

TÍNH TOÁN KHẢ NĂNG CHỊU LỬA CỦA CỘT BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO TIÊU CHUẨN EN 1992-1-2

Khổng Trọng Toàn¹, Vũ Công Thành

¹Khoa Xây dựng, Trường Đại học Công nghệ TP.HCM (HUTECH)

Nhận ngày 23/04/2021, thẩm định ngày 28/04/2021, chỉnh sửa ngày 04/05/2021, chấp nhận đăng 11/06/2021

Tóm tắt

Bài báo trình bày nguyên tắc thiết kế chung và phương pháp tính toán đơn giản cho cấu kiện cột bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn châu Âu EN 1992-1-2 về thiết kế kết cấu cột bê tông cốt thép (BTCT) trong điều kiện cháy. Quy trình tính toán theo phương pháp đơn giản và minh họa thông qua ví dụ tính toán. Kết quả cho thấy khi tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ và hàm lượng cốt thép thì khả năng chịu lực khi cháy của cột tăng lên, tuy nhiên khi thời gian cháy tăng lên thì khả năng chịu lực khi cháy của cột cũng giảm đi.

Từ khóa: Cột bê tông cốt thép, chịu lửa, khả năng chịu lực, EN 1992-1-2.

Abstract

This study presents general design principles and simple calculation methods for reinforced concrete column structures according to European standard EN 1992-1-2 on design of reinforced concrete columns under fire conditions. The calculation process follows the simple method and is illustrated through calculation examples. The results show that when the thickness of the protective concrete layer and the reinforcement content increases, the fire resistance of the column increases, but when the fire time increases, the fire resistance of the column also decreases.

Keywords: reinforced concrete column; fire; fire resistance; EN 1992-1-2.

1. Giới thiệu

Hỏa hoạn công trình hay còn gọi là cháy không còn xa lạ với chúng ta, đây là một trong số những hình thức tai nạn xảy ra rất nhiều trên toàn thế giới và gây ra không ít những thiệt hại. Trong kết cấu công trình, cột bê tông cốt thép là một trong những cấu kiện chịu lực chính. Sự suy giảm cường độ của cột trong điều kiện nhiệt độ cao (sau khi cháy) sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng chịu lực của kết cấu công trình.

Các quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình đã đưa ra các chỉ dẫn kỹ thuật cho kết cấu khi chịu lửa và được đưa vào tiêu chuẩn thiết kế của nhiều quốc gia trong đó có Việt Nam. Tuy nhiên, phần lớn các quy chuẩn chỉ đưa ra các quy tắc mang tính mô tả dưới dạng bảng biểu, trong đó quy định cấp chịu lửa của kết cấu phụ thuộc vào bề dày lớp bê tông bảo vệ và kích thước nhỏ nhất của tiết diện chịu lực dựa vào các kết quả thí nghiệm.

Trong đó, QCVN 06:2010/BXD [1] cũng như tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép TCVN 5574:2018 [2] không đề cập tới sự ảnh hưởng của các yếu tố khác như đặc trưng cơ lý của bê tông và cốt thép ở nhiệt độ cao, cũng như không có một chỉ dẫn cụ thể nào để thiết kế cấu kiện BTCT chịu lửa. Do vậy, việc tìm hiểu các tiêu chuẩn nước ngoài là rất cần thiết cho công tác thiết kế kết cấu trong điều kiện cháy tại Việt Nam.

