

KỸ THUẬT BẢO DƯỠNG BÊ TÔNG TỰ LÊN HIỆU QUẢ TRONG ĐIỀU KIỆN KHÍ HẬU VIỆT NAM

Nguyễn Hùng Cường^{a,*}, Hồ Ngọc Khoa^a, Bùi Danh Đại^b

^a*Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng, số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

^b*Khoa Vật liệu xây dựng, Trường Đại học Xây dựng, số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 03/10/2019, Sửa xong 28/10/2019/2019, Chấp nhận đăng 28/10/2019/2019

Tóm tắt

Báo cáo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm từ đó đề xuất kỹ thuật bảo dưỡng bê tông tự lên hiệu quả trong điều kiện khí hậu Việt Nam. Thí nghiệm được thực hiện trên các mẫu bê tông cấp phối khác nhau ($N/B = 0,35$ và $N/B = 0,3$) ở các điều kiện thời tiết khác nhau với 4 phương pháp bảo dưỡng: che phủ nilông, tưới nước, không bảo dưỡng và bảo dưỡng tiêu chuẩn. Các giá trị về lượng nước bay hơi, biến dạng mềm và cường độ nén của bê tông được xác định và đánh giá. Kết quả đánh giá cho thấy phương pháp bảo dưỡng bằng che phủ nilông là phương pháp hiệu quả nhất. Do vậy, quy trình và chỉ dẫn kỹ thuật bảo dưỡng bê tông tự lên bằng phương pháp che nilông được đề xuất. Theo đó thời gian bảo dưỡng ban đầu bằng cách kiểm soát quá trình bay hơi nước tự do của bê tông không quá 1 giờ, thời gian bảo dưỡng tiếp theo từ 5 – 7 ngày phụ thuộc vào điều kiện thời tiết cụ thể ở giai đoạn đầu đông rắn của bê tông.

Từ khoá: bê tông tự lên; phủ nilông; bảo dưỡng; mất nước bê tông; biến dạng mềm.

EFFECTIVE CURING METHODS FOR SELF COMPACTING CONCRETE UNDER THE CLIMATIC CONDITIONS OF VIETNAM

Abstract

This report presents empirical research results and proposes an effective curing method for selfcompacting concrete under climatic conditions of Vietnam. The experiments were performed on concrete samples with different grades ($N/B = 0.35$ and $N/B = 0.3$) under different weather conditions. Four curing methods were applied for the experiments, which are plastic cover, pouring water, no curing and standard curing. Then, the amount of water lost by evaporation, plastic deformation and compressive strength of concrete were determined and evaluated. As a result, the plastic-cover curing method is concluded as the most effective method of the four methods. Hence, the procedures and technical guidelines of plastic-cover curing method are proposed. Accordingly, the initial curing phase takes less than 1 hour, during which the water evaporation of concrete is controlled. The second curing phase happens within the next 5 to 7 days depending on the specific weather conditions.

Keywords: self-compacting concrete; plastic cover; curing method; water loss of concrete; plastic deformation.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(5V\)-15](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(5V)-15) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Mở đầu

Bê tông tự lên (BTTL) là loại bê tông chất lượng cao, đã được áp dụng rộng rãi trên thế giới, đặc biệt cho những kết cấu yêu cầu chất lượng cao, có mật độ cốt thép dày đặc. Cấu trúc thành phần của

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: cuongnguyen.dhxdhn@gmail.com (Cường, N. H.)

BTTL khác biệt so với bê tông truyền thống như sử dụng nhiều chất độn mịn hoạt tính và phụ gia siêu dẻo; thể tích hồ chất kết dính cao; tỷ lệ nước/bột (N/B) thấp. Do đó ứng xử của bê tông trong giai đoạn đầu đông rắn, cụ thể là quá trình mất nước và biến dạng mềm sẽ khác so với bê tông truyền thống, dẫn đến biện pháp bảo dưỡng đặc thù hơn.

Nhìn chung điều kiện khí hậu Việt Nam có tác động tốt cho quá trình đông rắn và phát triển cường độ của BTTL. Tuy nhiên, các chu kỳ thời tiết bất lợi như nắng nóng và khô hanh kéo dài, biến thiên và chênh lệch nhiệt độ, độ ẩm cao giữa ngày và đêm có ảnh hưởng xấu đến cấu trúc, cường độ bê tông, đòi hỏi phải có biện pháp bảo dưỡng phù hợp.

Hiện nay, trên thế giới cũng như Việt Nam chưa có tiêu chuẩn riêng về bảo dưỡng bê tông tự lèn, dẫn đến sự khó khăn, e ngại của chủ đầu tư và nhà thầu thi công khi lựa chọn loại bê tông này cũng như trong quá trình thi công và nghiệm thu sản phẩm. Một số nghiên cứu trong thời gian qua đã cho thấy tầm quan trọng của bảo dưỡng BTTL và chỉ ra sự khác nhau giữa bảo dưỡng BTTL so với bê tông truyền thống, cụ thể:

- Theo [1] BTTL có tỷ lệ N/X thấp ($< 0,4$) có khả năng tiêu thụ tất cả lượng nước trộn cho quá trình thủy hóa, do đó nếu muốn tăng chất lượng thủy hóa, phải bổ sung nước vào trong bê tông trong quá trình bảo dưỡng. Tuy nhiên, sự không liên tục giữa các mao quản của BTTL làm cho việc cung cấp nước vào bên trong bê tông là khó khăn.

- Senbetta và Malchow [2] cho rằng, phương pháp bảo dưỡng ảnh hưởng đến độ bền của bê tông. Bê tông được bảo dưỡng bằng prafin, che ni lông hoặc phun sương cho kết quả độ bền tốt. Okamura và cs. [3] cho rằng bảo dưỡng bê tông cường độ cao quan trọng hơn nhiều so với bê tông thông thường. Phương pháp che phủ hoặc phun sương bề mặt bê tông khi đã se nước có tác dụng hạn chế nứt do biến dạng mềm.

- Nghiên cứu của Qureshi và cs. [4] cho thấy, bê tông được bảo dưỡng bằng phương pháp tưới nước và phun dung dịch tạo màng có cường độ nén chỉ đạt 89% và 93% so với cường độ của mẫu bảo dưỡng ngâm nước. Miyazawa cho thấy tự khô là một yếu tố quan trọng trong việc cân nhắc phương pháp tối ưu để bảo dưỡng bê tông chất lượng cao. Tất cả bê tông có tỷ lệ N/B thấp dễ bị tự khô, vì vậy việc thực hiện bao dưỡng ban đầu là cần thiết để cung cấp nước trì hoãn sự tự khô sớm, giúp bê tông đạt được cường độ và độ bền mong muốn [5].

- Trong nghiên cứu [6] Ouchi và cs. cho rằng, BTTL sử dụng nhiều phụ gia siêu dẻo dẫn đến thời gian đông kết bị kéo dài nên cần thiết tăng thời gian bảo dưỡng, dài hơn so với bê tông thông thường. Kết quả nghiên cứu của Khan và Ayers [7] cho thấy các mẫu bê tông sử dụng tro bay cần có thời gian bảo dưỡng dài hơn so với bê tông truyền thống.

- Tại Việt Nam, nghiên cứu bảo dưỡng BTTL bằng phương pháp che phủ ni lông trong điều kiện khí hậu miền Nam cho thấy, tăng thời gian bảo dưỡng sẽ làm tăng cường độ nén của bê tông. Cường độ của bê tông trong điều kiện bảo dưỡng mùa khô cao hơn so với mùa mưa, nhưng vẫn chưa đạt giá trị cường độ bê tông, bảo dưỡng bằng ngâm nước trong điều kiện nhiệt độ phòng [8].

