nhiệt độ này đạt đến giá trị lớn nhất. Cường độ nén ở 7 ngày tuổi sẽ đạt giá trị lớn nhất khi tốc độ tăng nhiệt lớn nhất. Cường độ nén ở 28 ngày tuổi sẽ đạt giá trị lớn nhất khi nhiệt độ bảo dưỡng đạt giá trị nhỏ nhất và thời gian duy trì ở nhiệt độ này đạt đến giá trị lớn nhất. Cường độ nén ở 180 ngày tuổi sẽ đạt giá trị lớn nhất khi nhiệt độ bảo dưỡng đạt giá trị nhỏ nhất.

- Kết quả thử nghiệm cường độ nén ở phương trình (9), (10), (11) và (12) của cấp phối B3 cho thấy: Cường độ ở 1 ngày tuổi phụ thuộc vào thời gian chờ tĩnh định, nhiệt độ bảo dưỡng tối đa và thời gian duy trì ở nhiệt độ tối đa. Cường độ nén ở 7 ngày tuổi lại phụ thuộc vào tốc độ tăng nhiệt và cường độ nén ở 28 ngày tuổi lại phụ thuộc vào thời gian chờ tĩnh định và nhiệt độ bảo dưỡng tối đa. Ngoài ra, cường độ nén ở 1 ngày tuổi sẽ đạt giá trị lớn nhất khi thời gian chờ tĩnh định, nhiệt độ bảo dưỡng và thời gian duy trì ở nhiệt độ này đạt đến giá trị lớn nhất. Cường độ nén ở 7 ngày tuổi sẽ đạt giá trị lớn nhất khi tốc độ tăng nhiệt nhỏ nhất. Cường độ nén ở 28 ngày tuổi sẽ đạt giá trị lớn nhất khi thời gian chờ tĩnh định lớn nhất và nhiệt độ bảo dưỡng đạt giá trị nhỏ nhất. Cường độ nén ở 180 ngày tuổi lại không phụ thuộc vào bất kỳ yếu tố nào.

- Căn cứ kết quả tính toán cường độ nén từ các phương trình hồi quy đã nêu thì: Cường độ nén 1 ngày của các cấp phối B0, B7 và B3 sẽ đạt giá trị cực đại lần lượt là 90.2 MPa; 80.5 MPa và 69.6 MPa; cường độ nén 7 ngày của các cấp phối B0, B7 và B3 sẽ đạt giá trị cực đại lần lượt là 101.2 MPa; 88.2 MPa và 73.8 MPa; cường độ

VẬT LIỆU XÂY DỰNG - MÔI TRƯỜNG

nén 28 ngày của các cấp phối B0, B7 và B3 sẽ đạt giá trị cực đại lần lượt là 105.2 MPa; 109.2 MPa và 110.9 MPa; cường độ nén 180 ngày của các cấp phối B0, B7 và B3 sẽ đạt giá trị cực đại lần lượt là 113.1 MPa; 113.8 MPa và 120.2 MPa. Các kết quả tính toán này tương đối phù hợp với thực tế thực nghiệm, có sai số so với kết quả thực nghiệm chỉ từ 0,1% đến 6,4%.

- Từ kết quả thực nghiệm và tính toán cũng cho thấy nếu xét về cường độ nén cực đại thì ở 1

ngày tuổi và 7 ngày tuổi, cấp phối sử dụng càng nhiều tro bay thay thế xi măng sẽ cho cường độ nén cực đại thấp hơn. Tuy nhiên, ở 28 ngày tuổi và 180 ngày tuổi thì ngược lại, cấp phối sử dụng càng nhiều tro bay thay thế xi măng sẽ cho cường độ nén cực đại cao hơn. Bên cạnh đó, kết quả thử nghiệm cho thấy tất cả các cấp phối nghiên cứu B0, B7 và B3 đều có sự gia tăng cường độ nén của mẫu bê tông theo độ tuổi bê tông ở tất cả điều kiện nghiên cứu.