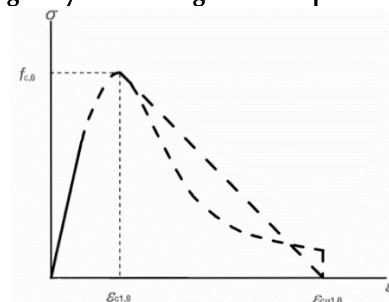
Tại Việt Nam, các nghiên cứu về kết cấu BTCT chịu lửa còn khá ít. Có một số nghiên cứu về cấu kiện BTCT chịu lửa như là: phương pháp xây dựng biểu đồ tương tác của cột BTCT ở nhiệt độ cao theo tiêu chuẩn EN 1992-1-2 [3]. Năm 2017, tác giả Nguyễn Trường Thắng đã nghiên cứu về ảnh hưởng của sự bố trí cốt thép dọc tới khả năng chịu lực của bê tông cốt thép tại nhiệt

độ cao [4]. Năm 2018, một nghiên cứu về thiết kế sàn BTCT chịu lửa đã tìm hiểu về các phương pháp tính toán theo EC2-1-2 [5].

Bài báo này giới thiệu các tính chất cơ lý của bê tông và cốt thép, trình bày các phương pháp tính toán đơn giản cho cấu kiện cột bê tông cốt thép, được quy định trong tiêu chuẩn Châu Âu EN 1992-1-2 [6]. Quy trình tính toán theo phương pháp đơn giản được trình bày cụ thể và minh họa thông qua ví dụ tính toán.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Đặc trưng cơ lý của bê tông và cốt thép khi chịu lửa



Khoảng giá trị	Ứng suất $\sigma_{(\theta)}$
$\epsilon \leq \epsilon_{c1,0}$	$\frac{3\epsilon f_{c,0}}{\epsilon_{c1,0} \left(2 + \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{c1,0}}\right)^3\right)}$
$\epsilon_{c1,0} < \epsilon \leq \epsilon_{cu1,0}$	Nhánh giảm nhiệt cần được dùng trong các phương pháp số, cả mô hình tuyến tính và phi tuyến đều được chấp nhận

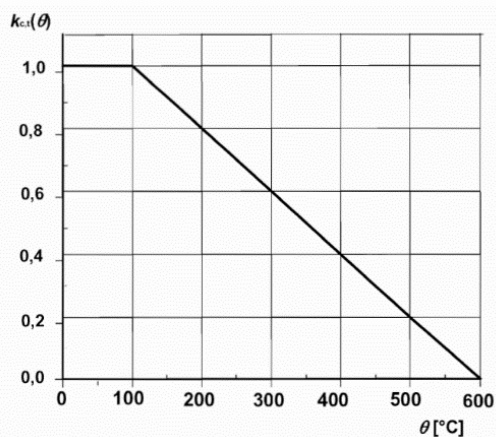
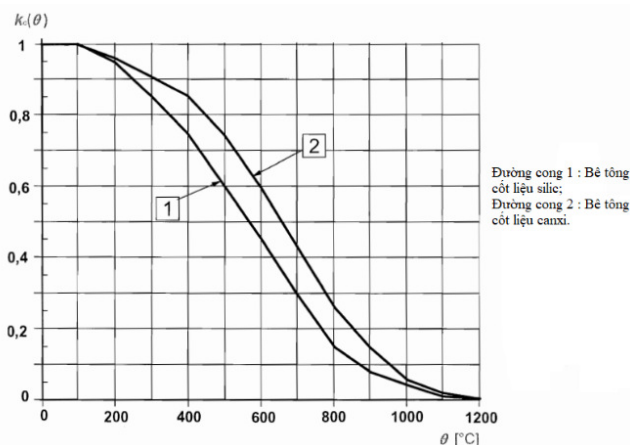
Hình 1. Mô hình toán học áp dụng cho các quan hệ ứng suất – biến dạng của bê tông khi chịu nén ở điều kiện nhiệt độ cao.

Bảng 1. Quan hệ ứng suất – biến dạng của bê tông nặng đối với cốt liệu silic hoặc canxi ở nhiệt độ cao.

