

So sánh kết quả tính toán nhiệt thủy hóa trong bê tông khối lớn bằng Midas civil và Ansys

Comparison of calculation results of heat of hydration in mass concrete using Midas Civil and Ansys

> **LÊ VĂN MINH, VŨ CHÍ CÔNG***

Khoa Xây dựng DD&CN, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

*Email: congvc@huce.edu.vn

TÓM TẮT

Hiện nay, lĩnh vực xây dựng đã và đang ngày càng phát triển, các thiết kế kiến trúc đa dạng và phong phú đáp ứng nhiều công năng như: Nhà ở chung cư, thương mại, dịch vụ, văn phòng làm việc,... Kết cấu chịu lực của các loại hình công trình này phần lớn có kích thước rất lớn, hầu hết các cấu kiện này đều gặp các vấn đề về kiểm soát nứt do nhiệt trong quá trình phản ứng nhiệt thủy hóa bê tông. Để ngăn ngừa sự hình thành vết nứt nhiệt ở cấu kiện bê tông khối lớn trong quá trình xây dựng, cần phải có phương pháp tính toán phù hợp đồng thời cũng phải có giải pháp kiểm soát được nhiệt độ tối đa và chênh lệch nhiệt độ tối đa trong khối bê tông. Bài báo trình bày và so sánh hai phương pháp tính toán nhiệt thủy hóa bê tông dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn: Sử dụng phần mềm Midas Civil và Ansys, phân tích mô phỏng số cho cấu kiện dạng dầm chuyển bê tông cốt thép được sử dụng trong các tòa nhà cao tầng theo các phương pháp thi công khác nhau.

Từ khóa: Nứt do nhiệt; nhiệt thủy hóa; bê tông khối lớn; dầm chuyển; phần tử hữu hạn; Midas civil; Ansys.

ABSTRACT

Currently, the construction field has been increasingly developing, with diverse and various architectural designs meeting many functions such as: apartments, commerce, services, offices, etc. The load-bearing structures of these types of constructions are mostly very large in size, most of these structures have problems controlling thermal cracking during the thermal reaction of concrete hydration. To prevent the formation of thermal cracks in mass concrete structures during construction, it is necessary to have a suitable calculation method and also have a solution to control the maximum temperature and maximum temperature difference in concrete block. This article presents and compares two methods of calculating the heat of concrete hydration based on the finite element method: Using Midas Civil and Ansys software, numerical simulation analysis for concrete transfer beam structures used in high-rise buildings according to different construction methods.

Keywords: Thermal cracking; heat of hydration; mass concrete; transfer beam; finite element; Midas civil; Ansys.

1. GIỚI THIỆU

Dầm chuyển bê tông cốt thép là một loại dầm thường có độ cứng và tiết diện hình học tương đối lớn, dầm chuyển còn là một giải pháp kết cấu được sử dụng trong xây dựng các công trình cao tầng. Đặc biệt, khi thiết kế các tòa nhà có nhiều tầng, giúp tối ưu hóa không gian và cung cấp tính linh hoạt cho việc phân chia căn hộ[1].

Quá trình bê tông đóng rắn có liên quan đến giai đoạn nhiệt thủy hóa xi măng. Khi mà ở giai đoạn đầu nhiệt độ ở tâm rất khó tỏa nhiệt ra bên ngoài. Do bê tông là vật liệu có hệ số dẫn nhiệt kém nên quá trình giải phóng nhiệt ra bên ngoài của khối bê tông khá chậm và có thể kéo dài tận hàng tháng. Dẫn tới sự chênh lệch nhiệt độ vượt quá giá trị cho phép dẫn tới xuất hiện ứng suất kéo và vết nứt ở trong bê tông. Bên cạnh đó, khi nhiệt độ cao sẽ làm chậm quá trình hình thành ettringite, có thể làm cho bê tông giãn nở và nứt, từ đó làm giảm cường độ và độ bền của nó [2, 3]. Việc nghiên cứu các biện pháp làm mát bê tông rất cần thiết để có thể giảm chênh

lệch nhiệt độ giữa tâm và biên của cấu kiện bê tông khối lớn để giúp cho bê tông khó xảy ra nứt [4]. Công nghệ thi công bê tông khối lớn bằng cách đổ bê tông liên tục và sử dụng hai lớp bê tông với cấp phối tỏa nhiệt khác nhau cho đến thời điểm hiện tại thì ít được sử dụng. Đây là một công nghệ thi công mới, chưa được nghiên cứu, áp dụng và việc tính toán, thiết kế biện pháp công nghệ - tổ chức thi công còn nhiều hạn chế. Cần phải có những nghiên cứu về phương pháp tính toán và số liệu thực tế để đảm bảo bê tông không bị nứt trong quá trình đóng rắn [5].

Mục tiêu nghiên cứu của bài viết này là nghiên cứu và so sánh kết quả toán nhiệt thủy hóa trong bê tông theo hai công cụ, đó là: Sử dụng phần mềm Midas Civil và mô hình tính toán của Ansys. Phân tích mô phỏng áp dụng cho kết cấu dầm chuyển bê tông cốt thép được sử dụng trong nhà cao tầng đối với các biện pháp thi công khác nhau: Không sử dụng ống thoát nhiệt; khi lắp ống thoát nhiệt và thi công theo phương pháp đổ liên tục với hai cấp phối tỏa nhiệt khác nhau.

