

Quy trình công nghệ thi công kết cấu bê tông khối lớn dạng đầm chuyên theo phương pháp sử dụng hệ thống ống

Lê Văn Minh ^{1*}, Lê Đình Mạnh ²

¹ Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

² Khoa Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, TP. Hà Nội

TỪ KHOÁ

Bê tông khối lớn
Ứng suất nhiệt
Nứt nhiệt
Ettringite muộn
Hệ thống ống thoát nhiệt
Phần tử hữu hạn
Nhiệt thủy hóa

TÓM TẮT

Độ bền của kết cấu bê tông khối lớn có thể sẽ bị ảnh hưởng do ứng suất nhiệt và nứt nhiệt khi chênh lệch nhiệt độ tại tâm với bề mặt lớn hơn giới hạn cho phép. Nếu không có biện pháp kiểm soát chặt chẽ sẽ dẫn đến sự hình thành ettringite muộn (DEF). Quá trình này xuất hiện khi mà nhiệt độ trong bê tông tăng quá cao trong giai đoạn đầu, các sản phẩm thủy hóa có thể bị biến đổi, khiến ettringite hình thành muộn trong điều kiện có độ ẩm cao. Điều này gây ra hiện tượng nứt bề mặt khối bê tông và làm giảm độ bền của bê tông theo thời gian. Do đó, phương pháp thi công kết cấu bê tông khối lớn kết hợp với sử dụng hệ thống ống thoát nhiệt là một trong những biện pháp hiệu quả để giảm nhiệt lượng tỏa ra trong các kết cấu bê tông khối lớn. Bài báo này sẽ xem xét các vấn đề về kiểm soát nhiệt của khối bê tông khi mà sử dụng hệ thống ống thoát nhiệt. Phương pháp nghiên cứu là sử dụng mô phỏng kết cấu bê tông dạng đầm chuyên sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn dưới sự hỗ trợ của phần mềm Midas Civil 2022. Từ kết quả phân tích mô hình, sẽ xây dựng hướng dẫn kỹ thuật cũng như các chỉ dẫn và lưu ý thi công kết cấu bê tông khối lớn theo phương pháp sử dụng hệ thống ống thoát nhiệt.

KEYWORDS

Mass concrete
Thermal stress
Thermal cracking
Delayed Ettringite Formation
Cooling pipe system
Finite element
Hydration heat

ABSTRACT

The durability of mass concrete structures can be affected by thermal stress and thermal cracking when the temperature difference between the core and the surface exceeds the allowable limit. Without strict control measures, Delayed Ettringite Formation (DEF) may occur. This phenomenon happens when the concrete temperature rises excessively in the early stages, causing hydration products to transform and leading to the delayed formation of ettringite under high humidity conditions. As a result, surface cracking occurs, compromising the long-term durability of the concrete. Therefore, the construction method of mass concrete structures combined with a cooling pipe system is one of the most effective measures to reduce heat generation in mass concrete structures. This paper examines temperature control issues in mass concrete structures utilizing a cooling pipe system. The research methodology involves simulating a transfer girder concrete structure using finite element analysis with Midas Civil 2022. Based on the analysis results, this study aims to develop technical guidelines, recommendations, and construction considerations for mass concrete structures using a cooling pipe system.

1. Giới thiệu

Trong quá trình thi công kết cấu bê tông khối lớn, nhiệt thủy hóa xi măng là một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến sự phát triển nhiệt độ trong lòng khối bê tông. Đặc biệt tại tâm khối bê tông, nhiệt độ sẽ tăng lên đáng kể trong giai đoạn đầu của bê tông do quá trình nhiệt thủy hóa, sự gia tăng nhiệt độ này sẽ khiến vật liệu bê tông giãn nở dẫn đến hiện tượng nứt bề mặt khối bê tông. Dưới tác động của nhiệt độ môi trường xung quanh, bề mặt bê tông sẽ được làm mát nhanh hơn so với tâm khối bê tông. Từ đó, làm xuất hiện sự chênh lệch nhiệt độ đáng kể của tâm và bề mặt khối bê tông. Sự chênh lệch nhiệt độ của tâm khối bê tông sẽ dẫn đến biến dạng kéo và ứng suất ở

tâm khối bê tông. Sau đó dẫn đến hình thành vết nứt do khả năng chịu kéo của bê tông thấp. Các tiêu chuẩn thường giới hạn chênh lệch nhiệt độ tối đa là 20 °C [1]. Trong một số trường hợp, bê tông tiếp xúc với nhiệt độ cao cũng sẽ ảnh hưởng bởi sự hình thành ettringite muộn (DEF), hiện tượng này cũng gây ra sự giãn nở và nứt khi có hơi ẩm [2] làm giảm cường độ và độ bền cơ học của kết cấu bê tông. Để có thể ngăn ngừa hiện tượng DEF ở khối bê tông trong quá trình thi công, cần phải kiểm soát chặt chẽ nhiệt độ trong lòng khối bê tông không chế dưới 70 °C trong giai đoạn nhiệt thủy hóa. Theo tiêu chuẩn ACI 301-10 [3] về bê tông khối lớn cũng đã đề cập đến giới hạn nhiệt độ lớn nhất trong khối bê tông là dưới 70 °C để tránh xuất hiện các vết nứt nhiệt này.

*Liên hệ tác giả: minhlv@huce.edu.vn

Nhận ngày 31/03/2025, sửa xong ngày 16/04/2025, chấp nhận đăng ngày 17/04/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2025.890>

Ngoài ra, để hạn chế các vấn đề ở trên thì cũng có nhiều phương pháp được sử dụng như là: Làm mát khối bê tông bằng hệ thống ống nước thoát nhiệt để duy trì nhiệt độ bê tông trong giới hạn an toàn; Điều chỉnh thành phần hỗn hợp bê tông, sử dụng phụ gia giảm nhiệt thủy hóa; Giảm nhiệt độ trên bề mặt khối bê tông thông qua việc sử dụng ván khuôn, có thể sử dụng vật liệu có độ dẫn nhiệt thấp để tăng cường tính chất cách nhiệt [4, 5].