Nhiệt độ bê tông, (θ)	Cốt liệu silic			Cốt liệu canxi		
	$f_{c,\theta} / f_{ck}$	$\varepsilon_{c1,\theta}$	$\varepsilon_{cu1,\theta}$	$f_{c,\theta} / f_{ck}$	$\varepsilon_{c1,\theta}$	$\varepsilon_{cu1,\theta}$
[°C]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
20	1,00	0,0025	0,0200	1,00	0,0025	0,0200
100	1,00	0,0040	0,0225	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250	0,97	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275	0,91	0,0070	0,0250
400	0,75	0,0100	0,0300	0,85	0,0100	0,0275
500	0,60	0,0150	0,0325	0,74	0,0150	0,0300
600	0,45	0,0250	0,0350	0,60	0,0250	0,0325
700	0,30	0,0250	0,0375	0,43	0,0250	0,0350
800	0,15	0,0250	0,0400	0,27	0,0250	0,0375
900	0,08	0,0250	0,0425	0,15	0,0250	0,0400
1000	0,04	0,0250	0,0450	0,06	0,0250	0,0425
1100	0,01	0,0250	0,0475	0,02	0,0250	0,0450
1200	0,00	-	-	0,00	-	-

Bảng 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ tới cường độ chịu kéo và mô đun đàn hồi của cốt thép.

Nhiệt độ cốt thép T(°C)	$f_{sy,\theta} / f_{yk}$		$E_{s,\theta} / E_s$	
	Cán nóng	Cán nguội	Cán nóng	Cán nguội
20	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	1,00
200	1,00	1,00	0,90	0,87
300	1,00	1,00	0,80	0,72
400	1,00	0,94	0,70	0,56
500	0,78	0,67	0,60	0,40
600	0,47	0,40	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,07	0,05
1000	0,04	0,05	0,04	0,03
1100	0,02	0,03	0,02	0,02
1200	0,00	0,00	0,00	0,00

**Hình 2.** Hệ số $k_{c,t}(\theta)$ để giảm cường độ chịu kéo ($f_{ck,t}$) của bê tông ở nhiệt độ cao.**Hình 3.** Hệ số $k_c(\theta)$ để tính sự giảm cường độ chịu nén tiêu chuẩn (f_{ck}) của bê tông.

Để thiết kế BTCT chịu lửa, các thông số quan trọng nhất là quan hệ ứng suất-biến dạng, độ suy giảm cường độ của bê tông và cốt thép, các thông số này được quy định trong EN 1992-1-2 [5] và được thể hiện trong Hình 1, Hình 2, Hình 3, Hình 4, Hình 5. Các quan hệ ứng suất – biến dạng được xác định theo hai tham số: cường độ chịu nén $f_{c,\theta}$, biến dạng $\varepsilon_{c,t,\theta}$ tương ứng với $f_{c,\theta}$. Giá trị cho từng tham số đó được thể hiện trong Bảng 1 và Bảng 2.

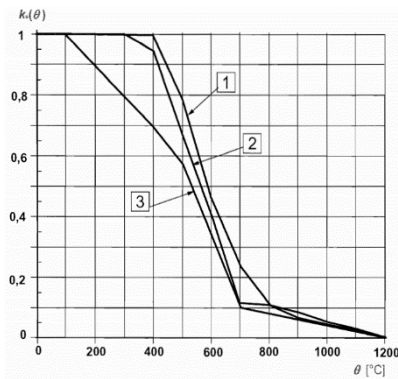
Cường độ chịu kéo tiêu chuẩn của bê tông được giảm bớt bằng cách sử dụng hệ số $k_{c,t}(\theta)$ như trong biểu thức:

$$f_{ck,t}(\theta) = k_{c,t}(\theta) f_{ck,t} \quad (1)$$

khi chưa có số liệu chính xác có thể lấy các giá trị của $k_{c,t}(\theta)$ như Hình 2.

$$k_{c,t}(\theta) = 1,0 \quad \text{Khi } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100^\circ\text{C};$$