2. MÔ HÌNH VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguồn nhiệt

Bê tông là vật liệu có tính dẫn nhiệt thấp, nên lượng nhiệt thủy hóa của xi măng sẽ không kịp thoát ra ngoài và tích tụ trong lòng khối bê tông. Sự sinh nhiệt bên trong có thể được tính bằng độ tăng nhiệt đoạn nhiệt Công thức (1) vì nhiệt độ gần tâm của bê tông khối lớn gần như bằng nhiệt độ đoạn nhiệt. Độ lớn của sự gia tăng nhiệt độ đoạn nhiệt và hình dạng của đường cong có thể thay đổi đáng kể tùy thuộc vào hỗn hợp bê tông cụ thể [6, 7].

$$T(t) = K(1 - e^{-\alpha t}) \quad (1)$$

Trong đó: T là lượng tăng nhiệt độ đoạn nhiệt tại một thời điểm, ($^{\circ}\text{C}$); α : Là hệ số tăng nhiệt độ (tốc độ phản ứng); K : là mức tăng nhiệt độ đoạn nhiệt cuối cùng đạt được bằng thử nghiệm, ($^{\circ}\text{C}$); t : là thời gian, (ngày);

Tổng nhiệt lượng tỏa ra trên một đơn vị thể tích có thể nhận được theo phương trình [6]:

$$Q(t) = C\rho T(t) = KC\rho(1 - e^{-\alpha t}) \quad (2)$$

Bằng cách đạo hàm công thức (2) theo thời gian, nhiệt sinh ra trên một đơn vị thể tích và đơn vị thời gian có thể được tính như sau:

$$q_h(t) = \frac{\partial Q(t)}{\partial t} = KC\rho\alpha e^{-\alpha t} \quad (3)$$

2.2. Phương trình lý thuyết truyền nhiệt trong bê tông:

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 (4) [10]:

$$k_c \nabla^2 T_c + Q_h = \rho_c c_c \frac{\partial T_c}{\partial t} \quad (4)$$

Trong đó: T_c là nhiệt độ của bê tông ở tuổi t ngày, $^{\circ}\text{C}$; k_c : là hệ số dẫn nhiệt của bê tông ($\text{kcal/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$); Q_h : là nhiệt lượng tỏa ra do thủy hóa xi măng, $\text{kcal/h} \cdot \text{m}^3$; c_c : là nhiệt dung riêng của bê tông, $\text{kcal/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$; ρ_c : là khối lượng riêng của bê tông, kg/m^3 ; t là thời gian, ngày.

Trong bài toán truyền nhiệt dầm chuyển thì điều kiện biên được chia làm các trường hợp như sau [8]:

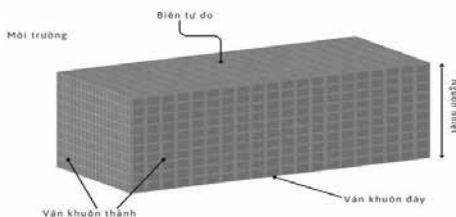
Biên truyền nhiệt (Tại mặt thoát của khối bê tông dầm chuyển):

$$k_x \frac{\partial T}{\partial x} l + k_y \frac{\partial T}{\partial y} m + k_z \frac{\partial T}{\partial z} n + q = 0 \quad (5)$$

Biên đối lưu (tại mặt tiếp xúc với ván khuôn của dầm chuyển):

$$k_x \frac{\partial T}{\partial x} l + k_y \frac{\partial T}{\partial y} m + k_z \frac{\partial T}{\partial z} n + h(T - T_{\infty}) = 0 \quad (6)$$

Trong đó: h : Là hệ số đối lưu ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$); T_{∞} : Là nhiệt độ bão hòa (môi trường xung quanh) $^{\circ}\text{C}$; l, m, n là cosin chỉ hướng của các mặt truyền nhiệt đang xét; q : Lưu lượng dòng nhiệt (W/m^2).



Hình 1. Các biên truyền nhiệt trong kết cấu bê tông dầm chuyển khối lớn

2.3. Quá trình truyền nhiệt trong bê tông khi có ống làm lạnh

Do nhiệt độ ở trong tâm bê tông thường sẽ lớn hơn so với bề mặt xung quanh. Vậy nên việc đưa ống làm lạnh vào vùng tâm khối bê tông là rất cần thiết để có thể đưa nhiệt thoát ra ngoài và sẽ làm giảm nhiệt độ ΔT giữa lớp bê tông trong và ngoài. Khi nước lạnh chảy qua dàn ống thì sẽ xảy ra quá trình trao đổi nhiệt và đưa nhiệt trong lòng khối ra làm giảm nhiệt độ ở khối tâm [9]

Dựa vào cơ chế truyền nhiệt của bê tông khối lớn khi có ống làm lạnh ở tâm thì ta giải hai phương trình vi phân Fourier theo nguyên lý cân bằng năng lượng trong quá trình truyền nhiệt của ống làm lạnh. Phương trình có xét đến sự trao đổi nhiệt giữa dàn ống làm lạnh và bê tông và được thể hiện như phương trình (7) [10]:

$$\rho_w c_w \left(\frac{\partial T_w}{\partial t} + \vec{u} \nabla T_w \right) = k_w \nabla^2 T_w \quad (7)$$

Trong đó: T_w : là nhiệt độ của nước, $^{\circ}\text{C}$; k_w : là hệ số dẫn nhiệt của nước ($\text{kcal/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$); c_w : Là nhiệt dung riêng của nước ($\text{kcal/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$);

ρ_w : là khối lượng riêng của nước (kg/m^3)

Các phương trình Fourier (7) sử dụng các điều kiện biên ban đầu và đường cong đoạn nhiệt trong quá trình thủy hóa xi măng như phương trình số (4).