Các nghiên cứu liên quan đến bảo dưỡng BTTL đã thực hiện và công bố ở Việt Nam và các tài liệu được tổng hợp từ nước ngoài là chưa đầy đủ và rõ ràng, chủ yếu tập trung vào so sánh ảnh hưởng của một số phương pháp bảo dưỡng đến các thông số cơ lý của BTTL. Chưa có nghiên cứu cụ thể, chi tiết để đề xuất một phương pháp bảo dưỡng phù hợp cho BTTL trong điều kiện khí hậu thi công khác nhau. Trong khi đó xu hướng phát triển và ứng dụng công nghệ BTTL trong thực tế xây dựng ở Việt Nam ngày càng rõ rệt và gia tăng. Vì vậy, vấn đề đặt ra và kết quả nghiên cứu của bài báo mang tính khoa học, thực tiễn và cần thiết.

2. Cơ sở khoa học về công tác bảo dưỡng BTTL

Bảo dưỡng bê tông là bước quan trọng trong công nghệ bê tông toàn khối, có ảnh hưởng lớn đến chất lượng, cường độ của bê tông. Theo [9] ngay cả khi bê tông chất lượng tốt được thi công trên công trường, việc bảo dưỡng là cần thiết để đảm bảo bê tông được cung cấp điều kiện tốt hơn cho quá trình hình thành cấu trúc và phát triển cường độ. Bảo dưỡng bê tông là quá trình giữ ẩm thường xuyên cho bê tông trong điều kiện tác động của các yếu tố khí hậu môi trường. Bê tông sẽ không đạt được cường độ thiết kế nếu không được bảo dưỡng đúng cách. Tốc độ và chất lượng quá trình thủy hóa phụ thuộc vào thời gian duy trì độ ẩm và nhiệt độ bảo dưỡng. Yếu tố độ ẩm giúp phản ứng thủy hóa thực hiện tối đa, nhiệt độ là điều kiện để đảm bảo tốc độ thủy hóa.

Thực hiện dưỡng ẩm bằng cách tưới trực tiếp hoặc phun sương lên bề mặt bê tông; phủ vật liệu giữ ẩm và tưới nước; phủ vật liệu cách ẩm lên bề mặt. Bản chất của bảo dưỡng bê tông nói chung và BTTL nói riêng là tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình thủy hóa xi măng, các điều kiện này được duy trì đến khi bê tông phát triển đạt các thuộc tính mong muốn.

Theo nhiều nghiên cứu, quá trình bảo dưỡng bê tông được chia làm 2 giai đoạn: giai đoạn bảo dưỡng ban đầu (BDBĐ) và giai đoạn bảo dưỡng tiếp theo (BDTT). Giai đoạn BDBĐ được thực hiện ngay sau khi bê tông hoàn thiện bề mặt, còn chưa có cường độ, mục đích của giai đoạn này là kiểm soát quá trình mất nước của bê tông. Đối với bê tông thường thời gian BDBĐ được xác định đến khi bê tông đạt cường độ 0,3-0,5 MPa [10]. Theo một số nghiên cứu, thời gian BDBĐ của bê tông phụ thuộc vào việc kiểm soát lượng nước bay hơi và biến dạng mềm của bê tông, chính là thời gian để bê tông bay hơi tự do và đạt được cường độ nhất định, thường 1-4 giờ [11, 12]. Giai đoạn BDTT được thực hiện sau BDBĐ với 2 thông số kỹ thuật cơ bản: thời gian bảo dưỡng cần thiết T_{BD}^{ct} và cường độ bảo dưỡng tối hạn R_{BD}^{th} . T_{BD}^{ct} tính bằng ngày đêm, là thời gian cần thiết duy trì bảo dưỡng để bê tông đạt được giá trị R_{BD}^{th} . R_{BD}^{th} tính bằng % cường độ nén của bê tông ở độ tuổi 28 ngày, đóng rắn trong điều kiện tiêu chuẩn ($\%R_{28}^{tc}$).

Trong quá trình đóng rắn và phát triển cường độ của bê tông, kết thúc giai đoạn hình thành cấu trúc ban đầu được cho là kết thúc quá trình bảo dưỡng ban đầu, lúc này bê tông đủ khả năng giữ nguyên cấu trúc mà không bị thay đổi dưới tác động của quá trình vật lý. Theo [13] đối với khí hậu nóng ẩm Việt Nam, tùy theo vùng, thời gian cần thiết để bê tông đạt cường độ ban đầu có thể khác nhau: vùng A (mùa hè) và các vùng B, C (các mùa) từ 2,5-5 giờ; vùng A (mùa đông) từ 5-10 giờ. Trong giai đoạn hình thành cấu trúc đóng rắn, bê tông cần được dưỡng ẩm liên tục cho đến khi đạt R_{BD}^{th} , khi đó bê tông đã có cấu trúc tốt, đủ để phát triển bình thường, đạt được các tính chất mong muốn, trước các yếu tố bất lợi của môi trường, mà không cần tiếp tục bảo dưỡng.

3. Vật liệu, điều kiện và phương pháp thí nghiệm

3.1. Vật liệu thí nghiệm

Thiết kế thành phần cấp phối BTTL được thực hiện theo phương pháp thiết kế được đề xuất bởi Hiệp hội Bê tông Nhật Bản (JSCE) và Liên đoàn bê tông châu Âu (EFNARC). Cấp phối hỗn hợp BTTL (mẫu thí nghiệm) thể hiện ở Bảng 1.

Vật liệu sử dụng cho bê tông: xi măng Bút Sơn PC40; cát vàng modul 2,76; đá dăm nghiền gốc granite $D_{\max} = 10$ mm, khối lượng riêng 2,67 g/m³; tro bay nhiệt điện Phả Lại, loại F theo tiêu chuẩn ASTM C618; phụ gia siêu dẻo thể hệ mới gốc Polycarboxylate BiFi-HV298, tỷ trọng 1,05, loại G theo tiêu chuẩn ASTM C-494; phụ gia tạo nhớt VMA CuLminal MHPC400; màng ni lông màu trắng dùng cho bảo dưỡng độ dày 0,1 mm, theo tiêu chuẩn ASTM C171.

Bảng 1. Thành phần cấp phối hỗn hợp BTTL dùng trong thí nghiệm

Cấp phối	XM (kg)	Tro bay (kg)	Cát (kg)	Đá (kg)	Nước (kg)	PG Siêu dẻo (kg)	VMA (kg)
N/B = 0,35	409,3	140,0	808	770	197,0	5,49	0,19
N/B = 0,30	449,9	147,4	808	770	185,9	5,92	0,20

3.2. Điều kiện thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện trong điều kiện tự nhiên tại khu vực Hà Nội. Ba điều kiện thời tiết (ĐK1, ĐK2, ĐK3) được chọn hướng đến sự phù hợp tương đối với các vùng thời tiết đặc trưng của khí hậu nóng ẩm Việt Nam, bao gồm các mùa khí hậu khác nhau, các thông số thời tiết môi trường thí nghiệm như ở Bảng 2.