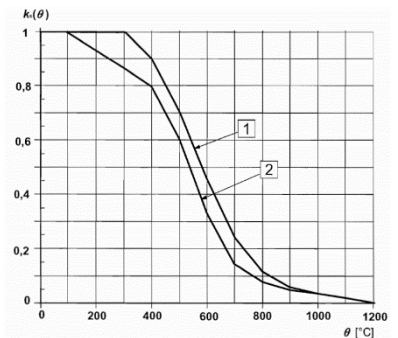
$$k_{c,t}(\theta) = 1,0 - \frac{1,0(\theta - 100)}{500} \quad \text{Khi } 100^\circ\text{C} \leq \theta \leq 600^\circ\text{C}.$$



Đường số 1: cốt thép chịu kéo (cán nóng) dùng với biến dạng $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$.
Đường số 2: Cốt thép chịu kéo (kéo nguội) dùng với biến dạng $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$.
Đường số 3: Cốt thép chịu nén cốt thép chịu kéo với biến dạng $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$.

2 %.

Hình 4. Hệ số $k_s(\theta)$ để xác định mức giảm cường độ tiêu chuẩn (f_{yk}) của cốt thép thường chịu kéo và chịu nén (cấp N).



Đường số 1: Cốt thép chịu kéo (cán nóng và kéo nguội) dùng với biến dạng $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$.
Đường số 2: Cốt thép chịu nén và cốt thép chịu kéo (cán nóng và kéo nguội) với biến dạng $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$.

Hình 5. Hệ số $k_s(\theta)$ để xác định mức giảm cường độ tiêu chuẩn (f_{yk}) của cốt thép thường chịu kéo và chịu nén (cấp X).

2.2. Xác định khả năng chịu lực của cột BTCT khi tiếp xúc với lửa

Các phương pháp tính toán đơn giản để xác định khả năng chịu lực của cột khi có tác động của lửa theo tiêu chuẩn EN 1992-1-2 là phương pháp đường đẳng nhiệt 500 °C và phương pháp phân lớp.

2.2.1 Quy trình tính toán theo phương pháp đường đẳng nhiệt 500 °C

Xác định bề rộng b_{fi} và chiều cao làm việc d_{fi} mới của tiết diện sau khi loại bỏ lớp bê tông bên ngoài đường đẳng nhiệt 500 °C.

Xác định nhiệt độ trong các thanh cốt thép trong vùng chịu kéo và chịu nén. Từ đó xác định cường độ suy giảm của cốt thép do nhiệt độ.

Cường độ suy giảm trung bình của một lớp cốt thép theo mức tăng nhiệt độ được tính toán theo biểu thức:

$$k_v(\theta) = \frac{\sum k(\theta_i)}{n_v} \quad (2)$$

trong đó: θ là nhiệt độ của thanh cốt thép thứ i ; $k(\theta_i)$ là sự suy giảm về cường độ của thanh cốt thép thứ i gây ra bởi mức nhiệt độ θ_i ; $k_v(\theta)$ là sự suy giảm về cường độ của cốt thép lớp v ; n_v là số lượng thanh cốt thép trong lớp v .

Chiều dày lớp bê tông bảo vệ a , tính đến trọng tâm của các lớp cốt thép, có thể được xác định theo biểu thức

$$a = \frac{\sum a_i k_v(\theta)}{\sum k_v(\theta)} \quad (3)$$

trong đó: a_v là chiều dày lớp bê tông bảo vệ tính từ bề mặt đáy của tiết diện giảm yếu đến lớp cốt thép v .

Nếu các thanh cốt thép có diện tích khác nhau và được phân bố không theo quy luật thì giá trị cường độ suy giảm trung bình của nhóm cốt thép và chiều dày lớp bê tông bảo vệ a đến trọng tâm của nhóm cốt thép được tính theo quy trình sau:

$$k(\varphi) = \frac{\sum [k_s(\theta_i) f_{sd,i} A_i]}{\sum A_i} \quad (4)$$

$$a = \frac{\sum [a_i k_s(\theta_i) f_{sd,i} A_i]}{\sum [k_s(\theta_i) f_{sd,i} A_i]} \quad (5)$$

trong đó: $k_s(\theta_i)$ là mức độ giảm cường độ của thanh cốt thép thứ i ; $f_{sd,i}$ là cường độ tính toán của thanh cốt thép thứ i ; A_i là diện tích tiết diện của thanh cốt thép thứ i ; a_i là chiều dày lớp bê tông bảo vệ tính từ tiết diện giảm yếu đến trục thanh cốt thép thứ i .