Theo [7] quá trình trao đổi nhiệt giữa dàn ống và bê tông sẽ giảm theo nhiệt thủy hóa bê tông và tăng theo nhiệt độ dòng chảy. Sự đối lưu giữa dòng chảy và bề mặt ống chính là quá trình trao đổi nhiệt. Giá trị nhiệt đối lưu được xác định bởi công thức sau:

$$q_{conv} = h_p \cdot A_s (T_s - T_m) = h_p \cdot A_s \left(\frac{T_{S,i} + T_{S,o}}{2} - \frac{T_{m,i} + T_{m,o}}{2} \right) \quad (8)$$

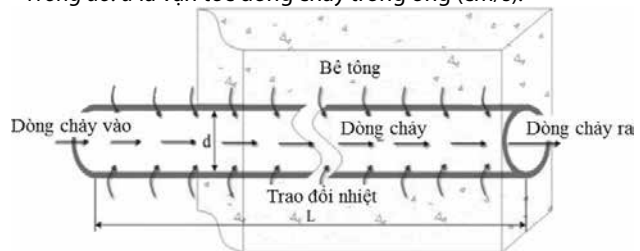
Trong đó: h_p : là hệ số đối lưu của dòng chảy trong ống ($\text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$);

q_{conv} : Nhiệt đối lưu; A_s : Diện tích bề mặt ống m^2 ; T_s, T_m : là nhiệt bề mặt và chất lỏng trong ống (i là đầu vào, o là đầu ra).

Hệ số đối lưu của dòng chảy trong ống khi vận tốc của dòng chảy nằm trong khoảng 20-60 cm/s:

$$h_p = 4,75u + 43 \quad (9)$$

Trong đó: u là vận tốc dòng chảy trong ống (cm/s).



Hình 2. Hình vẽ mô phỏng thể hiện cơ chế truyền nhiệt trong khối bê tông [14]

2.4. Chương trình phần tử hữu hạn Ansys

Trong bài báo này, chương trình phần tử hữu hạn Ansys [11] được áp dụng để phân tích nhiệt độ trong cấu kiện dầm chuyển bê tông cốt thép khối lớn. Các thông số đầu vào cho phân tích nhiệt chủ yếu là hệ số đối lưu, nhiệt độ môi trường, tốc độ sinh nhiệt bên trong của bê tông, đặc tính vật liệu và điều kiện biên nhiệt. Sự phân bố nhiệt độ trong bê tông khối lớn thường là một quá trình nhiệt nhất thời vì nhiệt độ của bê tông khối lớn thay đổi theo thời gian. Phương trình vi phân truyền nhiệt (4) có thể được giải quyết cho sự phân bố nhiệt độ bên trong mặt cắt ngang của bê tông. Các điều kiện biên được sử dụng để phân tích nhiệt là bề mặt đáy và tất cả các bề mặt bên (biên đối lưu). Phương trình (4) có thể được biểu diễn dưới dạng ma trận:

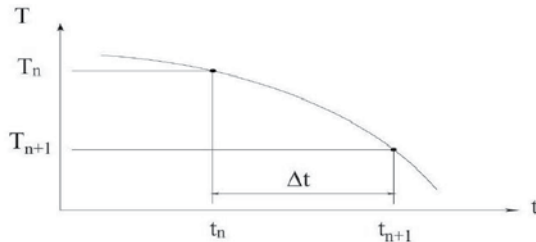
$$[C]\{\dot{T}\} + [\bar{K}]\{T\} = \{Q\} \quad (10)$$

Trong đó: $[C]$: là ma trận nhiệt dung riêng, hoặc ma trận tỷ nhiệt; $[\bar{K}]$: là ma trận hệ số truyền nhiệt (dẫn nhiệt, đối lưu); $\{Q\}$: là tổng vector thông lượng nhiệt cho quá trình thủy hóa bên trong và đối lưu nhiệt; $\{T\}$: là vector nhiệt độ nút; $\{\dot{T}\}$: là vector đạo hàm theo thời gian của nhiệt độ nút $\{T\}$.

Mối quan hệ giữa nhiệt độ tại một thời điểm nhất định và tại thời điểm tiếp theo được áp dụng ở Hình 3 như một sơ đồ tích phân theo bước thời gian cho phương trình truyền nhiệt, thể hiện trong công thức (11) [12]:

$$\{T_{n+1}\} = \{T_n\} + (1 - \Theta)\Delta t \{\dot{T}_n\} + \Theta\Delta t \{\dot{T}_{n+1}\} \quad (11)$$

Trong đó: $\{T_n\}$: là nhiệt độ tại thời điểm đã cho; $\{T_{n+1}\}$: là nhiệt độ tại thời điểm kế tiếp; Δt : là khoảng thời gian; Θ : là hệ số trong phương pháp "lược đồ- θ ".



Hình 3. Quy tắc hình thang tổng quát với miền thời gian

Phương trình có được bằng cách giải phương trình (10) và phương trình (11) trong miền thời gian bằng số.

$$\begin{aligned} \left\{ \frac{1}{\Delta t} [C] + \Theta [\bar{K}] \right\} \{T_{n+1}\} = \\ = \frac{1}{\Delta t} [C] \{T_n\} - (1 - \Theta) [\bar{K}] \{T_n\} + (1 - \Theta) \{Q_n\} + \Theta \{Q_{n+1}\} \end{aligned} \quad (12)$$