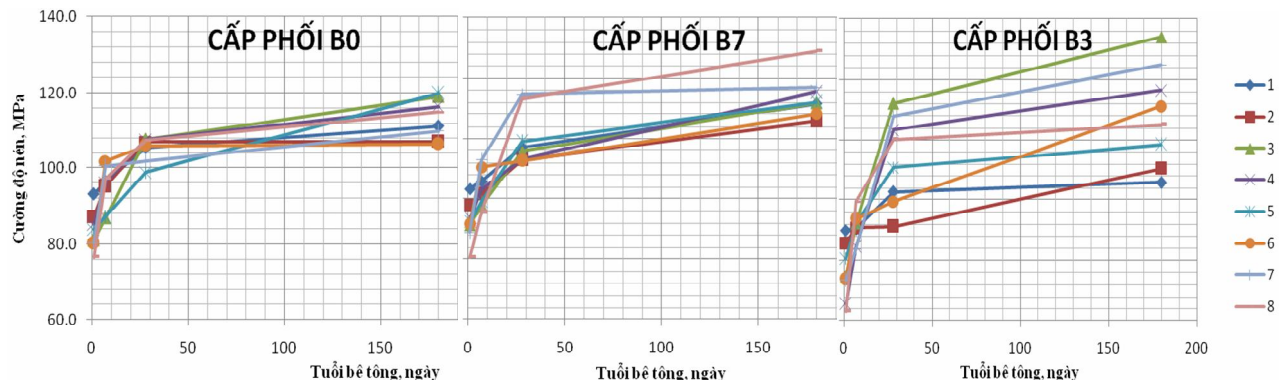
Bảng 3. Ma trận quy hoạch thực nghiệm kết quả thử nén mẫu bê tông – B0, B7 và B3