Bảng 2. Thông số thời tiết môi trường thí nghiệm về bảo dưỡng bê tông tự lèn

Ký hiệu	Điều kiện thời tiết thí nghiệm	Mùa, vùng khí hậu	Nhiệt độ không khí (°C)	Độ ẩm tương đối không khí (%)	Tốc độ gió (m/giây)
ĐK1	Khô hanh	Mùa đông miền Bắc và Bắc Trung bộ	18 ± 30	40 ± 65	1 – 2,5
ĐK2	Nóng ẩm	Mùa hè, thu miền Bắc, miền Trung; mùa mưa miền Nam	28 ± 35	65 ± 85	1 – 2,5
ĐK3	Nắng nóng	Mùa hè miền Bắc, miền Trung; mùa khô miền Nam	28 ± 40	40 ± 65	1 – 2,5

ĐK1 khô hanh là điều kiện khí hậu tương ứng khu vực vùng A vào mùa đông (có thể xuất hiện vào mùa thu); ĐK2 nóng ẩm là điều kiện khí hậu tương ứng khu vực vùng A mùa hè, thu (có thể xuất hiện vào mùa xuân) và khu vực vùng B, C vào mùa mưa; ĐK3 nắng nóng là điều kiện khí hậu tương ứng khu vực vùng A vào mùa hè, vùng B mùa khô và mưa, vùng C mùa khô. Phần lớn thời gian trong năm, đặc trưng của thời tiết Việt Nam là nóng ẩm, các chu kỳ thời tiết khô hanh, nắng nóng hay nồm ẩm thường kéo dài từ 3-5 ngày. Các khu vực vùng A, B, C lấy theo bảng phân vùng khí hậu bảo dưỡng bê tông nêu trong TCVN 8828:2011 Bê tông – Yêu cầu bảo dưỡng ẩm tự nhiên [13].

3.3. Phương pháp thí nghiệm

a. Phương pháp thí nghiệm mất nước và biến dạng mềm của bê tông

Thí nghiệm đo mất nước BTTL được thực hiện bằng cách cân các mẫu thí nghiệm kích thước 10×10×30 cm trên cân điện tử có độ chính xác 0,1 g (Hình 1). Chu kỳ cân là 1 giờ và được thực hiện liên tục trong 10 giờ đầu sau khi đổ.

Phương pháp đo biến dạng mềm của BTTL sử dụng trong nghiên cứu dựa trên cơ sở các phương pháp đã được áp dụng trong các nghiên cứu về bê tông ở Liên Xô cũ [14], được phát triển và ứng dụng ở một số nghiên cứu trong điều kiện Việt Nam [10, 12].

Biến dạng mềm của BTTL được xác định qua 2 đồng hồ đo biến dạng có độ chính xác 0,002 mm đặt ở 2 đầu của mẫu bê tông kích thước 10×10×30 cm, tương đồng với mẫu đo mất nước. Đầu đo của đồng hồ tiếp xúc ở trung tâm tấm thép mỏng kích thước 9,5×9,5×0,1 cm, liên kết chặt vào mẫu bê tông bởi các râu thép được hàn vào tấm thép. Khuôn đo biến dạng được gia công trước, phù hợp mục đích thí nghiệm, ổn định và dễ tháo lắp (Hình 2).

Thời điểm tháo khuôn để lắp đồng hồ đo biến dạng là sau 2 giờ kể từ khi đổ bê tông vào khuôn đo. Khuôn đo được bôi trơn bằng mỡ và lót một lớp ni lông nhằm giữ ổn định mẫu sau khi tháo tấm thành bên. Chu kỳ đo là 1 giờ, đo liên tiếp trong vòng 10 giờ kể từ lần đo đầu tiên. Trong quá trình đo, bàn đo được đặt ổn định ở một vị trí, đảm bảo không bị ảnh hưởng của các chấn động từ môi trường. Trước lần đo đầu tiên, đồng hồ đo được điều chỉnh về chỉ số 0. Giá trị biến dạng mềm của bê tông là tổng kết quả đo của 2 đồng hồ.

Các mẫu bê tông thí nghiệm được bảo dưỡng bằng 3 cách: không bảo dưỡng (KBD); tưới nước định kỳ theo [13] để làm ẩm bề mặt bay hơi (TN); che ni lông bề mặt bay hơi (CNL). Để nghiên cứu ảnh hưởng của mất nước và biến dạng mềm đến cường độ nén của BTTL, các mẫu kích thước $10 \times 10 \times 10$ cm được đúc và bảo dưỡng với 3 cách KBD, TN và CNL tương ứng để nén xác định cường độ R_{28} .

b. Phương pháp xác định thời gian BDBĐ và thời gian BDTT của BTTL

Thời gian BDBĐ được xác định thông qua cường độ nén của bê tông. Các tổ mẫu bê tông được BDBĐ với các thời gian khác nhau: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 và 7 giờ. Sau đó các tổ mẫu được dưỡng hộ tiếp trong 8 ngày. Các mẫu được xác định cường độ nén ở độ tuổi 28 ngày. Thời gian BDBĐ được xác định là phù hợp, khi cường độ R_{28} tương ứng đạt và lớn hơn R_{28} của mẫu kiểm tra.

Thời gian BDTT được xác định thông qua cường độ nén của mẫu bê tông. T_{BD}^{ct} (n ngày) là thời gian mà sau khi kết thúc bảo dưỡng, mẫu bê tông tiếp tục đóng rắn trong điều kiện tự nhiên, đạt được cường độ 28 ngày (R_{n+t}) không nhỏ hơn R_{28} của mẫu kiểm tra (R_{28}^{tc}). Thời gian bảo dưỡng (n ngày) được xác định theo giả thiết, căn cứ vào cơ sở lý thuyết khoa học cho rằng thời gian bảo dưỡng cần thiết đối với BTTL dài hơn so với bê tông thường, vì vậy giá trị n trong nghiên cứu giả thiết là 8 ngày. R_n là cường độ nén của mẫu bê tông ở thời điểm ngày thứ n , R_{n+t} cường độ mẫu bê tông có n ngày bảo dưỡng và t ngày đóng rắn ở điều kiện môi trường tự nhiên ($t = 28 - n$).

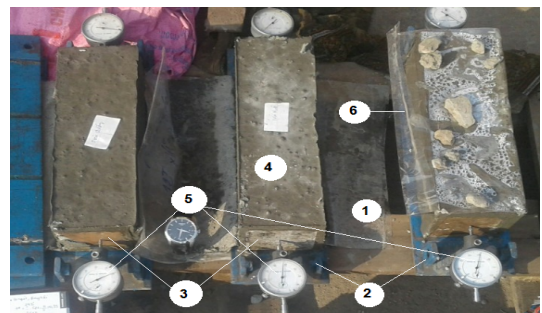
4. Kết quả nghiên cứu

4.1. Kết quả đo mất nước và biến dạng mềm

Kết quả đo ở thời điểm 4 và 10 giờ sau khi hoàn thiện mẫu (Bảng 3) cho thấy, bê tông được CNL có lượng bay hơi nước nhỏ nhất. Tỷ lệ N/B càng lớn thì lượng nước bay hơi càng nhiều và biến dạng mềm cũng lớn hơn, có thể do lượng nước tự do trong bê tông lớn hơn, sẽ bay hơi nhiều hơn ra môi trường xung quanh.