Bài báo nghiên cứu tập trung đánh giá sự hiệu quả của phương pháp sử dụng ống thoát nhiệt đến trường nhiệt độ, chênh lệch nhiệt độ và chỉ số nứt do nhiệt trong bê tông khối lớn. Việc phân tích được thực hiện bởi công cụ phân tích nhiệt dạng dòng của phần mềm Midas Civil 2022. Hai mô hình có và không có ống làm lạnh được mô phỏng để đánh giá hiệu quả của việc sử dụng ống làm lạnh. Từ đó, nhóm tác giả sẽ kết luận hiệu quả của việc sử dụng hệ thống ống làm lạnh.

Bên cạnh đó, kết cấu bê tông khối lớn dạng đầm chuyển sẽ gặp khó khăn về việc tổ chức và kỹ thuật để đảm bảo tính thi công liên tục và kiểm soát nhiệt trong khối bê tông. Hiện nay, phương pháp công nghệ này vẫn chưa được áp dụng ở ngoài thực tế tại Việt Nam. Việc tính toán, thiết kế và tổ chức thi công được áp dụng thực hiện bởi các chuyên gia nước ngoài, trong khi đội ngũ kỹ sư, chuyên gia trong nước thì kinh nghiệm thực tiễn về vấn đề này vẫn còn hạn chế. Đặc biệt, đối với kết cấu dạng đầm chuyển bê tông khối lớn, việc tổ chức thi công liên tục cũng như kiểm soát nhiệt độ tại tâm trong suốt quá trình đổ bê tông là một thách thức lớn. Do đó, việc nghiên cứu và đề xuất quy trình công nghệ thi công hoàn chỉnh cho hệ thống thoát nhiệt trong bê tông khối lớn là hết sức cần thiết. Điều này sẽ làm cơ sở áp dụng cho các kết cấu bê tông khối lớn khác là hết sức cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn cao.

2. Công nghệ thi công kết cấu bê tông khối lớn dạng đầm chuyển bằng phương pháp sử dụng hệ thống ống thoát nhiệt

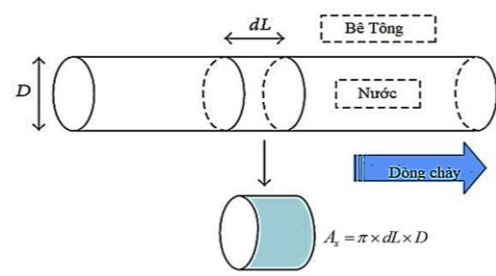
Mục đích chính của phương pháp này làm mát tại tâm khối bê tông bằng hệ thống ống thoát nhiệt. Việc cho nước tuần hoàn qua hệ thống nhằm kiểm soát nhiệt độ tại tâm của bê tông nhằm giảm thiểu nguy cơ nứt do nhiệt của kết cấu bê tông khối lớn như (Hình 1). Công nghệ thi công này đã được sử dụng lần đầu tại công trình đập Owyhee vào năm 1931 [6], sau đó tiếp tục được triển khai tại đập Hoover năm 1936 [7]. Từ đó, biện pháp làm mát bằng dòng nước lạnh chạy qua hệ thống ống ngầm đã chứng tỏ hiệu quả rõ rệt trong việc giảm nhiệt độ cực đại tại lõi khối bê tông [8]. Bên cạnh đó thì chi phí thiết kế, mua sắm vật liệu, lắp đặt và vận hành tương đối là thấp là một ưu điểm lớn khi sử dụng phương pháp này [9]. Với ưu điểm này thì các hệ thống có thể được kích hoạt từ giai đoạn đầu cho đến vài tuần sau khi đổ bê tông nhằm để kiểm soát nhiệt độ của bê tông khối lớn.

2.1. Cơ sở khoa học quá trình truyền nhiệt của hệ thống ống thoát nhiệt

Giá trị nhiệt đối lưu được xác định bởi công thức sau [10]:

$$q_{conv} = h_p \cdot A_s (T_s - T_m) = h_p \cdot A_s \left(\frac{T_{s,i} + T_{s,o}}{2} - \frac{T_{m,i} + T_{m,o}}{2} \right) \quad (1)$$

trong đó h_p là hệ số đối lưu của dòng chảy trong ống (kcal/m.h.°C); q_{conv} là nhiệt đối lưu; A_s là diện tích xung quanh bề mặt ống tiếp xúc với bê tông m^2 ; T_s, T_m là nhiệt bề mặt và chất lỏng trong ống (i là đầu vào, o là đầu ra).



Hình 1. Sơ đồ mô tả quá trình truyền nhiệt của ống làm lạnh.

Dựa trên cơ chế truyền nhiệt của bê tông khối lớn khi có ống làm mát bố trí tại vùng lõi (Hình 1), ta có thể thiết lập và giải hai phương trình vi phân Fourier theo nguyên lý cân bằng năng lượng trong quá trình trao đổi nhiệt của ống thoát nhiệt.

Phương trình một là phương trình cơ bản theo lý thuyết truyền nhiệt, có kể đến sự giải phóng nhiệt lượng theo thời gian của quá trình thủy hóa xi măng và được thể hiện như phương trình (2). Đây là phương trình truyền nhiệt trong bê tông [11, 12].

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q(t) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

trong đó T là nhiệt độ vật liệu (°C); k_x, k_y, k_z là hệ số dẫn nhiệt của vật liệu theo các hướng x, y và z tương ứng; $q(t)$ là tốc độ sinh nhiệt trên một đơn vị thể tích (kcal/m³); c là nhiệt dung riêng (kcal/kg. °C); ρ là khối lượng thể tích vật liệu (kg/m³); t là thời gian (ngày).

Phương trình thứ hai là phương trình có xét đến sự trao đổi nhiệt giữa dàn ống làm lạnh và bê tông và được thể hiện như phương trình (3):

$$\rho_w c_w \left(\frac{\partial T_w}{\partial t} + \vec{u} \nabla T_w \right) = k_w \nabla^2 T_w \quad (3)$$

trong đó T_w là nhiệt độ của nước, °C; k_w là hệ số dẫn nhiệt của nước (kcal/m.°C); c_w là nhiệt dung riêng của nước (kcal/kg.°C); ρ_w là khối lượng riêng của nước (kg/m³)

Các phương trình Fourier (2) và (3) được giải bằng cách sử dụng các điều kiện biên ban đầu và đường cong đoạn nhiệt trong quá trình thủy hóa xi măng.