Đơn vị của y và y' tính bằng MPa

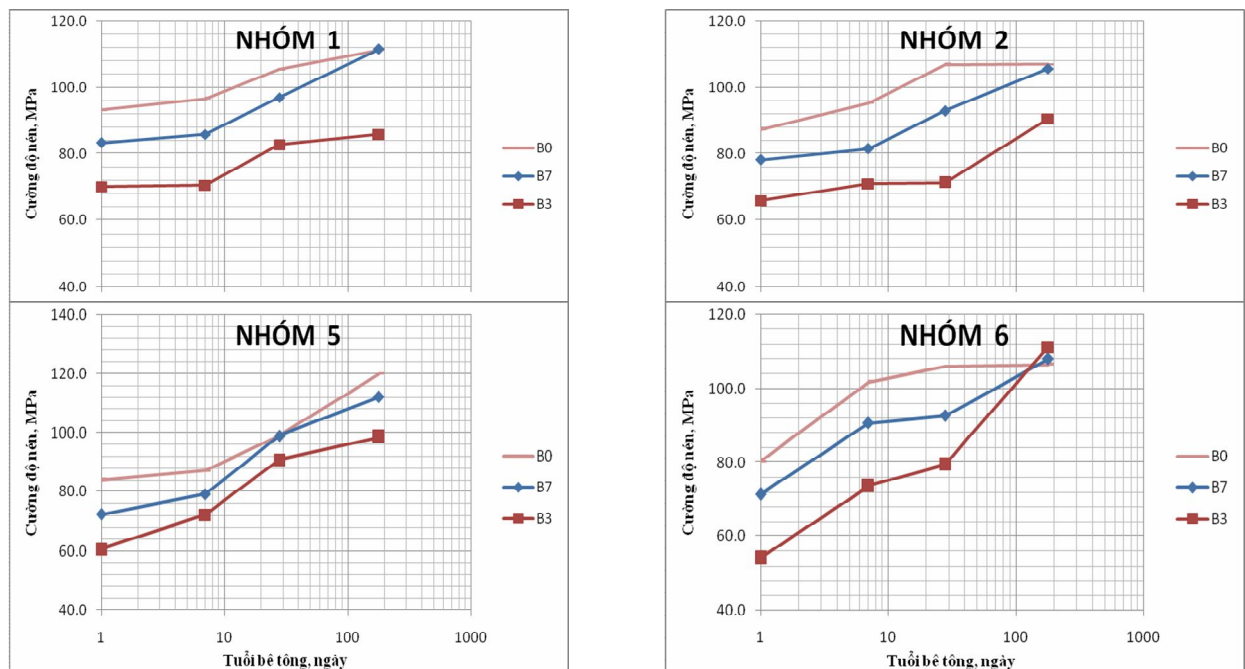
STT	Giá trị mã hóa				Giá trị thực				B0							
									1 ngày		7 ngày		28 ngày		180 ngày	
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	y	y'	y	y'	y	y'	y	y'
1	+	+	+	+	5	85	4	30	95.2	90.2	96.6	96.4	105.4	105.2	111.3	113.1
2	-	+	+	-	3	85	4	20	87.3	90.2	95.3	94.1	106.9	105.2	107.0	113.1
3	+	-	+	-	5	55	4	20	81.2	84.4	87.0	89.3	107.7	105.2	119.1	113.1
4	-	-	+	+	3	55	4	30	85.3	84.4	96.2	101.2	107.6	105.2	116.4	113.1
5	+	+	-	-	5	85	2	20	84.0	83.3	87.3	89.3	98.9	105.2	120.0	113.1
6	-	+	-	+	3	85	2	30	80.3	83.3	101.8	101.2	105.9	105.2	106.4	113.1
7	+	-	-	+	5	55	2	30	80.4	77.5	100.6	96.4	101.9	105.2	109.9	113.1
8	-	+	-	-	3	55	2	20	76.7	77.5	97.2	94.1	107.4	105.2	114.9	113.1
9	0	0	0	0	4	70	3	25	96.8	-	94.1	-	101.8	-	117.0	-
10	0	0	0	0	4	70	3	25	94.0	-	91.8	-	95.6	-	115.0	-
11	0	0	0	0	4	70	3	25	93.6	-	94.6	-	94.5	-	110.2	-
TT	Giá trị mã hóa				Giá trị thực				B7							
									1 ngày		7 ngày		28 ngày		180 ngày	
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	y	y'	y	y'	y	y'	y	y'
1	+	+	+	+	5	85	4	30	83.3	80.5	85.8	88.2	97.0	90.3	111.6	113.8
2	-	+	+	-	3	85	4	20	78.1	80.5	81.5	78.6	92.9	90.3	105.7	113.8
3	+	-	+	-	5	55	4	20	71.4	72.8	77.8	78.6	95.6	99.1	111.9	113.8
4	-	-	+	+	3	55	4	30	73.7	72.8	83.2	88.2	93.2	99.1	115.3	113.8
5	+	+	-	-	5	85	2	20	72.3	72.2	79.2	78.6	99.0	100.5	112.2	113.8
6	-	+	-	+	3	85	2	30	71.5	72.2	90.6	88.2	92.6	100.5	108.0	113.8
7	+	-	-	+	5	55	2	30	68.8	64.5	93.0	88.2	114.5	109.2	116.7	113.8
8	-	+	-	-	3	55	2	20	60.7	64.5	75.7	78.6	113.3	109.2	128.8	113.8
9	0	0	0	0	4	70	3	25	73.4	-	85.1	-	97.4	-	115.7	-
10	0	0	0	0	4	70	3	25	78.0	-	89.8	-	92.4	-	94.2	-
11	0	0	0	0	4	70	3	25	75.8	-	84.2	-	95.2	-	95.2	-
TT	Giá trị mã hóa				Giá trị thực				B3							
									1 ngày		7 ngày		28 ngày		180 ngày	
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	y	y'	y	y'	y	y'	y	y'
1	+	+	+	+	5	85	4	30	70.0	69.6	70.5	68.2	82.7	86.0	85.8	96.5
2	-	+	+	-	3	85	4	20	65.8	61.2	70.9	73.8	71.2	76.2	90.5	96.5