Việc tính toán mô men uốn của tiết diện được thực hiện như sau:

$$M_{u1} = A_{s1} f_{sd,fi}(\theta_i) z \quad (6)$$

$$M_{u2} = A_{s2} f_{scd,fi}(\theta_m) z' \quad (7)$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad (8)$$

trong đó: A_s là tổng diện tích cốt thép; $f_{sd,fi}$ là cường độ chịu kéo tính toán của cốt thép; $f_{scd,fi}$ là cường độ tính toán áp dụng cho cốt thép chịu nén; z là khoảng cách giữa cốt thép chịu kéo và trọng tâm vùng bê tông chịu nén; z' là cánh tay đòn giữa cốt thép chịu kéo và cốt thép chịu nén; θ_m là nhiệt độ trung bình của lớp cốt thép.

Khi đã tính được sự tham gia chịu mô men của các nhánh cốt thép như trên thì tổng khả năng chịu mô men của toàn tiết diện được tính bằng biểu thức:

$$M_u = M_{u1} + M_{u2} \quad (9)$$

2.2.2 Quy trình tính toán theo phương pháp phân lớp

Chia tiết diện thành một số lớp có chiều dày bằng nhau ($n \geq 3$), sau đó tính toán nhiệt độ trung bình cùng cường độ chịu nén trung bình tương ứng $f_{cd}(\theta)$.

Xác định cường độ chịu nén suy giảm tại điểm bất kỳ trên đường trục của tường tương đương và áp dụng giá trị cường độ xác định được cho toàn bộ tiết diện bị suy giảm, xác định bề rộng tiết diện suy giảm theo những biểu thức sau đây:

$$k_{c,m} = \frac{(1 - \frac{0,2}{n})}{n} \sum_{i=1}^n k_c(\theta_i)$$

$$a_z = w [1 - (\frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)})^{1,3}]$$

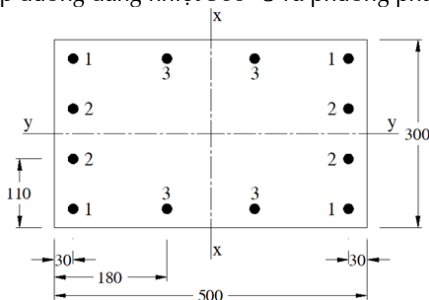
trong đó: n là số lượng các lớp song song nhau; $(1 - \frac{0,2}{n})$ là hệ số cho phép xét đến sự thay đổi nhiệt độ trong bản thân mỗi lớp; $k_c(\theta_M)$ là hệ số suy giảm cường độ bê tông tại điểm M bất kỳ.

Sau khi tính toán được tiết diện giảm yếu và hệ số giảm cường độ trung bình ta tiếp tục tính toán mô men tương tự như phương pháp đường đẳng nhiệt 500 °C với các biểu thức (6) (7) (9).

3. Ví dụ tính toán và khảo sát tham số

3.1. Ví dụ tính toán

Ví dụ 1: Cho 1 tiết diện cột có độ lệch tâm ngẫu nhiên theo phương x là $e_{ax} = 15$ mm, theo phương y là $e_{ay} = 10$ mm. Lực nén tính toán $N = 1500$ kN, mômen uốn tính toán theo hai phương lần lượt là $M_x = 200$ kNm, $M_y = 100$ kNm. Bê tông có cấp độ bền chịu nén tính toán B25 có $R_b = 14,5$ MPa, hệ số điều kiện làm việc của bê tông/ $\gamma_b = 1$, cốt thép có $R_s = R_{sc} = 365$ MPa. Hệ số kể đến ảnh hưởng của uốn dọc $\eta_x = \eta_y = 1,0$. 12Ø20. Xác định khả năng chịu lực của tiết diện cột khi chịu lửa tương ứng với các mốc thời gian $t = 0,5$ h, $t = 1$ h, $t = 1,5$ h, $t = 2$ h, $t = 3$ h, $t = 4$ h bằng các phương pháp đường đẳng nhiệt 500 °C và phương pháp phân lớp.