Hình 1. Xác định sự mất nước của bê tông; 1- Cân điện tử; 2- khuôn BT; 3- mẫu BT; 4- đồng hồ đo thời gian



Hình 2. Xác định biến dạng mềm của BTTL; 1- bàn đo; 2- tấm đáy ván khuôn; 3- tấm kim loại; 4- mẫu bê tông; 5- đồng hồ đo biến dạng; 6- màng nilon

Bảng 3. Bảng giá trị đo bay hơi nước và biến dạng mềm trong điều kiện khí hậu Việt Nam

Cấp phối	Thời điểm đo	ĐK khí hậu	Tốc độ bay hơi nước lớn nhất (kg/m ² /h)			Tỷ lệ nước bay hơi (%)			Biến dạng mềm (mm/m)		
			KBD	TN	CNL	KBD	TN	CNL	KBD	TN	CNL
N/B = 0,35	Sau 4h Sau 10h	ĐK1	1,90	1,55	0,47	22,36	19,10	4,47	1,83	1,51	0,51
						32,58	28,20	5,25	2,43	2,13	0,74
		ĐK2	1,02	0,92	0,45	15,10	14,10	4,70	1,11	0,89	0,52
						20,91	18,90	5,10	1,50	1,21	0,70
		ĐK3	1,57	1,44	0,48	23,50	14,10	4,90	1,11	0,89	0,52
						33,80	31,97	6,25	2,51	2,25	0,82
N/B = 0,30	Sau 4h Sau 10h	ĐK1	1,60	1,35	0,44	20,10	18,10	4,67	1,78	1,45	0,49
						30,72	27,10	5,05	2,31	2,09	0,71
		ĐK2	1,02	0,90	0,41	14,50	12,60	4,51	1,05	0,79	0,49
						19,50	17,56	4,85	1,46	1,18	0,68
		ĐK3	1,40	1,22	0,47	22,50	21,30	3,40	1,81	1,57	0,65
						32,30	30,10	5,59	2,37	2,15	0,81

Biến dạng mềm phát triển đồng thời với thời điểm bắt đầu mất nước của bê tông. Trong cả 3 điều kiện khí hậu, bê tông được CNL có giá trị biến dạng mềm nhỏ nhất, lớn nhất xảy ra ở mẫu KBD. Điều kiện khí hậu nắng nóng và khô hanh ảnh hưởng nhiều nhất đến quá trình bay hơi nước và biến dạng mềm của bê tông, do ảnh hưởng của nhiệt độ cao, độ ẩm thấp. Việc mất nước nhanh với khối lượng lớn đã làm cho biến dạng mềm nhanh chóng đạt giá trị cực đại.

Trong cả 3 điều kiện thời tiết, bê tông KBD và TN có tốc độ mất nước khá lớn, xấp xỉ và lớn hơn 1 kg/m²/h, là tốc độ mất nước có khả năng gây ra các vết nứt trong kết cấu bê tông theo ACI [15, 16] và cần phải có biện pháp che phủ bề mặt bê tông bằng các vật liệu bảo dưỡng nhằm giảm tốc độ bay hơi nước. Thậm chí khi tốc độ mất nước vượt quá 0,5 kg/m²/h, theo khuyến cáo của ACI, cũng cần phải xem xét các biện pháp bổ sung để kiểm soát mất nước bê tông. Phương pháp che ni lông cho thấy có hiệu quả rõ rệt trong việc giảm tốc độ bay hơi nước. Tốc độ bay hơi nước trong tất cả các trường hợp bảo dưỡng bằng che phủ ni lông đều cho giá trị nhỏ dưới 0,5 kg/m²/h, là mức tốc độ bay hơi nước không ảnh hưởng đến hình thành cấu trúc của bê tông [16].

Thời điểm tốc độ mất nước đạt giá trị cao nhất ở các điều kiện nắng nóng, nóng ẩm và khô hanh là 1 giờ, 2 giờ và 3 giờ; trong 4 giờ đầu, biến dạng mềm phát triển với tốc độ nhanh, sau đó giảm và dần đạt đến giá trị tối đa ở thời điểm 7-8 giờ sau khi đổ bê tông. Như vậy 3-4 giờ đầu đóng rắn là thời gian quan trọng để kiểm soát tốc độ mất nước, lượng nước mất và giá trị biến dạng mềm của bê tông, từ đó lựa chọn phương pháp bảo dưỡng phù hợp.

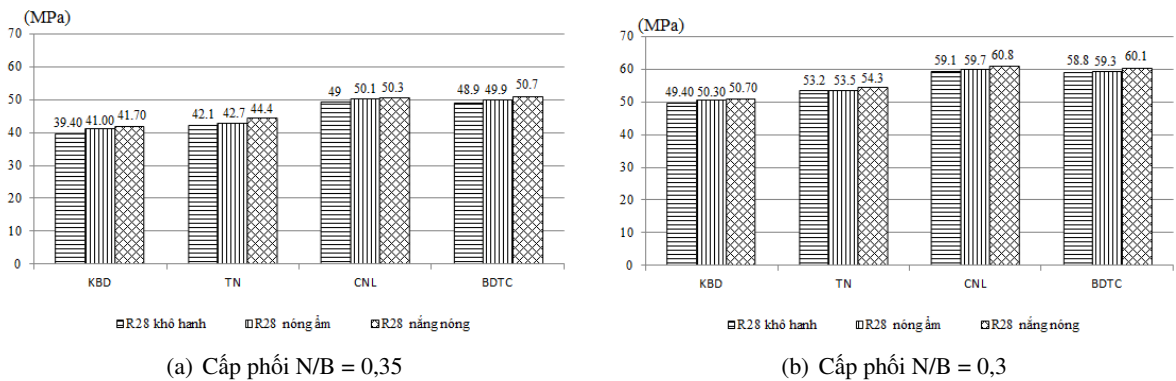
4.2. Lựa chọn phương pháp bảo dưỡng bê tông tự lèn phù hợp

Trên cơ sở kết quả thí nghiệm bay hơi nước và biến dạng mềm của hai cấp phối bê tông trong 3 điều kiện thời tiết với 3 phương pháp bảo dưỡng cho thấy: tốc độ và giá trị mất nước, biến dạng mềm của bê tông bảo dưỡng TN không giảm nhiều (rõ rệt) so với bê tông KBD. Tốc độ mất nước của bê tông TN trong tất cả các điều kiện thời tiết đều xấp xỉ và lớn hơn 1,0 kg/m²/h, vượt ngưỡng mà cần phải áp dụng biện pháp hạn chế sự bay hơi nước của bê tông [16]. Vì vậy, ngay cả khi sử dụng phương pháp TN thì cũng cần phải có biện pháp bổ sung để hạn chế mất nước bê tông.

Mặt khác, khi thực hiện tưới nước làm ẩm bề mặt bê tông, nước trên bề mặt bay hơi nhanh chóng, đặc biệt trong điều kiện khí hậu nắng nóng và khô hanh. Trong điều kiện nhiệt độ môi trường cao, bề mặt bê tông đang bị hun nóng, việc tưới nước lên bề mặt sẽ dẫn đến hiện tượng xung nhiệt và chênh lệch nhiệt giữa các vùng bê tông theo chu kỳ và trong thời gian ngắn, có thể dẫn đến hiện tượng nứt bê tông do gradient nhiệt [17]. Việc bảo dưỡng TN trong trường hợp này không những không có tác dụng mà còn ảnh hưởng xấu đến chất lượng của bê tông.

Mất nước và biến dạng mềm giảm đáng kể khi bê tông được bảo dưỡng CNL. Các giá trị này cao nhất thậm chí ở thời điểm 10 giờ trong điều kiện nắng nóng đối với bê tông N/B = 0,35 và N/B = 0,3 như sau: 6,25% và 5,95%; 0,82 mm/m và 0,81% (Bảng 3). Điều này đạt được là do lượng nước thoát ra trong bê tông được ngưng tụ ngay dưới lớp màng ni lông, làm cho môi trường bề mặt bê tông có độ ẩm cao, làm hạn chế quá trình bay hơi nước, dẫn đến giảm biến dạng mềm. Đặc biệt, ở tất cả các trường hợp thí nghiệm, tốc độ mất nước lớn nhất trong 4 giờ đầu tiên nhỏ hơn 0,5 kg/m²/h, chứng tỏ hiệu quả và sự phù hợp của phương pháp bảo dưỡng CNL.