Trong đó: Θ bằng 1/2 trong phương pháp Crank - Nicolson. Khi đó, phương trình (12) có thể có dạng tổng quát như sau:

$$[A_G] \{\Delta T\} = \{Q_G\} \quad (13)$$

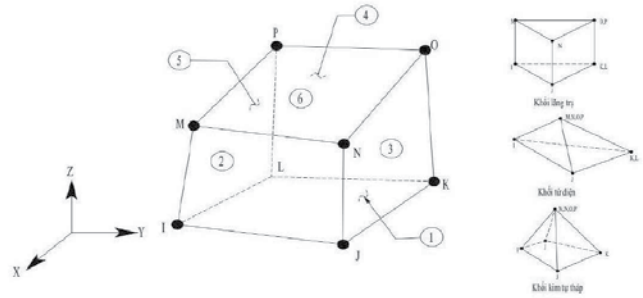
Trong đó:

$$[A_G] = \frac{1}{\Delta t} [C] + \frac{1}{2} [\bar{K}]; \{Q_G\} = \frac{1}{2} (\{Q_n\} + \{Q_{n+1}\}) - 2 [\bar{K}] \{T_n\}; \{\Delta T\}$$

biểu diễn sự thay đổi nhiệt độ tại điểm nút theo bước thời gian Δt , được sử dụng để tính nhiệt độ ở giai đoạn thời gian tiếp theo bằng công thức (14):

$$\{T_{n+1}\} = \{T_n\} + \frac{1}{2} \{\Delta T\} \quad (14)$$

Giá trị của $[C]$ và $[\bar{K}]$ trong phương trình trên cũng không đổi đối với mỗi phần tử vì độ dẫn nhiệt, khối lượng riêng và nhiệt dung riêng là những hằng số. Điều này có nghĩa là ma trận $[A_G]$ cho mỗi phần tử có giá trị không đổi cho mỗi khoảng thời gian. Do đó, sự thay đổi nhiệt độ nút chỉ dựa trên giá trị của vector thông lượng nhiệt $\{Q_G\}$. Nói cách khác, sự thay đổi nhiệt độ như một hàm số của thời gian được tính toán cho các giá trị thay đổi của tốc độ thủy hóa bê tông và nhiệt độ môi trường xung quanh. Như đã trình bày ở trên, các đại lượng nhiệt được truyền bởi các phần tử có tính chất nhiệt, các phần tử này bao gồm các nút. Phần tử này là phần tử rắn ba chiều, đẳng hướng và tám nút, với một bậc nhiệt độ tự do duy nhất tại mỗi nút. Một phần tử như vậy được gọi là Plane 70 -3D Thermal Solid trong Ansys [11]



Hình 4. Phần tử hữu hạn SOLID 70

2.5. Chương trình phần tử hữu hạn Midas Civil

Tính năng nổi bật của Midas civil so với các chương trình khác:

- Khả năng mô hình hóa: phần mềm hỗ trợ nhiều mô hình kết cấu, cung cấp nhiều loại mặt cắt khác nhau. Khả năng mô tả được vật liệu đẳng hướng, trục hướng, dị hướng, hay vật liệu phi tuyến.
- Về tải trọng, chương trình phần mềm hỗ trợ rất đầy đủ và đa dạng về thể loại như: tĩnh tải với các loại lực, nhiệt độ, gối lún, dự ứng lực. Hoạt tải với nhiều loại xe tiêu chuẩn kỹ thuật, xe do người dùng định nghĩa. Tải trọng động với các phương pháp tính toán tiên tiến.

- Phần mềm có nhiều công cụ trực quan hỗ trợ việc mô hình hóa một cách trực tiếp.

- Ngoài ra, người sử dụng có thể mô hình kết cấu hoặc mặt cắt thông qua việc nhập dữ liệu từ phần mềm Autocad.

- Giao diện và tốc độ tính toán: phần mềm hoạt động trong môi trường Windows, giao diện thân thiện, khả năng tính toán mạnh. Tốc độ tính toán của chương trình phụ thuộc vào khối lượng tính toán nhưng so với một số phần mềm tính toán kết cấu khác thì tốc độ tính toán nhanh hơn. Kết quả tính toán của chương trình là đầy đủ và đáng tin cậy.

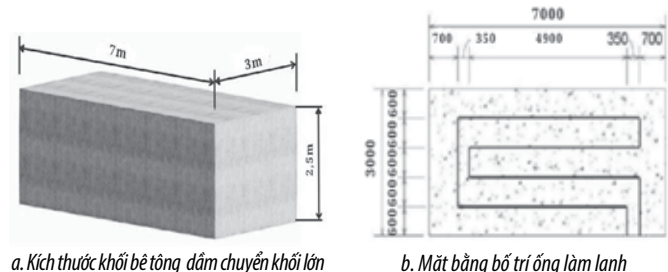
- Khả năng nhập và xuất dữ liệu có thể được khai báo trực tiếp hoặc nhập từ các files của các chương trình phần mềm khác. Kết quả tính có thể xuất ra màn hình đồ họa, văn bản hay máy in, hơn nữa có thể xuất kết quả dạng tập tin cho các chương trình thiết kế sau tính toán.

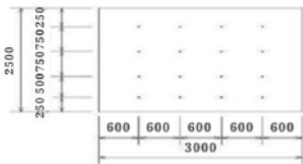
Phần mềm Midas Civil giúp các kỹ sư xây dựng có thể tính toán được diễn biến nhiệt bên trong khối bê tông theo các giai đoạn thi công.