Hình 6. Tiết diện có bố trí cốt thép của ví dụ 1.

Bài làm

Kiểm tra nội lực của cột ta có kết quả mô men theo hai phương như sau :

Mô men giới hạn theo phương x , $M_x = 300$ kNm

Mô men giới hạn theo phương y , $M_y = 162$ kNm

Sau khi có kết quả khả năng chịu mô men của cột ở nhiệt độ thường ta tiến hành thực hiện tính toán khả năng chịu mômen của cột khi chịu tác động của nhiệt độ.

Phương pháp đường đẳng nhiệt.

Xác định nhiệt độ θ_s , $k_s(\theta)$ trong các thanh thép, tính toán điển hình cho thanh thép số 1

Kiểm tra khả năng chịu lực theo phương M_x

Với $t = 0,5$ h, theo phương pháp wickstrom, ta có:

$$n_w = 1 - 0,0616t^{0,88} = 1 - 0,0616 \cdot 0,5^{0,88} = 0,887$$

$$n_x = 0,18 \ln \frac{t}{x^2} - 0,81 = 0,18 \ln \frac{0,5}{0,03^2} - 0,81 = 0,33$$

$$n_y = 0,18 \ln \frac{t}{y^2} - 0,81 = 0,18 \ln \frac{0,5}{0,03^2} - 0,81 = 0,33$$

$$\Delta\theta_y = 345 \log(480t + 1) = 345 \log(480 \cdot 0,5 + 1) = 821 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta\theta_{xy} = (n_w(n_x + n_y - 2n_x n_y) + n_x n_y) \Delta\theta_y$$

$$= (0,887 \cdot (0,32 + 0,32 - 2 \cdot 0,32 \cdot 0,32) + 0,32 \cdot 0,32) \cdot 821 = 409 \text{ }^\circ\text{C}$$

Giá sử nhiệt độ bình thường là 20 °C

$$\theta_s = 409 + 20 = 429 \text{ }^\circ\text{C}$$

Vì $400 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta \leq 500 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow k_s(\theta) = 0,81$

Tính toán tương tự, ta có được nhiệt độ (θ_s), hệ số giảm cường độ (k_s) của các thanh thép khác, kết quả được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3. Xác định nhiệt độ $\theta_s(\text{ }^\circ\text{C})$, $k_s(\theta)$ trong các thanh thép.

t(h)	Thanh số 1(30,30)		Thanh số 2(110,30)		Thanh số 3(30,180)	
	$\theta_s(\text{ }^\circ\text{C})$	$k_s(\theta)$	$\theta_s(\text{ }^\circ\text{C})$	$k_s(\theta)$	$\theta_s(\text{ }^\circ\text{C})$	$k_s(\theta)$
0,5	429	0,81	185	0,91	93	1
1	639	0,24	405	0,85	316	0,78
1,5	762	0,09	542	0,47	459	0,69
2	848	0,07	642	0,24	564	0,42
3	964	0,05	782	0,08	713	0,1
4	1043	0,03	881	0,06	820	0,08

Tính toán đối với thanh thép số 1:

Xác định giá trị $k(\varphi)$, với $t = 0,5$ h

$$k(\varphi) = \frac{\sum [k_s(\theta_i)]}{\sum n} = \frac{0,81 \times 4}{4} = 0,81$$

Các giá trị $k(\varphi)$ trong các trường hợp còn lại được tính toán tương tự và trình bày trong Bảng 4.