VẬT LIỆU XÂY DỰNG - MÔI TRƯỜNG

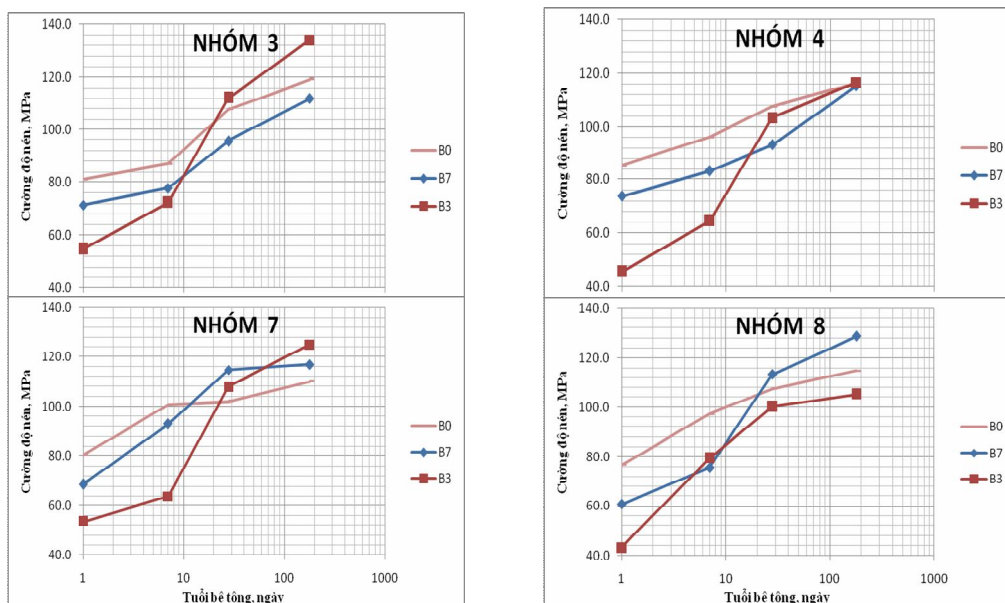
3	+	-	+	-	5	55	4	20	54.8	55.4	72.4	73.8	112.2	110.9	134.0	120.2
4	-	-	+	+	3	55	4	30	42.7	47.1	64.5	68.2	103.4	101.0	116.5	120.2
5	+	+	-	-	5	85	2	20	60.8	64.1	72.2	73.8	90.9	86.0	98.6	96.5
6	-	+	-	+	3	85	2	30	54.1	55.8	73.7	68.2	79.5	76.2	111.2	96.5
7	+	-	-	+	5	55	2	30	53.5	50.0	63.9	68.2	107.9	110.9	124.9	120.2
8	-	+	-	-	3	55	2	20	43.2	41.7	79.5	73.8	100.2	101.0	105.2	120.2
9	0	0	0	0	4	70	3	25	67.2	-	78.2	-	86.6	-	90.4	-
10	0	0	0	0	4	70	3	25	65.6	-	75.6	-	91.3	-	100.5	-
11	0	0	0	0	4	70	3	25	64.5	-	74.9	-	86.4	-	93.8	-



Hình 5. Quan hệ giữa cường độ nén và tuổi của bê tông theo các cấp phối B0, B7 & B3



Hình 6. Quan hệ giữa cường độ nén và tuổi của bê tông theo các Nhóm – Nhiệt độ dưỡng hộ 85 °C



Hình 7. Quan hệ giữa cường độ nén và tuổi của bê tông theo các Nhóm – Nhiệt độ dưỡng hộ 55 °C