3. THÔNG SỐ ĐẦU VÀO CỦA CẤU KIẾN DẦM CHUYỂN

Ví dụ tính toán nhiệt độ phát sinh trong một dầm chuyển bê tông khối lớn thi công trong điều kiện Việt Nam, có các số liệu đầu vào như dưới đây:

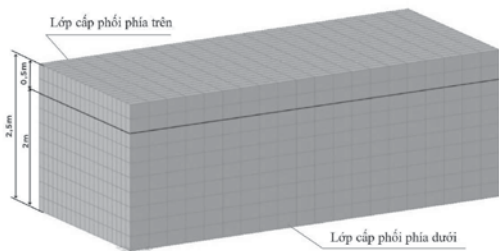
Cấu kiện dầm chuyển được sử dụng trong nghiên cứu có kích thước $B \times H \times L$ lần lượt là 3m; 2,5m; 7m. Tổng lượng bê tông là 52,5 m³. Dầm chuyển thiết kế sử dụng bê tông với cấp độ bền B35, cấp phối bê tông B35 thể hiện ở Bảng 1 và Bảng 4. Hệ thống ống làm lạnh được bố trí trong dầm chuyển thành 3 lớp ống, khoảng cách bố trí ống làm lạnh theo phương ngang và phương đứng là 600mm như Hình 5.





c. Mặt cắt bố trí ống làm lạnh

Hình 5. Kích thước và bố trí ống làm lạnh bê tông đầm chuyển khối lớn



Hình 6. Kích thước và bố trí lớp trên lớp dưới bê tông đầm chuyển khối lớn
Bảng 1. Bảng cấp phối số 1 cho 1m³ bê tông- Bê tông B35

Loại vật liệu	đơn vị	Giá trị
Xi măng PC40	kg	420
Cát	kg	765
Đá dăm	kg	1100
Nước	lít	155
Phụ gia	lít	6,4

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

Đặc điểm	đơn vị	Nước lạnh
Cường độ chịu nén ở tuổi 28 ngày	kG/m ²	4,5 × 10 ⁶
Nhiệt dung riêng	kcal/kg.°C	1
Khối lượng riêng	kgf/m ³	2370
Hệ số đối lưu	kcal/m ² .h.°C	-
Nhiệt độ dòng nước	°C	25
Tốc độ chảy	m ³ /h	1,2
Đường kính ống	m	0,027

Bảng 3. Bảng các thông số tính toán cho tăng nhiệt độ đoạn nhiệt

Thuộc tính	Đơn vị	Giá trị
Nhiệt độ bê tông khi đổ	°C	30,0
Nhiệt độ môi trường	°C	25,0
Mô đun đàn hồi	kG/m ²	2,7734 × 10 ⁹
Hằng phát triển cường độ chịu nén	(ACI)	a = 13,9; b = 0,86

Bảng 4. Bảng cấp phối số 2 cho 1m³ bê tông - Bê tông B35

Tên lớp/cấp phối	Cát (kg)	Đá (kg)	Nước (l)	Bột (kg)	Xi măng (kg)	Tro bay (kg)	Phụ gia siêu dẻo (lít)	Loại xi măng
Lớp trên	765	1100	155	420	400	20	5,13	PC40
Lớp dưới	765	1100	155	420	336	84	5,13	PC40

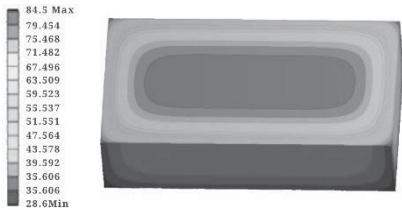
4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Kết quả tính toán bằng mô hình tính toán của Ansys

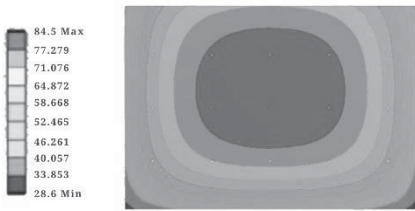
a. Mô phỏng tính toán với trường hợp thi công đổ bê tông liên tục với 1 cấp phối số 1, không sử dụng ống làm lạnh.

Kết quả tính toán nhiệt của đầm chuyển được mô phỏng với trường hợp không lắp đặt hệ thống ống làm lạnh được thể hiện lần lượt ở các Hình 7, Hình 8 và Hình 9.

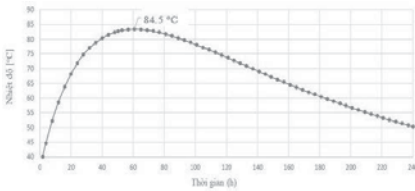
Nhiệt độ lớn nhất xuất hiện tại tâm khối đầm chuyển với trị số là 84,5 °C, nhiệt độ thấp nhất xuất hiện tại biên và bề mặt đầm chuyển là 28,6 °C, khi đó trị số chênh lệch nhiệt độ lớn nhất giữa tâm và biên - bề mặt là $\Delta T_{\max} = 55,9^{\circ}\text{C}$. Thời gian nhiệt độ đạt giá trị lớn nhất vào khoảng 60-65h sau khi đổ bê tông.



Hình 7. Vùng nhiệt độ tại tâm không có hệ thống ống làm lạnh dọc theo chiều dài khối bê tông đầm chuyển



Hình 8. Vùng nhiệt độ trong khối bê tông đầm chuyển - đoạn giữa không có hệ thống ống làm lạnh

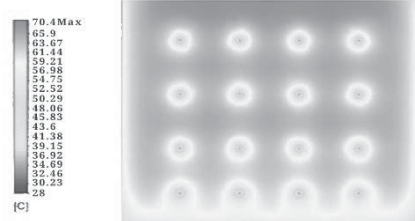


Hình 9. Biểu đồ phát triển nhiệt độ tại tâm đầm chuyển không lắp đặt ống làm lạnh

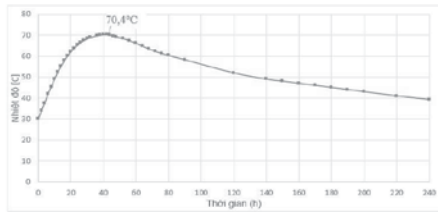
b. Mô phỏng tính toán với trường hợp thi công đổ bê tông liên tục với 1 cấp phối số 1, có sử dụng ống làm lạnh

Kết quả tính toán nhiệt của đầm chuyển được mô phỏng với trường hợp có lắp đặt hệ thống ống làm lạnh được thể hiện lần lượt ở các Hình 10 và Hình 11.