Bê tông bảo dưỡng CNL có cường độ nén tốt nhất, trong các điều kiện thời tiết khác nhau, R_{28} của bê tông đều vượt R_{28}^{tc} (101 và 107%). Trong khi đó, cường độ bê tông bảo dưỡng TN đều không đạt R_{28}^{tc} (85,5 và 90,2%) (Hình 3). Ở đây, do tỷ lệ N/B của BTTL nhỏ ($N/B < 0,45$), các lỗ rỗng trong cấu trúc rất mịn và nhỏ, các mao quản sẽ bị gián đoạn sau 1 - 3 ngày nên việc tưới nước để cung cấp độ ẩm vào bên trong bê tông là không khả thi [18], kết hợp với tốc độ và lượng nước bay hơi lớn, dẫn đến không đủ nước cho thủy hóa, ảnh hưởng đến cường độ nén của bê tông.



Hình 3. Cường độ nén R_{28} của BTTL đóng rắn trong các ĐKKH và bảo dưỡng khác nhau

Như vậy, trong cả 3 điều kiện thời tiết, phương pháp bảo dưỡng CNL kiểm soát quá trình mất nước và biến dạng mềm của bê tông hiệu quả nhất; tốc độ, lượng nước mất và biến dạng mềm đều thấp hơn các giá trị được các chuyên gia và tiêu chuẩn nước ngoài khuyến cáo; tạo ra được môi trường nhiệt - ẩm thuận lợi cho quá trình đóng rắn bê tông; cường độ nén R_{28} của bê tông đều đạt và vượt R_{28}^{tc} , là phương pháp bảo dưỡng phù hợp cho BTTL trong điều kiện khí hậu Việt Nam.

4.3. Xác định các thông số kỹ thuật bảo dưỡng BTTL bằng phương pháp CNL

a. Xác định hình thức và thời gian BDBĐ

Theo TCVN về bảo dưỡng bê tông, hình thức BDBĐ bê tông có thể dùng vật liệu che phủ bề mặt bê tông ngay sau khi hoàn thiện bề mặt. Tuy nhiên rất khó thực hiện trong thực tế, vì ảnh hưởng đến bề mặt hoàn thiện và kết cấu bê tông do tác động của ngoại lực khi tiến hành. Tiêu chuẩn này cũng không quy định thời điểm bắt đầu BDBĐ, nếu chỉ căn cứ vào sự khô, se nước của bề mặt bê tông thì

sẽ rất mơ hồ và định tính, có thể sẽ là quá muộn nếu bê tông đã mất quá nhiều nước. Đối với BTTL, bề mặt bê tông sau khi hoàn thiện có một lớp nước tự do mỏng, bề mặt rất mềm, do vậy giải pháp che bề mặt bê tông tự lên sau khi hoàn thiện bằng bất cứ vật liệu nào cũng rất khó thực hiện.

Căn cứ vào mục đích của BDBĐ là kiểm soát quá trình bay hơi nước của bê tông, trên cơ sở quan sát quá trình thực nghiệm và một số kết quả nghiên cứu [11, 12], hình thức BDBĐ đối với BTTL được đề xuất chính là thời gian để cho bê tông tự bay hơi nước tự do qua bề mặt thoáng đến khi bề mặt bê tông khô nước. Thời gian BDBĐ (giờ) tính từ khi hoàn thiện bề mặt bê tông đến khi tiến hành BDTT bằng cách che bề mặt bê tông bằng ni lông.

Thí nghiệm được tiến hành với các tổ mẫu có thời gian bảo dưỡng ban đầu khác nhau từ 0 giờ đến 7 giờ tính từ thời điểm hoàn thiện xong bề mặt mẫu, trong 3 điều kiện thời tiết khác nhau: khô hanh, nóng ẩm và nắng nóng (điều kiện thời tiết trong thực nghiệm tác động đến quá trình đóng rắn của mẫu bê tông tối thiểu trong 12 giờ đầu đóng rắn, sau thời gian đó có thể chu kỳ khí hậu sẽ kéo dài ở các ngày tiếp theo, hoặc thay đổi dần và chuyển sang chu kỳ thời tiết khác).

Kết quả nén mẫu cho thấy trong cả 2 điều kiện thời tiết khô hanh và nóng ẩm, mẫu bê tông của cả 2 cấp phối có thời gian BDBĐ là 1 giờ có cường độ nén R_{28} là cao nhất, đạt và vượt R_{28}^{tc} . Trong điều kiện thời tiết nắng nóng, việc che ni lông cho bê tông càng sớm càng tốt, thời gian BDBĐ phải ngắn nhất có thể, tốt nhất dưới 0,5 giờ và không được quá 1 giờ. Khi kéo dài thời gian BDBĐ cường độ R_{28} của bê tông giảm nhanh tuyến tính với thời gian, với thời gian BDBĐ là 7 giờ, R_{28} của bê tông chỉ đạt 83-85% R_{28}^{tc} (Bảng 4).

Bảng 4. Cường độ bê tông với thời gian BDBĐ khác nhau

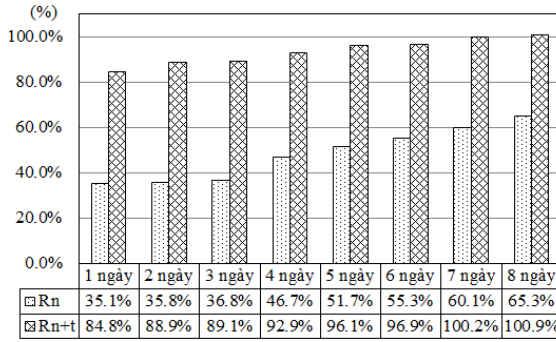
Cấp phối	ĐK khí hậu	Cường độ bê tông so với R_{28}^{tc} (%)							
		0 giờ	1 giờ	2 giờ	3 giờ	4 giờ	5 giờ	6 giờ	7 giờ
N/B = 0,35	Khô hanh	98,2	100,4	95,7	93,1	87,4	86,6	84,9	83,7
	Nóng ẩm	97,9	100,6	95,6	92,9	87,6	86,6	85,0	84,2
	Nắng nóng	100,7	98,8	94,8	92,1	89,7	87,5	85,3	83,0
N/B = 0,30	Khô hanh	98,3	100,8	96,2	93,2	90,3	89,1	86,7	85,9
	Nóng ẩm	98,9	100,7	95,5	93,1	91,3	88,5	86,1	85,3
	Nắng nóng	101,1	99,6	95,0	92,4	90,0	88,2	86,9	85,0

b. Xác định thông số kỹ thuật bảo dưỡng tiếp theo

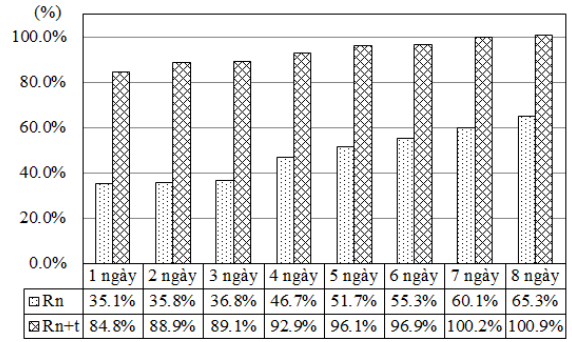
Thông số kỹ thuật BDTT bằng phương pháp CNL cho BTTL gồm thời gian bảo dưỡng cần thiết T_{BD}^{ct} và cường độ bảo dưỡng tới hạn R_{BD}^{th} . Ở điều kiện khô hanh và nóng ẩm BTTL cần bảo dưỡng liên tục trong thời gian 7 ngày, cường độ bê tông tại thời điểm kết thúc bảo dưỡng đạt trên 60-63% R_{28}^{tc} . Ở điều kiện nắng nóng cần bảo dưỡng liên tục trong thời gian 5 ngày, cường độ bê tông tại thời điểm kết thúc bảo dưỡng đạt trên 62-65% R_{28}^{tc} (Hình 4-6).