2.2. Đối tượng nghiên cứu

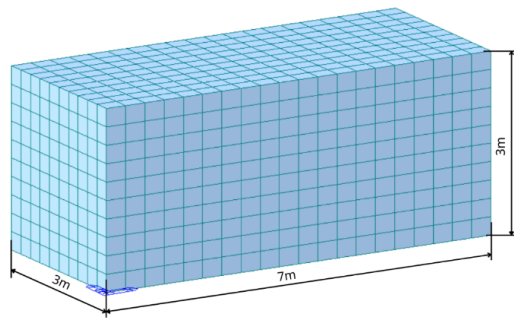
Trong nghiên cứu này sẽ xem xét ảnh hưởng của khối bê tông đầm chuyển đến trường nhiệt độ và chỉ số nứt ở giai đoạn nhiệt thủy hóa bằng phương pháp sử dụng hệ thống ống làm mát. Lựa chọn kích thước khối đầm chuyển như (Bảng 1) và được thể hiện như (Hình 2). Khoảng cách bố trí ống làm lạnh tổng thể được thể hiện ở (Hình 3 và Hình 4). Các thông số đầu vào đầu ra như (Bảng 3), các thông số ống làm lạnh được sử dụng như (Bảng 2). Các mô hình được khai báo và phân tích bằng phương pháp phần tử hữu hạn thông qua phần mềm Midas Civil 2022. Cấp phối sử dụng cho mẫu phân tích mô phỏng như trong (Bảng 4).

Bảng 1. Kích thước mô hình chạy.

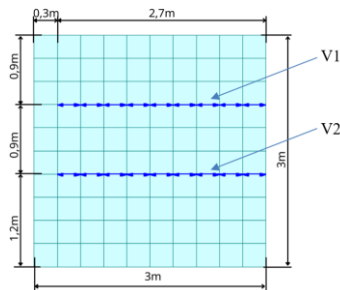
	Chiều dài (m)	Chiều rộng (m)	Chiều cao (m)
Khối đầm chuyển	7	3	3

Bảng 2. Bảng thông số ống làm lạnh sử dụng trong 200 giờ phân tích.

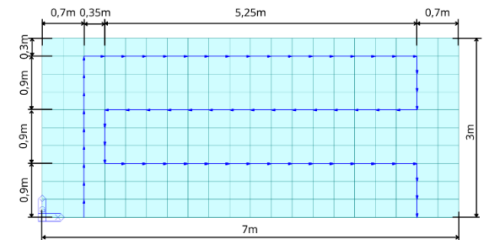
Đặc điểm	Đơn vị	Nước lạnh	Ống
Nhiệt dung riêng	kcal/kg.°C	1	-
Khối lượng riêng	kgf/m ³	1.000	7.850
Hệ số đối lưu	kcal/m ² .h.°C	-	320
Nhiệt độ dòng nước	°C	20	-
Tốc độ của nước làm mát	m ³ /h	3,6	-
Đường kính ống	m	0,027	



Hình 2. Mô hình phân tích khối đầm chuyển.



Hình 3. Mặt cắt bố trí hệ thống ống làm lạnh.

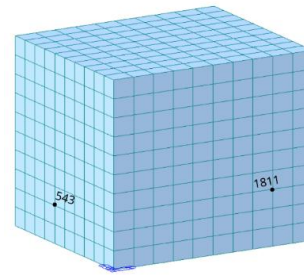


Hình 4. Mặt bằng bố trí hệ thống ống làm lạnh.

2.3. Kết quả và thảo luận

Nghiên cứu của Minh, L. V., Mạnh, L. Đ [16] đã chỉ ra rằng, khi áp dụng mô phỏng số bằng phần mềm Midas Civil 2022 với độ tin cậy khá chính xác với việc thi công xây dựng. Do đó, có thể sử dụng phần mềm để dự đoán chính xác sự phát triển nhiệt độ bên trong khối bê tông đầm chuyển có sử dụng hệ thống ống thoát nhiệt.

Dưới sự hỗ trợ phân tích của phần mềm Midas Civil 2022 dựa trên nguyên lý phần tử hữu hạn, có thể chế độ nhiệt của khối bê tông, bao gồm nhiệt độ tối đa, chênh lệch nhiệt độ tối đa giữa tâm và bề mặt, cùng chỉ số nứt. Để quan sát rõ quá trình phát triển về trường nhiệt độ, chênh lệch nhiệt độ và chỉ số nứt. Với 2 điểm nghiên cứu chính lần lượt là ở điểm 543 tại tâm và điểm 1811 tại biên của kết cấu đầm chuyển (Hình 5).



Hình 5. Hai điểm nghiên cứu chính lần lượt là ở tâm và biên được thể hiện 1/2 mô hình kết cấu đầm chuyển.

Bảng 3. Thông số đầu vào của kết cấu đầm chuyển [13-15].

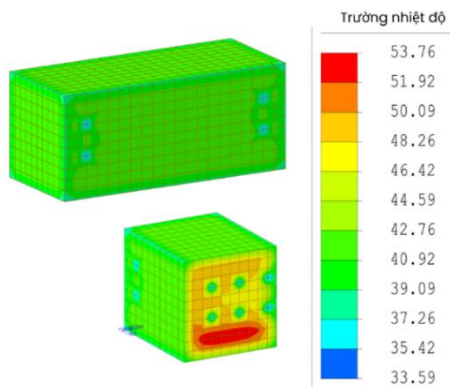
Đặc điểm		Bê tông
Nhiệt dung riêng, (kcal/kg.°C)		0,25
Khối lượng riêng, (kgf/m ³)		2.500
Hệ số dẫn nhiệt, (kcal/m.h.°C)		2,3
Hệ số trao đổi nhiệt, (kcal/m ² .hr.°C)	Khi tiếp xúc với môi trường	14
	Khi tiếp xúc với ván khuôn thép	14
Nhiệt độ môi trường xung quanh, (°C)		20
Nhiệt độ của bê tông khi đổ, (°C)		20
Nhiệt độ bảo dưỡng, (°C)		35
Cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi, (kgf/m ²)		4.000.000
Hệ số tăng cường độ nén		a = 13 b = 0,8
Mô đun đàn hồi ở 28 ngày tuổi, (kgf/m ²)		3,5894 × 10 ⁹
Hệ số giãn nở nhiệt		1,0 × 10 ⁻⁵
Hệ số poisson's		0,2

Bảng 4. Bảng cấp phối (Bê tông B35 -M450).