Với phương án sử dụng hệ thống ống làm lạnh thì nhiệt độ lớn nhất xuất hiện tại tâm khối đầm chuyển với trị số là 70,4°C, nhiệt độ thấp nhất xuất hiện tại biên và bề mặt đầm chuyển là 28,0°C, khi đó trị số chênh lệch nhiệt độ lớn nhất giữa tâm và biên - bề mặt là $\Delta T_{\max} = 42,4^{\circ}\text{C}$. Thời gian nhiệt độ đạt giá trị lớn nhất vào khoảng 40-45h sau khi đổ bê tông.



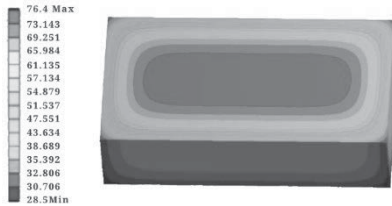
Hình 10. Vùng phân bố nhiệt độ trong khối bê tông đầm chuyển - đoạn giữa khi lắp đặt ống làm lạnh



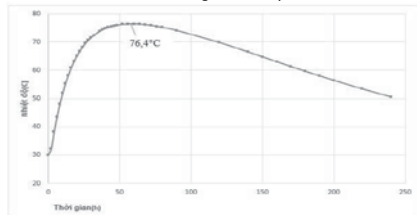
Hình 11. Biểu đồ phát triển nhiệt độ tại tâm dầm chuyển có lắp đặt ống làm lạnh c. Mô phỏng tính toán với trường hợp thi công đổ liên tục với 2 cấp phối khác nhau - cấp phối số 2, không sử dụng ống làm lạnh.

Kết quả tính toán nhiệt của dầm chuyển được mô phỏng với trường hợp thi công theo phương pháp đổ bê tông liên tục với 2 lớp cấp phối tỏa nhiệt khác nhau được thể hiện lần lượt ở các Hình 12 và Hình 13.

Phương án thi công liên tục với 2 lớp cấp phối tỏa nhiệt khác nhau thì nhiệt độ lớn nhất xuất hiện tại tâm khối dầm chuyển với trị số là 76,4°C, nhiệt độ thấp nhất xuất hiện tại biên và bề mặt dầm chuyển là 28,5°C, khi đó trị số chênh lệch nhiệt độ lớn nhất giữa tâm và biên - bề mặt là $\Delta T_{\max} = 47,9^\circ\text{C}$. Thời gian nhiệt độ đạt giá trị lớn nhất vào khoảng 60-65h sau khi đổ bê tông.



Hình 12. Vùng nhiệt độ tại tâm khi đổ liên tục với 2 cấp phối khác nhau, không sử dụng ống làm lạnh dọc theo chiều dài khối bê tông dầm chuyển



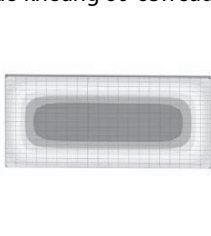
Hình 13. Biểu đồ phát triển nhiệt độ tại tâm dầm chuyển khi đổ liên tục với 2 cấp phối khác nhau, không sử dụng ống làm lạnh

4.2. Kết quả tính toán bằng mô hình tính toán của Midas Civil

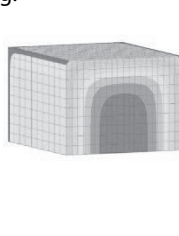
a. Mô phỏng tính toán với trường hợp thi công đổ bê tông liên tục với 1 cấp phối số 1, không sử dụng ống làm lạnh.

Kết quả tính toán nhiệt của dầm chuyển được mô phỏng với trường hợp không lắp đặt hệ thống ống làm lạnh được thể hiện lần lượt ở các Hình 14, Hình 15 và Hình 16.

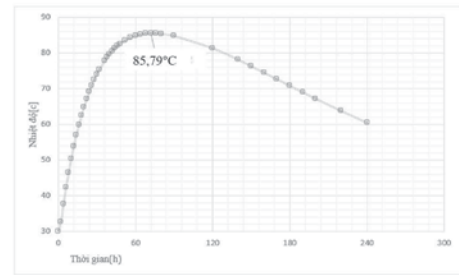
Nhiệt độ lớn nhất xuất hiện tại tâm khối dầm chuyển với trị số là 85,79°C, nhiệt độ thấp nhất xuất hiện tại biên và bề mặt dầm chuyển là 29,39°C, khi đó trị số chênh lệch nhiệt độ lớn nhất giữa tâm và biên - bề mặt là $\Delta T_{\max} = 56,4^\circ\text{C}$. Thời gian nhiệt độ đạt giá trị lớn nhất vào khoảng 60-65h sau khi đổ bê tông.



Hình 14. Vùng nhiệt độ tại tâm không có hệ thống ống làm lạnh dọc theo chiều dài khối bê tông dầm chuyển



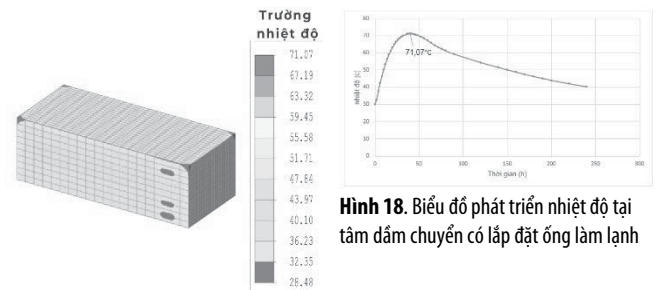
Hình 15. Vùng nhiệt độ trong khối bê tông dầm chuyển - đoạn giữa không có hệ thống ống làm lạnh



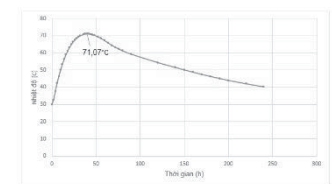
Hình 16. Biểu đồ phát triển nhiệt độ tại tâm dầm chuyển không lắp đặt ống làm lạnh b. Mô phỏng tính toán với trường hợp thi công đổ bê tông liên tục với 1 cấp phối số 1, có sử dụng ống làm lạnh.