BTTL được che kín bằng ni lông nên hạn chế được ảnh hưởng của yếu tố độ ẩm môi trường đến quá trình đóng rắn, khi đó cường độ bê tông chủ yếu phụ thuộc vào yếu tố nhiệt độ. Trong điều kiện thời tiết nóng kết hợp với sự hấp thụ và giữ nhiệt của màng ni lông, nhiệt độ bê tông và môi trường đóng rắn tăng cao, tốc độ phát triển cường độ nhanh, dẫn đến bê tông nhanh đạt giá trị cường độ bảo dưỡng tới hạn R_{BD}^{th} . Vì vậy, bảo dưỡng bê tông trong điều kiện nắng nóng có thời gian ngắn hơn so với điều kiện khô hanh và nóng ẩm.

Tỷ lệ N/B có ảnh hưởng nhất định đến tốc độ phát triển cường độ bê tông. Các mẫu bê tông N/B = 0,30 có tốc độ phát triển cường độ cao hơn so với các mẫu bê tông N/B = 0,35. Tuy nhiên, do sự

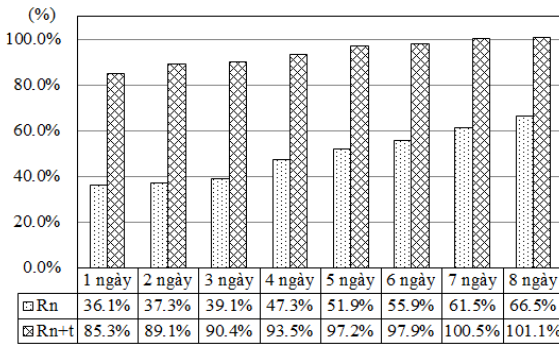


(a) Cấp phối N/B = 0,35

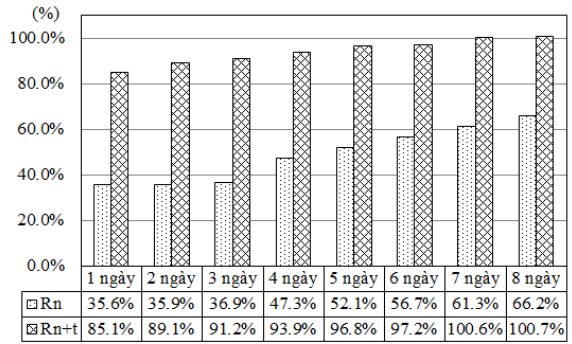


(b) Cấp phối N/B = 0,30

Hình 4. Thời gian bảo dưỡng và cường độ BTTL điều kiện khí hậu khô hanh

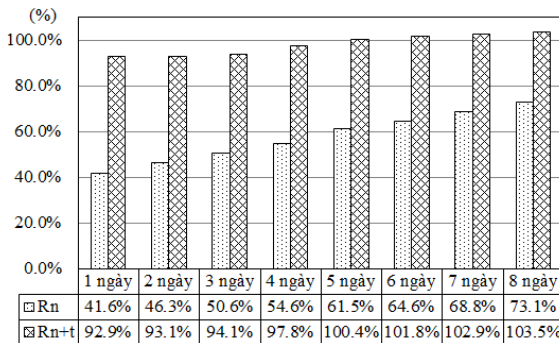


(a) Cấp phối N/B = 0,35

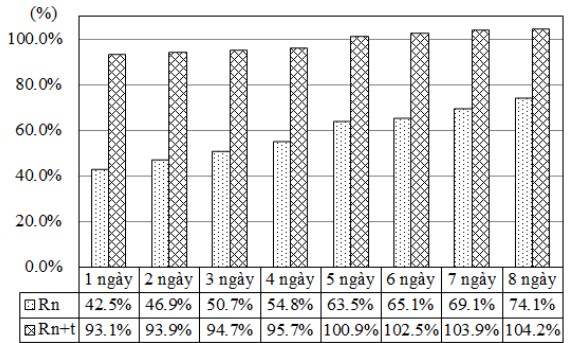


(b) Cấp phối N/B = 0,30

Hình 5. Thời gian bảo dưỡng và cường độ BTTL điều kiện khí hậu nóng ẩm



(a) Cấp phối N/B = 0,35



(b) Cấp phối N/B = 0,30

Hình 6. Thời gian bảo dưỡng và cường độ BTTL điều kiện khí hậu nắng nóng

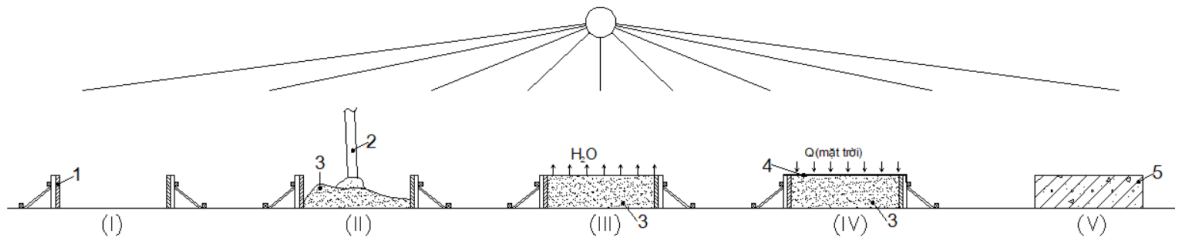
khác nhau của N/B không lớn nên mức độ ảnh hưởng là không rõ rệt và T_{BD}^{ct} không có sự khác biệt nhiều của hai cấp phối này.

Như vậy, đối với bê tông N/B = $0,3 \pm 0,35$ (tỷ lệ phổ biến cho BTTL sử dụng trong xây dựng công

trình dân dụng và công nghiệp) thời gian bảo dưỡng cần thiết trong điều kiện thời tiết khô hanh và nóng ẩm $T_{BD}^{ct} = 7$ ngày, và cường độ bảo dưỡng tới hạn $R_{BD}^{th} \geq 60\%R_{28}^{tc}$; trong điều kiện thời tiết nắng nóng, các giá trị này tương ứng là $T_{BD}^{ct} = 5$ ngày và $R_{BD}^{th} \geq 62\%R_{28}^{tc}$.

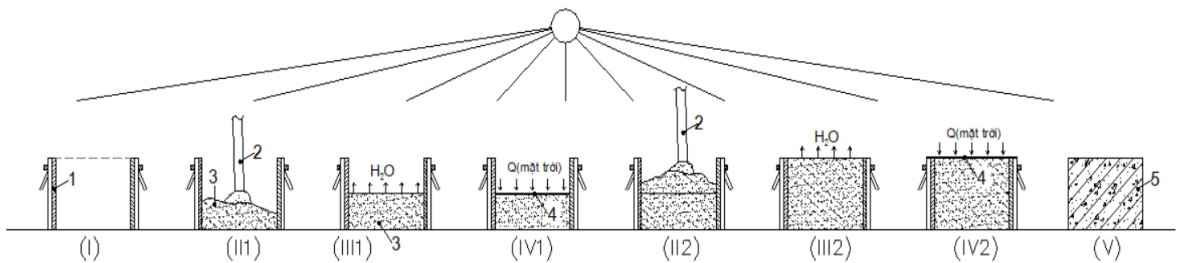
5. Kỹ thuật bảo dưỡng BTTL bằng phương pháp che ni lông trong ĐKKH Việt Nam

Ba sơ đồ công nghệ cơ bản, liên quan đến cách thức đổ bê tông như Hình 7–9 và chỉ dẫn kỹ thuật bảo dưỡng BTTL trong điều kiện khí hậu Việt Nam được đề xuất như Bảng 5.