Vật liệu	Cát	Đá	Nước	Bột	Xi măng	Tro bay	Phụ gia siêu dẻo
Giá trị	765	1.100	101	420	308	112	5,13
Đơn vị	kg	kg	Lít	kg/m ³	kg	kg	Lít

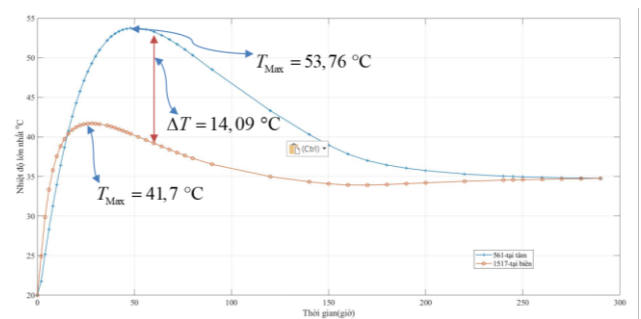
Bảng 5. Chỉ dẫn kỹ thuật lựa chọn thông số hệ thống ống thoát nhiệt.

Thông số hệ thống ống thoát nhiệt	Chỉ dẫn kỹ thuật, lưu ý
Đường kính ống	Với đường kính ống dao động từ 1 cm đến 3,7 cm là lựa chọn phù hợp để có thể đảm bảo điều kiện ko xảy ra nứt tại các vị trí nguy hiểm. Khuyến cáo nên lựa chọn 2,7 cm với chiều dày 1,5mm. Do đường kính 2,7 cm phổ biến trên thị trường hơn, giá thành hợp lý cũng như vận chuyển không quá cồng cênh
Chất liệu ống	Việc lựa chọn ống cần phải chú ý đến khả năng làm mát và độ bền cơ học của hệ thống ống [19]. Đối với ống nhựa ưu điểm chính so với ống thép là có chi phí thấp, ống nhựa có tính linh hoạt giúp việc lắp đặt nhanh chóng và dễ dàng hơn. Tuy nhiên khả năng làm mát mà ống nhựa thấp hơn nhiều so với ống thép [16]. Do vậy khuyến cáo nên sử dụng ống thép hơn là sử dụng ống nhựa vì độ bền cơ học và khả năng làm mát tương đối tốt hơn những. Bên cạnh đấy có thể sử dụng ống nhựa khi mà không quan tâm đến khả năng chịu lực.
Tốc độ dòng chảy	Vận tốc tuần hoàn nước trong hệ thống ống thoát nhiệt cần phải chú ý [1, 20]: - Vận tốc phải đủ lớn để có thể phân tán nhiệt đồng đều trong khối bê tông. - Tránh vận tốc quá cao để không gây xói mòn ống. Kết hợp với kết quả phân tích ở tài liệu [16]. Đưa ra khuyến cáo nên sử dụng vận tốc dòng chảy là 1 đến 3,6 m ³ /h. Vận tốc này phù hợp với 2 khuyến cáo đã đưa ra.
Nhiệt độ nước làm mát	Nước làm mát có thể lấy từ các nguồn nước tự nhiên như: Sông, hồ chứa. Nhiệt độ nước làm mát nên được lưu ý như sau: - Nhiệt độ nước làm mát không nên quá lạnh để tránh tình trạng gây nứt cục bộ ảnh hưởng đến quá trình thủy hóa. - Tránh tình trạng nước quá nóng khiến bê tông khó giảm nhiệt đúng mong muốn. Theo khuyến cáo nên lấy nhiệt độ nước từ 10 – 25°C là hợp lý để kiểm soát nhiệt độ lớn nhất tại tâm [16].

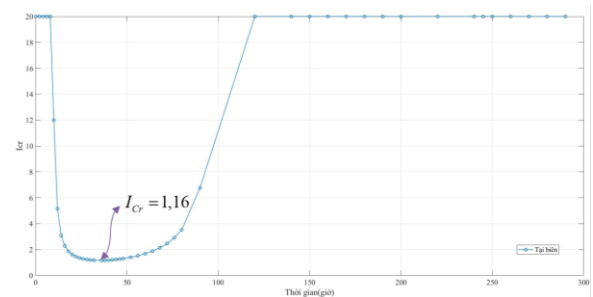


Hình 6. Phân bố nhiệt độ lớn nhất của kết cấu đầm chuyển.

Dựa vào (Hình 6) và (Hình 7) ta có thể thấy nhiệt độ khối bê tông liên tục tăng cao và đạt cực đại vào thời điểm khoảng 50 giờ sau khi đổ bê tông với nhiệt độ lớn nhất là 53,76 °C và tại vị trí biên là 41,7 °C vào thời điểm gần 30 giờ. Với nhiệt độ $T_{Max} = 53,76$ °C tại tâm thì khó xảy ra hiện tượng enttringite muộn. Bên cạnh đó, chênh lệch nhiệt độ lớn nhất giữa tâm và bề mặt khối bê tông đạt $\Delta T = 14,09$ °C có thể thấy giá trị này nằm trong ngưỡng khuyến cáo của tiêu chuẩn ACI Committee 207.R1-96 [1].



Hình 7. Phân bố nhiệt độ lớn nhất của kết cấu đầm chuyển.