4. Kết luận và kiến nghị

a. Tùy thuộc vào hàm lượng tro bay thay thế xi măng trong khoảng nghiên cứu (0 ÷ 35%) và mục đích đạt cường độ nén lớn nhất ở 1 ngày, 7 ngày, 28 ngày hoặc 180 ngày tuổi sẽ có quy trình gia nhiệt trong dưỡng hộ nhiệt ẩm với các thông số khác nhau về thời gian chờ tĩnh định; nhiệt độ bảo dưỡng tối đa; thời gian duy trì ở nhiệt độ tối đa và tốc độ tăng nhiệt. Xu hướng cho thấy quy trình dưỡng hộ nhiệt ẩm ảnh hưởng nhiều đến cường độ nén của bê tông ở tuổi trước 7 ngày và giảm dần ảnh hưởng đến chỉ tiêu này ở tuổi sau 28 ngày, cụ thể:

- Để bê tông đạt cường độ cao ở tuổi sớm từ 1 đến 7 ngày thì thời gian chờ tĩnh định ngắn (3 h), nhiệt độ bảo dưỡng tối đa cao (85°C), thời gian duy trì ở nhiệt độ tối đa dài (4h) và tốc độ tăng nhiệt nhanh (30°C/h).

- Để bê tông đạt cường độ cao ở tuổi 28 ngày, tùy thuộc hàm lượng tro bay thay thế xi măng: Nếu hàm lượng tro bay thay thế xi măng từ (20% ÷ 35%) thì thời gian chờ tĩnh định dài (5h), nhiệt độ bảo dưỡng tối đa thấp (55°C), thời gian duy trì ở nhiệt độ tối đa ngắn (2h). Nếu không sử dụng tro bay thì cường độ nén ở 28 ngày tuổi hầu như không phụ thuộc vào quy trình gia nhiệt trong phạm vi dưỡng hộ nhiệt ẩm đã nêu.

- Để bê tông đạt cường độ cao ở tuổi 180 ngày, tùy thuộc hàm lượng tro bay thay thế xi măng: Nếu hàm lượng tro bay thay thế xi măng là 35% thì nhiệt độ bảo dưỡng tối đa cần phải thấp (55°C). Nếu hàm lượng tro bay thay thế xi măng

từ 20% trở xuống thì cường độ nén ở 180 ngày tuổi hầu như không phụ thuộc vào quy trình gia nhiệt trong phạm vi dưỡng hộ nhiệt ẩm đã nêu.

b. Sử dụng tro bay hàm lượng từ (20% ÷ 35%) thay thế xi măng trong điều kiện dưỡng hộ nhiệt ẩm sẽ làm giảm cường độ cực đại của bê tông trong giai đoạn từ 1 đến 7 ngày tuổi. Tuy nhiên, sau 28 ngày tuổi, nếu tiếp tục bảo dưỡng trong môi trường ẩm thì cấp phối sử dụng nhiều tro bay thay thế xi măng sẽ cho cường độ nén cực đại cao hơn.

c. Bê tông sau khi dưỡng hộ nhiệt ẩm, nếu vẫn tiếp tục được bảo dưỡng trong môi trường ẩm sẽ gia tăng cường độ đáng kể sau 28 ngày tuổi. Kiến nghị, cần tiếp tục theo dõi cường độ nén của bê tông ở tuổi dài ngày hơn như 1 năm hoặc lâu hơn để có cơ sở đánh giá độ bền của bê tông trong điều kiện dưỡng hộ nhiệt ẩm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. JSCE Concrete Committee, *Standard Specification for Concrete Structure 2007 (update 2011)*.
- [2]. ACI 517-2R-1987 Revised 1992, *Accelerated Curing of Concrete at Atmospheric Pressure – State of the Art*.
- [3]. ACI 211.1-91(Reapproved 2002), *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*.
- [4]. Nguyễn Cảnh (2011), *Quy hoạch thực nghiệm*, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh.

Ngày nhận bài: 12/01/2016.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 03/03/2016.