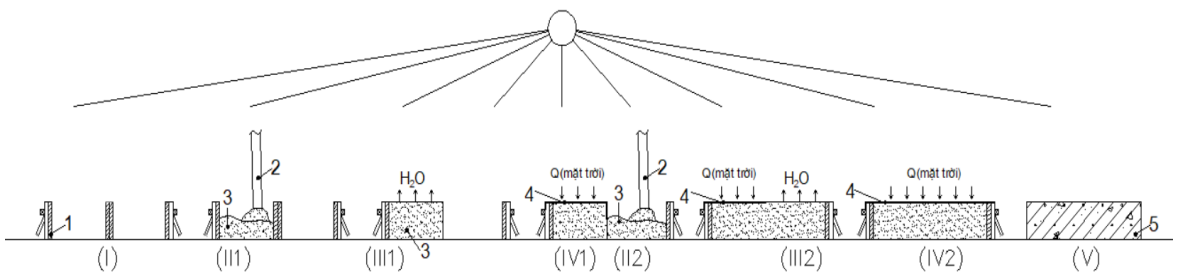
1- ván khuôn, 2- vòi bơm bê tông, 3- bê tông, 4- ni lông bảo dưỡng, 5- kết cấu bê tông;
I- lắp dựng ván khuôn, II- đổ bê tông, III- bảo dưỡng ban đầu, IV- bảo dưỡng tiếp theo, V- kết thúc bảo dưỡng

Hình 7. Sơ đồ công nghệ bảo dưỡng BTTL đổ liên tục không có mạch ngừng



1- ván khuôn, 2- vòi bơm bê tông, 3- bê tông, 4- ni lông bảo dưỡng, 5- kết cấu bê tông;
I- lắp dựng ván khuôn; II,2- đổ bê tông đợt 1,2; III,2- bảo dưỡng ban đầu bê tông đổ đợt 1,2;
IV1,2- bảo dưỡng tiếp theo bê tông đổ đợt 1,2; V- kết thúc bảo dưỡng

Hình 8. Sơ đồ công nghệ bảo dưỡng BTTL đổ không liên tục có mạch ngừng ngang



1- ván khuôn, 2- vòi bơm bê tông, 3- bê tông, 4- ni lông bảo dưỡng, 5- kết cấu bê tông;
I- lắp dựng ván khuôn; II,2- đổ bê tông đợt 1,2; III,2- bảo dưỡng ban đầu bê tông đổ đợt 1,2;
IV1- bảo dưỡng tiếp theo bê tông đổ đợt 1; IV2- bảo dưỡng bê tông toàn bộ kết cấu; V- kết thúc bảo dưỡng

Hình 9. Sơ đồ công nghệ bảo dưỡng BTTL đổ không liên tục có mạch ngừng đứng

Bảng 5. Chỉ dẫn kỹ thuật bảo dưỡng BTTL theo phương pháp CNL trong ĐKKH Việt Nam

STT	Công việc	Nội dung	Chỉ dẫn biện pháp thi công
I	Lắp dựng ván khuôn	1 - Xác định tim cốt, cao độ. 2 - Lắp dựng ván khuôn. 3 - Kiểm tra, nghiệm thu ván khuôn.	- Công tác lắp dựng và nghiệm thu ván khuôn thực hiện theo [19]. - Lưu ý độ kín khít, độ ẩm ván khuôn gỗ và quét dầu ván khuôn thép. - Sử dụng ván khuôn gỗ ép cho chất lượng bề mặt của bê tông tốt hơn sử dụng ván khuôn thép. - Lưu ý tính toán ván khuôn được khuyến cáo thực hiện theo áp lực thủy tĩnh.
II	Đổ vữa bê tông vào khuôn	1 - Tiếp nhận vữa bê tông. 2 - Đổ vữa vào khuôn. 3 - Hoàn thiện bề mặt.	- Đổ bê tông liên tục đảm bảo tính toàn khối của cấu kiện. - Áp dụng các biện pháp chống mất nước, phân tầng, giảm tính công tác của vữa trong quá trình vận chuyển, đổ bê tông. - Nên bố trí miệng ống đổ thấp hơn bề mặt bê tông đang đổ, hoặc hạn chế tối đa chiều cao rơi tự do của hỗn hợp bê tông để tránh kẹt không khí tạo lỗ rỗng bên trong bê tông. Chiều cao rơi tự do hỗn hợp 1-3m để tránh phân tầng [20]. - Đổ tốc độ chậm để không khí có thời gian thoát ra ngoài bê tông. - Đổ từ một hướng để tránh bị kẹt không khí trong bê tông. - Chiều dài dòng chảy từ 5-8 m [20].
III	Bảo dưỡng bê tông ban đầu (BDBĐ)	1 - Sau khi hoàn thiện bề mặt bê tông, không cần áp dụng bất cứ phương pháp bảo dưỡng nào. 2 - Cho phép hơi nước bay hơi nước tự do khỏi bê tông. 3 - Thời gian BDBĐ phụ thuộc vào thành phần BT và ĐK thời tiết.	- Thời tiết nồm ẩm $T = 15-30^{\circ}\text{C}$, $W = 70-95\%$, không quy định thời gian BDBĐ [11, 21]. - Thời tiết khô hanh $T = 18-30^{\circ}\text{C}$, $W = 40-65\%$; Thời tiết nóng ẩm $T = 28-35^{\circ}\text{C}$, $W = 65-85\%$: thời gian cho phép BTTL bay hơi nước tự do (thời gian BDBĐ) khoảng 1 giờ sau khi đổ; - Thời tiết nắng nóng $T = 28-40^{\circ}\text{C}$, $W = 40-65\%$: thời gian cho phép BTTL bay hơi nước tự do (thời gian BDBĐ) ngắn nhất có thể, tuyệt đối không quá 1 giờ sau khi đổ.
IV	Bảo dưỡng bê tông tiếp theo (BDTT)	1 - Chuẩn bị mặt bằng, vật liệu, thiết bị thi công; 2 - Phủ bề mặt thoáng của bê tông đã hoàn thiện bằng vật liệu cách ẩm, hấp thụ năng lượng mặt trời như ni lông, bạt dứa... 3 - Kiểm soát (giám sát, kiểm tra) chất lượng công việc và sự phát triển cường độ bê tông, đảm bảo bê tông đạt hoặc vượt R_{BD}^{th} .	- Sau khi kết thúc BDBĐ, phủ bề mặt thoáng của bê tông bằng vật liệu bảo dưỡng cách ẩm, có thể hấp thụ năng lượng mặt trời như ni lông, bạt dứa... - Độ dày của màng ni lông tối thiểu 0,1 mm, che phủ bằng hai lớp ni lông. - Di chuyển nhẹ nhàng trên bề mặt bê tông bằng các tấm ván ghép chuẩn bị sẵn. - Thời gian bảo dưỡng cần thiết được đề xuất: + Thời tiết nồm ẩm $T = 15-30^{\circ}\text{C}$, $W = 70-95\%$, bê tông không cần bảo dưỡng. Nếu thời tiết thay đổi chuyển sang chu kỳ khác, có thể áp dụng biện pháp CNL, tổng thời gian bảo dưỡng là 7 ngày. + Thời tiết khô hanh $T = 18-30^{\circ}\text{C}$, $W = 40-65\%$ và nóng ẩm $T = 28-35^{\circ}\text{C}$, $W = 65-85\%$, đối với BTTL có $N/B \leq 0,35$ thời gian bảo dưỡng cần thiết $T_{BD}^{ct} = 7$ ngày; cường độ bảo dưỡng tối hạn $R_{BD}^{th} \geq 60\%R_{28}^{tc}$. + Thời tiết nắng nóng $T = 28-40^{\circ}\text{C}$, $W = 40-65\%$, đối với BTTL có $N/B \leq 0,35$ thời gian bảo dưỡng cần thiết $T_{BD}^{ct} = 5$ ngày; cường độ bảo dưỡng tối hạn $R_{BD}^{th} \geq 62\%R_{28}^{tc}$.
V	Kết thúc bảo dưỡng	1 - Tháo dỡ các liên kết. 2 - Dỡ bỏ vật liệu bảo dưỡng. 3 - Tháo dỡ ván khuôn thành nếu có.	- Tầm bảo dưỡng tháo dỡ cẩn thận, vệ sinh và nhập kho để sử dụng cho lần bảo dưỡng tiếp theo; - Công tác tháo dỡ ván khuôn thực hiện theo TCVN 4453-1995. Yếu tố cường độ bê tông xét đến ảnh hưởng của thời gian bảo dưỡng.