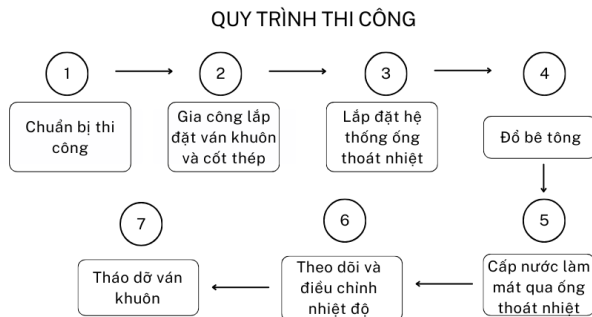


Hình 8. Chỉ số nứt của kết cấu đầm chuyển.

Đánh giá trên khía cạnh chỉ số nứt, biểu đồ (Hình 8) thể hiện chỉ số nứt tại biên khối bê tông đầm chuyển khi sử dụng hệ thống ống thoát nhiệt, có kết quả $I_{Cr} = 1,16 > 1,00$ nên khả năng bê tông không bị nứt theo lý thuyết. Qua đó, có thể thấy rằng việc sử dụng hệ thống ống thoát nhiệt là một biện pháp hiệu quả trong việc kiểm soát nứt do nhiệt trong khối bê tông.

2.4. Quy trình công nghệ thi công bê tông khối lớn dạng đầm chuyển sử dụng hệ thống ống thoát nhiệt

Dựa trên các nghiên cứu lý thuyết, cơ sở khoa học cũng như kết quả phân tích của Minh, L. V., Mạnh, L. Đ [16], quy trình công nghệ cơ bản thi công đầm chuyển bê tông khối lớn bằng phương pháp hệ thống ống thoát nhiệt đã được tổng hợp và trình bày ở (Hình 9). Trong khi đó, (Hình 10) thể hiện một công trình đã ứng dụng hệ thống ống thoát nhiệt nhằm kiểm soát sự chênh lệch nhiệt độ giữa tâm và bề mặt khối bê tông.



Hình 9. Chỉ dẫn kỹ thuật thi công kết cấu bê tông khối lớn sử dụng hệ thống ống thoát nhiệt.



Hình 10. Hình ảnh thi công một công trình sử dụng hệ thống thoát nhiệt [17].

Trong đó mỗi bước thi công ở sơ đồ (Hình 9) được thực hiện cụ thể sau:

- Bước 1: Chuẩn bị thi công:
 - + Thiết kế - Tính toán nhiệt độ tối đa trong khối bê tông và chênh lệch nhiệt độ giữa tâm và bề mặt để thiết kế hệ thống ống thoát nhiệt; Xác định sơ đồ bố trí hệ thống trong lòng khối bê tông.
 - + Chuẩn bị vật liệu thi công: Vật liệu ống (kim loại hay nhựa PVC); Hệ thống bơm nước làm mát; Cảm biến nhiệt độ; Vật liệu trộn bê tông khối lớn.
- Bước 2: Gia công lắp đặt ván khuôn và cốt thép: Lắp đặt ván khuôn cho khối đầm chuyển đảm bảo độ cứng; Bố trí cốt thép theo đúng thiết kế; Kiểm tra và nghiệm thu.
- Bước 3: Lắp đặt hệ thống ống thoát nhiệt: Lắp đặt theo đúng thiết kế (Bao nhiêu lớp ống; đúng chiều dài theo phương ngang, dọc của đầm chuyển, khoảng cách giữa các ống, đầu ống phải được nối với hệ thống bơm nước mát); Lắp đặt các thiết bị đo nhiệt độ trong khối bê tông; Lắp các dụng cụ bảo vệ thiết bị đo nhiệt độ; Kiểm tra và nghiệm thu.
- Bước 4: Đổ bê tông: Trước khi đổ tiến hành kiểm tra độ sụt, độ chảy; Đúc mẫu kiểm tra cường độ bê tông đã đúng như thiết kế chưa. Tiến hành đổ bê tông đầm chuyển; Dùng đầm dùi và đầm mặt để bê đặc chắc, không có lỗ rỗng. Tiến hành trải các lớp vật liệu che phủ bề mặt bê tông theo phương án bảo dưỡng.
- Bước 5: Tiến hành cấp nước làm mát cho khối bê tông đầm chuyển thông qua hệ thống ống thoát nhiệt: Sau khi đổ xong khối đổ khoảng 3 - 4 giờ, Tiến hành bơm nước làm mát vào hệ thống qua ống.
- Bước 6: Theo dõi và điều chỉnh nhiệt độ: Sử dụng cảm biến nhiệt độ để theo dõi nhiệt độ tại các vị trí khác nhau; Trường hợp nhiệt độ vượt mức cho phép cần phải điều chỉnh lưu lượng nước hoặc tăng thời gian làm mát.
- Bước 7: Tiến hành tháo dỡ ván khuôn: Tháo dỡ các ván khuôn và vật liệu che phủ khối bê tông đầm chuyển

2.5. Chỉ dẫn kỹ thuật từng bước của quy trình công nghệ thi công bê tông khối lớn dạng đầm chuyển sử dụng hệ thống ống thoát nhiệt

2.5.1. Chuẩn bị thi công

Chạy mô hình tính toán nhiệt độ lớn nhất và chênh lệch nhiệt độ tại tâm và bề mặt kết cấu. Từ đó lên phương án sơ đồ bố trí, lựa chọn các thông số của hệ thống ống thoát nhiệt.

Công tác chuẩn bị vật liệu thi công:

- Vật liệu xi măng: Trong thành phần của bê tông khối lớn, xi măng là nguyên nhân chính dẫn đến sự chênh lệch nhiệt độ giữa tâm và bề mặt gây ra hiện tượng nứt. Do đó, nên sử dụng xi măng ít tỏa nhiệt. Đây là loại xi măng có tốc độ phát nhiệt thấp trong quá trình thủy hóa, giúp giảm nguy cơ nứt do ứng suất nhiệt trong các công trình bê tông khối lớn. Thông thường sẽ có hàm lượng C_3A không vượt quá 7 % và hàm lượng C_3S không quá 35 %. Bên cạnh đấy, nhiệt phát ra trong quá trình thủy hóa xi măng có liên quan đến độ mịn của

hạt xi măng, vì vậy cũng nên tăng độ mịn của xi măng càng nhiều càng tốt mà không gây ảnh hưởng đến hoạt tính của nó [18].