Kết quả tính toán nhiệt của dầm chuyển được mô phỏng với trường hợp có lắp đặt hệ thống ống làm lạnh được thể hiện lần lượt ở các Hình 17 và Hình 18.

Với phương án sử dụng hệ thống ống làm lạnh thì nhiệt độ lớn nhất xuất hiện tại tâm khối dầm chuyển với trị số là 71,07°C, nhiệt độ thấp nhất xuất hiện tại biên và bề mặt dầm chuyển là 28,48°C, khi đó trị số chênh lệch nhiệt độ lớn nhất giữa tâm và biên - bề mặt là $\Delta T_{\max} = 42,59^\circ\text{C}$. Thời gian nhiệt độ đạt giá trị lớn nhất vào khoảng 40-45h sau khi đổ bê tông.



Hình 17. Vùng phân bố nhiệt độ trong khối bê tông dầm chuyển - đoạn giữa khi lắp đặt ống làm lạnh

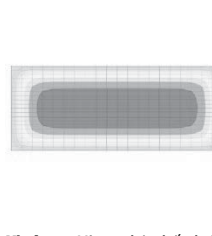


Hình 18. Biểu đồ phát triển nhiệt độ tại tâm dầm chuyển có lắp đặt ống làm lạnh

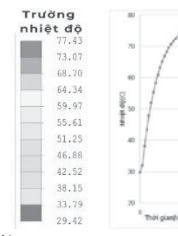
c. Mô phỏng tính toán với trường hợp đổ liên tục với 2 cấp phối khác nhau - cấp phối số 2, không sử dụng ống làm lạnh.

Kết quả tính toán nhiệt của dầm chuyển được mô phỏng với trường hợp thi công theo phương pháp đổ bê tông liên tục với 2 lớp cấp phối tỏa nhiệt khác nhau được thể hiện lần lượt ở các Hình 19 và Hình 20.

Với phương án thi công liên tục với 2 lớp cấp phối tỏa nhiệt khác nhau thì nhiệt độ lớn nhất xuất hiện tại tâm khối dầm chuyển với trị số là 77,43°C, nhiệt độ thấp nhất xuất hiện tại biên và bề mặt dầm chuyển là 29,42°C, khi đó trị số chênh lệch nhiệt độ lớn nhất giữa tâm và biên - bề mặt là $\Delta T_{\max} = 48,01^\circ\text{C}$. Thời gian nhiệt độ đạt giá trị lớn nhất vào khoảng 60-65h sau khi đổ bê tông.



Hình 19. Vùng phân bố nhiệt độ trong khối bê tông dầm chuyển khi đổ liên tục với 2 cấp phối tỏa nhiệt khác nhau, không sử dụng ống làm lạnh - đoạn giữa



Hình 20. Biểu đồ phát triển nhiệt độ tại tâm dầm chuyển khi đổ liên tục với 2 cấp phối tỏa nhiệt khác nhau, không sử dụng ống làm lạnh

Tổng hợp các kết quả phân tích các trường hợp thi công theo 2 công cụ tính toán:

#	Phương án thi công	Công cụ phân tích					
		Ansys			Midas civil		
		$T_{\max} (^{\circ}\text{C})$	$\Delta T_{\max} (^{\circ}\text{C})$	Thời gian (h)	$T_{\max} (^{\circ}\text{C})$	$\Delta T_{\max} (^{\circ}\text{C})$	Thời gian (h)
1	Đổ liên tục với 1 cấp phối, không sử dụng ống làm lạnh	84.5	55.9	60-65	85.79	56.4	60-65
2	Đổ liên tục với 1 cấp phối, có sử dụng giải pháp ống làm lạnh	70.4	42.4	40-45	71.07	42.59	40-45
3	Đổ liên tục với 2 cấp phối tỏa nhiệt khác nhau, không sử dụng ống làm lạnh	76.4	47.9	60-65	77.43	48.01	60-65

Các kết quả mô phỏng của 2 phương pháp cho thấy rằng:

- Khối bê tông đầm chuyển không có gắn ống làm lạnh, đối với cả 2 chương trình tính toán thì trong khoảng 60-65h đầu: Nhiệt độ khối bê tông liên tục tăng và đạt cực đại với giá trị $T_{\max} = 84,5^{\circ}\text{C}$, chênh lệch nhiệt độ cực đại $\Delta T_{\max} = 55,9^{\circ}\text{C}$ đối với mô hình tính toán bằng Ansys và đạt giá trị $T_{\max} = 85,79^{\circ}\text{C}$, chênh lệch nhiệt độ cực đại $\Delta T_{\max} = 56,4^{\circ}\text{C}$ đối với mô hình tính toán bằng Midas Civil. Sai số về nhiệt độ lớn nhất là 1,5% và sai số về chênh lệch nhiệt độ lớn nhất là 0,89%.