6. Kết luận

Mất nước và biến dạng mềm của BTTL là 2 quá trình vật lý cơ bản liên quan lẫn nhau, xảy ra với cường độ lớn và đạt giá trị cực đại trong 4÷8 giờ đầu đông rắn, phụ thuộc vào điều kiện thời tiết và phương pháp bảo dưỡng bê tông. Đặc biệt, tốc độ, giá trị mất nước và biến dạng mềm trong 4 giờ đầu sau khi đổ bê tông quyết định đến sự phát triển cường độ bê tông. Để BTTL đạt cường độ thiết kế R_{28} , trong 4 giờ đầu đông rắn phải áp dụng phương pháp bảo dưỡng phù hợp, đảm bảo tốc độ mất nước lớn nhất $v_{mn} \leq 0,5 \text{ kg/m}^2/\text{h}$, lượng nước mất $m_{mn} \leq 5\%$ (so với lượng nước trộn) và giá trị biến dạng mềm $\varepsilon_{BT}^m \leq 0,8 \div 1 \text{ mm/m}$. Che ni lông bề mặt bay hơi của bê tông kiểm soát được quá trình mất nước và biến dạng mềm trong giới hạn cho phép, tạo điều kiện thuận lợi phát triển cấu trúc và cường độ của bê tông.

Phương pháp bảo dưỡng BTTL phù hợp trong điều kiện khí hậu nắng nóng và khô hanh là che phủ bề mặt thoáng của kết cấu bằng màng ni lông (hoặc vật liệu tương tự) có thể hấp thụ năng lượng mặt trời (BDTT) sau khi cho phép bê tông bay hơi nước tự do có kiểm soát (BDBĐ). Thời gian BDBĐ ở điều kiện thời tiết khô hanh khoảng 1 giờ sau khi hoàn thiện bề mặt; ở điều kiện nắng nóng thời gian BDBĐ ngắn nhất có thể, tuyệt đối không quá 1 giờ sau khi đổ. Thời gian BDTT (T_{BD}^{ct}), áp dụng cho BTTL có $N/B \leq 0,35$, ở điều kiện khô hanh và nóng ẩm: $T_{BD}^{ct} = 7$ ngày và cường độ bảo dưỡng tối hạn $R_{BD}^{th} \geq 60\%R_{28}^{tc}$; ở điều kiện nắng nóng: $T_{BD}^{ct} = 5$ ngày và $R_{BD}^{th} \geq 62\%R_{28}^{tc}$.

Tài liệu tham khảo

- [1] Loukili, A. (2013). *Self-compacting concrete*. John Wiley & Sons.
- [2] Senbetta, E., Malchow, G. A. (1987). [Studies on control of durability of concrete through proper curing](#). *Special Publication*, 100:73–88.
- [3] Okamura, H., Maekawa, K., Ozawa, K. (1993). High performance concrete. *Gihoudou Pub*, Tokyo, 125–128.
- [4] Qureshi, L. A., Bukhari, I. A., Munir, M. J. (2010). Effect of different curing techniques on compressive strength of high strength self compacting concrete. *Bahaudin Zakriya University*.
- [5] Miyazawa, S., Monteiro, P. J. M. (1996). [Volume change of high-strength concrete in moist conditions](#). *Cement and Concrete Research*, 26(4):567–572.
- [6] Ouchi, M., Nakamura, S. A., Osterberg, T., Hallberg, S., Lwin, M. (2003). Applications of self-compacting concrete in Japan, Europe and the United States. *Kochi University of Technology*, Kochi, Japan.
- [7] Khan, M. S., Ayers, M. E. (1995). [Minimum Length of Curing of Silica Fume Concrete](#). *Journal of Materials in Civil Engineering*, 7(2):134–139.
- [8] Đình, N. H., Angeli, D. C., Ất, N. T., Nghiệp, V. H. (2017). Bảo dưỡng bê tông tự lèn bằng che phủ nilon trong điều kiện khí hậu Miền Nam. *Tạp chí Xây dựng*, (4):126–129.
- [9] *A Neville further aspects of hardened concrete*. Curing of Concrete, chapter.
- [10] Dích, N. T. (2000). *Công tác bê tông trong điều kiện khí hậu nóng ẩm Việt Nam*. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [11] Khoa, H. N., Cường, N. H. (2011). [Lựa chọn phương pháp bảo dưỡng bê tông hiệu quả trong điều kiện khí hậu nóng ẩm](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (TCKHCNXD) - ĐHXD*, 5(1):33–39.
- [12] Кхоа, X. H. (2007). Технология устройства монолитных бетонных конструкций в переменных температурно-влажностных условиях (примерно к условиям Вьетнама). Дис.к.т.н., МГСУ, Москва.
- [13] TCVN 8828:2011. *Bê tông – Yêu cầu bảo dưỡng ẩm tự nhiên*. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
- [14] Миронов, С. А., Малинский Е. Н. (1985). Основы технологии бетона в условиях сухого жаркого климата. М.: Стройиздат: 316.
- [15] Uno, P. J. (1998). [Plastic shrinkage cracking and evaporation formulas](#). *ACI Materials Journal*, 95: 365–375.

- [16] Toàn, P. Đ. (2009). Vấn đề vết nứt trong bê tông ở trạng thái dẻo. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng Hải*, 8(19).
- [17] Mekiso, F. A. *Concrete curing and its practice in South Africa*.
- [18] Meeks, K. W., Carino, N. J. (1999). *Curing of high-performance concrete: Report of the state-of-the-art*. Citeseer.
- [19] TCVN 4453:1995. *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép – Quy phạm thi công nghiệm thu*.
- [20] Daczko, J. A. (2012). *Self-consolidating concrete: Applying what we know*. CRC Press.
- [21] BSI British Standard (1985). *Structural use of concrete: Code of practice for design and construction: BS8110, Part 1*. British Standards Institution.