- Phụ gia: Hiệu suất của bê tông khối lớn có thể được cải thiện bằng cách sử dụng các loại phụ gia khác nhau, bao gồm phụ gia giảm nước, phụ gia chậm ninh kết và phụ gia trương nở. Phương pháp này giúp giảm hiệu quả tỷ lệ xuất hiện vết nứt trong các kết cấu bê tông có khối lượng lớn và giảm độ tổn thất độ sụt theo thời gian. Phụ gia bê tông khối lớn thường bao gồm chất trương nở vi mô, chất kéo dài thời gian đông kết hiệu quả cao và phụ gia giảm nước. Những phụ gia này giúp tăng thời gian đông kết, giảm nhiệt độ cao nhất trong quá trình thủy hóa xi măng, giảm ứng suất kéo nhiệt, cải thiện khả năng chống nước và giảm lực giãn nở trong bê tông. Có thể lựa chọn vật liệu puzolan và tro bay để thay thế cho một phần xi măng.

- Lựa chọn vật liệu ống: Ở tài liệu nghiên cứu của Minh, L. V., Mạnh, L. Đ [16] cũng đã phân tích ảnh hưởng các thông số của hệ thống làm lạnh (Đường kính ống, chất liệu ống; Nhiệt độ làm mát; vận tốc nước) đến việc kiểm soát nhiệt của kết cấu bê tông khối lớn dạng đầm chuyển. Do đó khuyến cáo lựa chọn các thông số như (Bảng 5).

2.5.2. Gia công lắp đặt ván khuôn và cốt thép

Ván khuôn cho bê tông khối lớn cần phải đảm bảo độ chính xác hình học, vị trí, độ kín để không bị mất nước xi măng. Đối với kết cấu bê tông được bảo dưỡng bằng việc tưới nước để thoát nhiệt nhanh nên lựa chọn ván khuôn thép, ván khuôn gỗ, hợp kim. Các loại ván khuôn này đều thích hợp cho việc giữ nhiệt thủy hóa trong quá trình bảo dưỡng. Sử dụng thanh giằng, đà chống, cột chống theo yêu cầu kỹ thuật để tránh ván khuôn bị cong vênh trong thời gian đổ và bảo dưỡng [21]. Thi công cốt thép theo đúng bản vẽ thiết kế, nghiệm thu đầy đủ vật liệu, vận chuyển và lắp cốt thép theo đúng quy định. Kiểm tra và nghiệm thu lắp ván khuôn và cốt thép [21].

2.5.3. Lắp đặt hệ thống ống thoát nhiệt

Việc bố trí số lớp ống cũng như khoảng cách phương ngang, dọc giữa các ống sẽ ảnh hưởng đến hiệu quả của hệ thống. Theo khuyến cáo ở CIRIA C660 [20], khoảng cách ngang giữa các ống có thể lựa chọn 1m với bê tông sử dụng xi măng tỏa nhiệt thấp, trong khi khoảng cách 0,5 m được khuyến nghị với bê tông tỏa nhiệt cao. Bên cạnh đây chiều dài của ống có thể đạt từ 180 đến 350 m mà không làm mất hiệu quả làm mát dọc theo chiều dài ống. Việc bố trí dàn ống có thể thiết kế lắp đặt như (Hình 11) để có kiểm soát tốt nhiệt độ lớn nhất tại tâm cũng như chênh lệch nhiệt độ tại lõi và bề mặt khối bê tông.

- Gia công và chuẩn bị lắp đặt ống: Tiến hành nghiệm thu và kiểm tra vật liệu ống để bắt đầu tiến hành lắp đặt ống. Đối với ống thép cần kiểm tra các mối hàn, sơn chống gỉ nhằm đảm bảo ống và mối hàn đạt yêu cầu. Ống nhựa cần tiến hành kiểm tra độ dày, chất lượng mối nối. Quá trình này nhằm xác định các ống có bị lỗi, nếu phát hiện bị lỗi tiến hành sửa chữa và thay thế ống kịp thời trước khi

đổ bê tông; Chuẩn bị hệ thống nối: van xả nước, van kiểm tra áp lực; kiểm tra độ kín và xem ống có rò rỉ khi bơm nước vào không; Đánh dấu vị trí đặt ống như trong bản vẽ thiết kế. Sử dụng các loại dây để buộc ống vào thanh thép để tránh xô dịch trước khi đổ bê tông. Cần tiến hành kiểm tra xem hệ thống có bị rò rỉ hay không.

- Đối với đầm chuyển thì thường mỗi vị trí đo nhiệt sẽ có 3 điểm đo nhiệt: Điểm cách mặt trên bê tông 300 mm, điểm giữa tâm khối bê tông, điểm cách mặt đáy bê tông 300 mm.



Hình 11. Hình ảnh bố trí và lắp đặt ống thoát nhiệt tại công trường [22].

- Vận chuyển vữa bê tông bằng các phương tiện xe cơ giới khác nhau. Cần phải lưu ý che chắn bê tông để không bị nung nóng bởi bức xạ mặt trời.

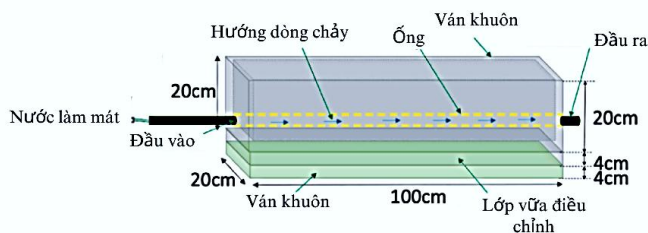
2.5.4. Tiến hành đổ bê tông khối lớn

Tiến hành đổ bê tông theo phương án đã được phê duyệt. Trong quá trình đổ bê tông, cần chú ý tránh va đầm dùi quá mạnh, không đầm quá sát ống làm mát để tránh cho ống bị biến dạng hoặc hư hỏng. Đầm bê tông xung quanh để tránh khối bê tông bị rỗ; Đồng thời, cần lắp đặt các cảm biến nhiệt tại các vị trí được thiết kế để theo dõi diễn biến nhiệt độ. Lưu ý: Tiến hành đo nhiệt độ của bê tông tươi bằng nhiệt kế và thí nghiệm độ sụt trước khi đổ bê tông. Nhiệt độ bê tông trước khi đổ không nên vượt quá 30 °C độ sụt đạt độ sụt cho phép; Đổ bê tông tươi đến độ cao 0,8 m của khối bê tông đầm chuyển, sẽ dừng lại khoảng một giờ. Khoảng thời gian này rất cần thiết để người giám sát có thể xác định ván khuôn vẫn còn trong tình trạng tuyệt vời. Sau đó tiến hành đổ bình thường cho đến độ cao thiết kế của đầm chuyển.