- Khi sử dụng giải pháp thi công có ống làm lạnh thì đối với cả 2 chương trình tính toán nhiệt độ khối bê tông liên tục tăng trong khoảng 30-35h đầu với giá trị $T_{\max} = 70,4^{\circ}\text{C}$, chênh lệch nhiệt độ cực đại $\Delta T_{\max} = 42,4^{\circ}\text{C}$ đối với mô hình tính toán bằng Ansys và đạt giá trị $T_{\max} = 71,07^{\circ}\text{C}$, chênh lệch nhiệt độ cực đại $\Delta T_{\max} = 42,59^{\circ}\text{C}$ đối với mô hình tính toán bằng Midas Civil. Sai số về nhiệt độ lớn nhất là 0,94% và sai số về chênh lệch nhiệt độ lớn nhất là 0,45%.

- Còn khi thi công với giải pháp đổ liên tục với 2 cấp phối tỏa nhiệt khác nhau thì nhiệt độ khối bê tông liên tục tăng và đạt cực đại tại trong khoảng thời điểm 60-65h với giá trị $T_{\max} = 76,4^{\circ}\text{C}$, chênh lệch nhiệt độ cực đại $\Delta T_{\max} = 47,9^{\circ}\text{C}$ đối với mô hình tính toán bằng Midas Civil và $T_{\max} = 76,4^{\circ}\text{C}$, chênh lệch nhiệt độ cực đại $\Delta T_{\max} = 48,01^{\circ}\text{C}$ đối với mô hình tính toán bằng Ansys. Sai số về nhiệt độ lớn nhất là 1,33% và sai số về chênh lệch nhiệt độ lớn nhất là 0,23%.

Khi nhiệt độ $T_{\max}$, $\Delta T_{\max}$ quá lớn và vượt qua ngưỡng giới hạn cho phép thì sẽ có nguy cơ xảy ra hiện tượng trị hoãn ettringite, hình thành các vết nứt bên trong tâm khối bê tông. Về lâu dài, vết nứt phát triển làm mất khả năng chịu lực của kết cấu đầm chuyển [13]. Do vậy cần phải có giải pháp bảo dưỡng thích hợp để giảm chênh lệch nhiệt độ trong khối đổ bê tông.

Từ các kết quả tính toán trên, ta nhận thấy: Giá trị nhiệt độ lớn nhất, trị số chênh lệch nhiệt độ cực đại giữa tâm và biên bề mặt, khoảng thời gian gia tăng nhiệt độ của đầm chuyển được tính toán theo 2 chương trình có sai số không đáng kể.

5. KẾT LUẬN

Tính toán nhiệt thủy hóa phát sinh trong khối đổ bê tông đóng một vai trò quan trọng trong quá trình lập biện pháp thi công cấu kiện bê tông khối lớn nhằm kiểm soát nứt ở tuổi sớm.

Bài báo đã giới thiệu hai công cụ phần mềm để tính toán nhiệt thủy hóa bên trong khối đổ bê tông của kết cấu đầm chuyển được

thi công theo các phương pháp khác nhau. So sánh kết quả cho thấy Midas Civil cho ra giá trị nhiệt độ cực đại và trị số chênh lệch nhiệt độ cực đại lớn hơn so với tính bằng phần mềm Ansys, tuy nhiên sai số là không nhiều; khoảng thời gian gia tăng nhiệt độ cực đại thì khá là tương đồng khi sử dụng 2 chương trình tính toán.

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 các phần mềm để tính toán nhiệt thủy hóa khi thi công bê tông khối lớn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lóc, N.X. Làm việc của đầm chuyển bê tông cốt thép trong nhà cao tầng. *Tạp chí Xây dựng & đô thị*. số 89.2023
- [2] Lubej, S., I. Anžel, P. Jelušić, L. Kosec, and A. Ivanic, (2016). The Effect of Delayed Ettringite Formation on Fine Grained Aerated Concrete Mechanical Properties. *Science and Engineering of Composite Materials* 23 (3): 325–334. <https://doi.org/10.1515/secm-2012-0107>.
- [3] Myuran, K., N. S. A. Wanigaratne, and M. T. R. Jayasinghe, (2015). Strategies for Prevention of Delayed Ettringite Formation in Large Concrete Sections. *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka* 48 (2): 1–13. số
- [4] M. Biffaut, Benboudjema, F., Torrenti, J.-M., Nahas, G, (2012). Effects of early-age thermal behaviour on damage risks in massive concrete structures. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. 16(5): 589–605.
- [5] Minh, L.V., Công, V.C. (2023). Nghiên cứu xác định vị trí phân chia các lớp đổ tối ưu của kết cấu bê tông khối lớn bằng phương pháp đổ liên tục kết hợp phân chia lớp đổ tỏa nhiệt khác nhau, *Tạp chí vật liệu và xây dựng*, 13(04).
- [6] Japan Concrete Institute (2011). *Guideline for control of cracking of mass concrete*.
- [7] Midas Information Technology (2004). *Heat of hydration - Analysis analysis manual version 7.0.1*.
- [8] Bofang, Z (2014). Conduction of Heat in Mass Concrete, Boundary Conditions, and Methods of Solution. *Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete*, Elsevier: 11–47.
- [9] TCXDVN 305:2004 (2004), *Bê tông khối lớn - Quy phạm thi công và nghiệm thu*.
- [10] C.T. Nguyen, Aniskin, N. A, (2019). Temperature regime during the construction massive concrete with pipe cooling. *Magazine of Civil Engineering*. 89(5): 156–166.
- [11] ANSYS Manuals 2020.
- [12] Kim, S. G (2010). Effect of heat generation from cement hydration on mass concrete placement. *Master thesis, Iowa State University, Ames*.
- [13] ACI 301-16 (2016). *Specifications for Structural Concrete*.
- [14] ACI Committee 207.R1-96 (2005). *Mass concrete*. American Concrete Institute.