Xác định giá trị chiều dày lớp bê tông bảo vệ a (khoảng cách đến trọng tâm nhóm cốt thép)

$$a = \frac{\sum [a_i k_s(\theta_i)]}{\sum k_s(\theta_i)}$$

Với $t = 0,5$ h

$$a = \frac{\sum [a_i k_s(\theta_i)]}{\sum k_s(\theta_i)} = \frac{30 \times 0,81 \times 2,01 \times 4}{0,81 \times 2,01 \times 4} = 30 \text{ mm}$$

Tính bề rộng suy giảm (lấy giá trị x_{500} theo wickstrom)

$$b_{\text{ti}} = b - 2x_{500} \text{ với } t = 0,5\text{h} \Rightarrow b_{\text{ti}} = b - 2x_{500} = 300 - 2 \times 12 = 276 \text{ mm}$$

Chiều cao vùng nén bê tông x :

Bê tông B25 (TCVN) tương ứng với C20/25 (EUROCODE).

$$x = \frac{A_s f_{sd,fi}}{0,8 b_{\text{ti}} f_{cd,fi}}, \text{ với } t=0,5 \text{ h, } x = \frac{A_s \times k_s \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s}}{0,8 b_{\text{ti}} \times k_c \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{1256 \times 0,81 \times \frac{500}{1,15}}{0,8 \times 276 \times 1 \times \frac{30}{1,5}}$$

$$= 100,16 \text{ mm}$$

Bảng 4. Xác định khả năng chịu mô men M_x của tiết diện.

t(h)	k(φ)	a (mm)	b_{fi} (mm)	x (mm)	M_{u1} (kNm)	M_{u2} (kNm)	M_x (kNm)
0,5	0,81	30	276	100,1	155,9	95,1	251
1,0	0,24	30	254	32,2	49,9	30,1	80
1,5	0,09	30	238	12,9	19,1	11,5	30,6
2,0	0,07	30	222	10,7	14,9	8,9	23,8
3,0	0,05	30	196	8,7	10,6	6,4	17
4,0	0,03	30	172	5,9	6,4	3,8	10,2

Bảng 5. Xác định khả năng chịu mô men M_y của tiết diện.

t(h)	k(φ)	a (mm)	b_{fi} (mm)	x (mm)	M_{u1} (kNm)	M_{u2} (kNm)	M_y (kNm)
0,5	0,81	30	276	100,16	81,6	89,1	170,7
1,0	0,24	30	254	32,2	27,9	26,4	54,3
1,5	0,09	30	238	12,9	10,8	9,9	20,7
2,0	0,07	30	222	10,7	8,4	7,7	16,1
3,0	0,05	30	196	8,7	6,1	5,5	11,5
4,0	0,03	30	172	5,9	3,6	3,3	6,9

Các giá trị x trong các trường hợp còn lại được tính toán tương tự và trình bày trong Bảng 4.

Khả năng kháng uốn của tiết diện theo phương M_x :

$$M_{u1} = A_{s1} f_{sd,fi}(\theta_m) z$$

$$M_{u2} = A_{s2} f_{sd,fi}(\theta_m) z'$$

$M_x = M_{u1} + M_{u2}$, kết quả được trình bày trong Bảng 4.

Khả năng kháng uốn của tiết diện theo phương M_y :

$$M_{u1} = A_{s1} f_{sd,fi}(\theta_m) z$$

$$M_{u2} = A_{s2} f_{sd,fi}(\theta_m) z'$$

$M_y = M_{u1} + M_{u2}$, áp dụng trình tự tính toán giống với M_x ta ra được kết quả cho M_y được tóm tắt trong Bảng 5.

Kết luận: tiết diện cột đủ khả năng chịu mômen tại mốc thời gian 0,5 h nhưng không đủ khả năng chịu mômen ở các mốc 1 h, 1,5 h, 2 h, 3 h, 4 h.