- Che phủ bề mặt bê tông theo phương án bảo dưỡng: Sau khi hỗn hợp bê tông đã được đổ lên cao độ thiết kế, tiến hành phủ vật liệu cách nhiệt lên bề mặt bê tông. Đầu tiên, tiến hành trải một lớp vải nhựa dày hoặc nylon polyethylene để ngăn nước trong bê tông tiếp xúc trực tiếp với vật liệu cách nhiệt sau đó xếp các tấm xốp polystyrene có khối lượng 20 kg/m³. Cuối cùng, trải một lớp vải nhựa dày tiếp lần nữa.

2.5.5. Cấp nước làm mát qua ống thoát nhiệt

Sau khi đổ bê tông xong khoảng 3-4 giờ, tiến hành bơm nước làm mát qua hệ thống như (Hình 12). Đầu tiên mở van cấp nước - Khởi động máy và điều chỉnh hiệu suất để đạt lượng nước yêu cầu. Việc bơm tuần hoàn nước có thể thực hiện đồng với hoạt động đổ bê tông, nhưng thông thường không nên làm như vậy nhằm tránh gây hư hỏng cho bê tông. Do quá trình tạo nhiệt của bê tông khá thấp trước khi đông cứng. Ngoài ra, áp suất bên trong ống cần được theo dõi để đảm bảo lưu lượng nước mong muốn trong quá trình vận hành. Nguồn nước cũng cần phải sạch sẽ để tránh tình trạng gây tắc nghẽn. Kiểm tra hiệu suất và nước thường xuyên để duy trì hoạt động ổn định. Trong quá trình bơm nước lưu lượng nước không cố định theo thời gian mà phải thay đổi dựa trên chênh lệch nhiệt độ tối đa của tâm và bề mặt khối bê tông.



Hình 12. Hình ảnh mô phỏng quá trình bơm nước tuần hoàn vào dàn ống thoát nhiệt.

2.5.6. Theo dõi nhiệt độ khối bê tông và điều chỉnh nhiệt độ nước làm lạnh

Nhiệt thủy hóa trong bê tông khối là một quá trình phức tạp, chịu ảnh hưởng từ nhiều yếu tố như nhiệt độ môi trường, điều kiện thi công và sự thay đổi của nguyên vật liệu. Để nắm bắt chính xác sự biến động nhiệt độ và điều chỉnh biện pháp kiểm soát kịp thời, cần tiến hành giám sát liên tục trong suốt quá trình thi công và bảo dưỡng. Hoạt động giám sát này không chỉ giúp kiểm tra chất lượng thi công và hiệu quả kiểm soát nhiệt độ, mà còn cung cấp dữ liệu cần thiết để điều chỉnh nhiệt độ nước làm lạnh một cách phù hợp.

- Trong quá trình bơm nước phải giám sát sự gia tăng hoặc giảm nhiệt độ bên trong khối đổ, chênh lệch nhiệt độ giữa lõi và bề mặt, tốc độ làm mát và nhiệt độ môi trường. Hệ thống giám sát nhiệt độ bê tông bao gồm cảm biến nhiệt độ, hệ thống thu thập dữ liệu và hệ thống truyền dữ liệu. Hệ thống có khả năng hiển thị, lưu trữ, xử lý thông tin nhiệt độ, cũng như vẽ biểu đồ biến thiên nhiệt độ theo thời gian thực. Trước khi lắp đặt, cảm biến phải được kiểm tra bằng cách ngâm 1 m dưới nước trong 24 giờ cùng với dây truyền nhằm đảm bảo không xảy ra hư hại.

- Sau khi kết thúc quá trình thoát nhiệt, hệ dàn được bơm rửa sạch, đưa hết nước ra khỏi dàn ống và bơm ép vữa xi măng cát để lấp đầy.

2.5.7. Tiến hành tháo dỡ ván khuôn

Sau khi bê tông khối lớn dạng đầm chuyên đạt cường độ và tuổi theo yêu cầu, tiến hành tháo dỡ ván khuôn cùng các vật liệu che phủ [21]. Với những khối có nhiệt độ thấp, có thể dỡ vật liệu cách nhiệt nhưng tạm thời chưa cần di chuyển đi nơi khác. Trường hợp dùng vật liệu rời, trước hết tháo lớp nylon phủ trên rồi dỡ dần phần vật liệu rời; sang ngày hôm sau, khi bê tông đã hạ nhiệt (khoảng 7 ngày tuổi), mới tháo lớp nylon phía trong. Cách làm này tránh hiện tượng “bẫy nhiệt”, đảm bảo quá trình hạ nhiệt cho bê tông. Đồng thời, nên kiểm tra nhiệt độ thực tế để quyết định có cần kéo dài thời gian giữ vật liệu cách nhiệt hay không. Sau khi bê tông đã đủ tuổi và đạt cường độ cần thiết, tiến hành tháo cốp pha thành. Việc tháo dỡ phải tuân theo quy trình an toàn, hạn chế tối đa rủi ro khi di chuyển và đảm bảo bê tông đã đủ thời gian đóng rắn.

3. Kết luận

Công nghệ thi công bằng phương pháp sử dụng hệ thống ống thoát nhiệt là một biện pháp hiệu quả trong việc kiểm soát nhiệt độ trong bê tông khối lớn, đảm bảo khối bê tông không bị nứt do nhiệt trong quá trình đóng rắn. Thông qua việc chuẩn bị vật liệu, thiết bị; Thiết kế bố trí ống và việc giám sát nhiệt độ liên tục. Do đó, phương pháp này đảm bảo giảm thiểu tối đa chênh lệch nhiệt độ ΔT giữa lõi và bề mặt khối bê tông trong giai đoạn đóng rắn.

Tính hiệu quả này cũng đã được chứng minh qua mô phỏng phân tích nhiệt trên kết cấu đầm chuyên với kích thước chiều dài 7m, chiều rộng 3m, chiều cao 3 m. Kết quả phân tích cho thấy, khi sử dụng hệ thống ống thoát nhiệt thì nhiệt độ lớn nhất tại tâm khối bê tông đạt $T_{\text{Max}} = 53,76^\circ\text{C}$ thỏa mãn với khuyến cáo nhiệt độ $T_{\text{Max}} < 70^\circ\text{C}$. Đồng thời, chênh lệch nhiệt độ giữa tâm và bề mặt $\Delta T = 14,09^\circ\text{C}$ cũng đã thỏa mãn khuyến cáo $\Delta T < 20^\circ\text{C}$. Những kết quả này cũng khẳng định rằng hệ thống ống thoát nhiệt không chỉ giúp kiểm soát nhiệt độ hiệu quả mà còn góp phần đảm bảo chất lượng khối bê tông.

Bên cạnh đó, việc sử dụng phương pháp ống thoát nhiệt còn hiệu quả trong việc tránh rủi ro về việc phải khắc phục các vết nứt sau này. Công tác bảo dưỡng cũng trở nên hiệu quả hơn, khi hệ thống cho phép chủ động điều chỉnh lưu lượng nước làm mát và giám sát diễn biến nhiệt độ theo thời gian thực.

Kết quả nghiên cứu có thể làm tài liệu tham khảo hữu ích cho các nhà nghiên cứu và các kỹ sư khi lựa chọn phương pháp sử dụng hệ thống ống thoát nhiệt khi thi công bê tông khối lớn.

4. Tài liệu tham khảo

- [1]. ACI Committee 207.R1-96 (2005). *Mass concrete*. American Concrete Institute.
- [2]. Collepardi, M. (2003). A state-of-the-art review on delayed ettringite attack on concrete. *Cement and concrete Composites*, 25(4-5).
- [3]. ACI Committee 301-10 (2010). *Specifications for structural concrete*. American Concrete Institute.

- [4]. Sargam, Y., Faytarouni, M., Riding, K., Wang, K., Jahren, C., Shen, J (2019). Predicting thermal performance of a mass concrete foundation–A field monitoring case study. *Case Studies in Construction Materials*.
- [5]. Staquet, S., Delsaute, B., Fairbairn, E. M., Torrent, R., Knoppik, A., Ukrainczyk, N., Koenders, E. A. (2019). Mixture proportioning for crack avoidance. *Thermal Cracking of Massive Concrete Structures: State of the Art Report of the RILEM Technical Committee 254-CMS*: 115-151.
- [6]. Zuo, Z., Hu, Y., Li, Q., Zhang, L (2014). Data Mining of the Thermal Performance of Cool-Pipes in Massive Concrete via In Situ Monitoring. *Mathematical Problems in Engineering*.
- [7]. Glover, R. E. (1949). Cooling of concrete dams. Final reports for boulder canyon project. *United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver*.
- [8]. Semenov, A. N. (2000). 67th Executive meeting of the International Commission on Large Dams (ICOLD). *Hydrotechnical Construction*, 34(2): 85-96.
- [9]. Azenha, M., Sfikas, I. P., Wyrzykowski, M., Kuperman, S., Knoppik, A (2019). Temperature control. *Thermal Cracking of Massive Concrete Structures: State of the Art Report of the RILEM Technical Committee 254-CMS*: 153-179.
- [10]. Midas Information Technology. (2004). *Heat of hydration - Analysis analysis manual version 7.0.1*.
- [11]. Bofang, Z. (2014). *Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-06038-3>.
- [12]. Incropera, F.P., DeWitt, D.P. (2002). *Fundamentals of heat and mass transfer*. New York: John Wiley & Sons.
- [13]. Japan Concrete Institute (2016). *Guidelines for Control of Cracking of Mass Concrete*. Japan.
- [14]. Lee, Y., Kim, J. K. (2009). Numerical analysis of the early age behavior of concrete structures with a hydration based micro plane model. *Computers & Structures*: 87.
- [15]. Midas Information Technology (2004). *Heat of hydration - Analysis analysis manual version 7.0.1*.
- [16]. Minh, L. V., Mạnh, L. Đ. (2024). Phân tích sự ảnh hưởng của các thông số ống thoát nhiệt đến trường nhiệt độ và trường chi số nứt của kết cấu bê tông khối lớn trong giai đoạn nhiệt thủy hóa. *Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng (TCKHCN XD) - ĐHXDHN*, 18(4V): 160-175.
- [17]. Cho, Y. K., Gentry, R., Kurtis, K., Brown, J., Park, J., Hasani, L. A. (2022). hase II–Investigation and guidelines for best practices of mass concrete construction management. *Georgia. Department of Transportation. Office of Performance-Based Management & Research*.
- [18]. Wang, M. (2010). *Research on prevention and remedy measures of cracks in mass concrete construction*. Changan University.
- [19]. Zhu, B. (1990). Effect of cooling by water flowing in nonmetal pipes embedded in mass concrete. *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(1): 61-68.
- [20]. Bamforth, P. B. (2007). *Early-age thermal crack control in concrete*. (Vol. 660). CIRIA (Construction Industry Research and Information Association), London, 2007, ISBN 978-0-86017-660-2.
- [21]. TCVN 9385:2012 (2012). *Kết cấu bê tông khối lớn - Thi công và nghiệm thu*. Bộ Khoa học và Công nghệ, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội.
- [22]. Wang, C., Chen, Y., Zhou, M., Chen, F. (2022). Control of early-age cracking in super-long mass concrete structures. *Sustainability*, 14(7).