4. Phương pháp phân lớp (zone method)

Các thông số θ_s (°C), $k_s(\theta)$, k(φ) tương tự như trên ví dụ 1. Chia tiết diện thành 6 phần dọc bề rộng mỗi phần 50 mm, xác định nhiệt độ tại tâm mỗi lát cắt

Bảng 6. Nhiệt độ tại tâm mỗi lát cắt khi x = 25 mm.

t(h)	0,5	1	1,5	2	3	4
n_w	0,886	0,938	0,956	0,966	0,976	0,981
n_x	0,393	0,518	0,591	0,642	0,715	0,767
$\Delta\theta_g$	821,8	925,3	985,9	1029	1089,7	1132,8
$\Delta\theta$	286,5	449,8	557,5	639,2	761,7	853,6
θ_1	306,5	469,8	577,5	659,2	781,7	873,6

Bảng 7. Nhiệt độ tại tâm mỗi lát cắt khi x = 75 mm.

t(h)	0,5	1	1,5	2	3	4
n_w	0,886	0,938	0,956	0,966	0,976	0,981
n_x	-0,002	0,122	0,195	0,247	0,320	0,372
$\Delta\theta_g$	821,8	925,3	985,9	1029	1089,7	1132,8
$\Delta\theta$	0	106,3	184,4	245,9	340,8	413,78
θ_2	20	126,3	204,4	265,9	360,8	413,78

Bảng 8. Nhiệt độ tại tâm mỗi lát cắt khi x = 125 mm.

t(h)	0,5	1	1,5	2	3	4
n_w	0,886	0,938	0,956	0,966	0,976	0,981
n_x	-0,18	-0,061	0,011	0,063	0,136	0,188
$\Delta\theta_g$	821,8	925,3	985,9	1029	1089,7	1132,8
$\Delta\theta$	0	0	10,92	63,02	145,1	209,2
θ_3	20	20	30,92	83,02	165,1	229,2

Xác định a_z (chiều dày lớp bê tông bị hỏng do cháy):

$$\sum k_c(\theta) = 2k_c(\theta_1) + 2k_c(\theta_2) + 2k_c(\theta_3)$$

$$k_{c,m} = \frac{1 - \frac{0,2}{n} \sum_{i=1}^n k_c(\theta_i)}{n} = \frac{1 - \frac{0,2}{6} \sum k_c(\theta)}{6} = 0,161 \sum k_c(\theta)$$

$$a_z = w \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right)^{1,3} \right] = \frac{300}{2} \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{1} \right)^{1,3} \right] = 150 \left[1 - \frac{k_{c,m}}{1} \right]^{1,3}$$

Sau cùng ta có kết quả tính toán $k_{c,m}$ và a_z của tiết diện theo từng mốc thời gian như sau:

t = 0,5 h thì $k_{c,m} = 0,91$ và $a_z = 6,6$

t = 1 h thì $k_{c,m} = 0,74$ và $a_z = 12,7$

t = 1,5 h thì $k_{c,m} = 0,63$ và $a_z = 20,9$

t = thì $k_{c,m} = 0,6$ và $a_z = 28,7$

t = 3 h thì $k_{c,m} = 0,44$ và $a_z = 42,6$

t = 4 h thì $k_{c,m} = 0,4$ và $a_z = 53,1$

Bề rộng suy giảm:

$$b_{fi} = b - 2a_z = 300 - 2 \times 6,6 = 274 \text{ mm}$$

Các trường hợp khác được tính toán tương tự và trình bày trong Bảng 9.

Chiều cao vùng nén bê tông x:

$$x = \frac{A_s f_{sd,fi}}{0,8 b_{fi} f_{cd} k_{c,m}} = \frac{A_s \times k_s \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s}}{0,8 \times 274 \times 20 \times 0,91} = 119 \text{ mm}$$

Bảng 9. Xác định khả năng chịu moment M_x của tiết diện.

t(h)	k(φ)	a (mm)	b_{fi} (mm)	x (mm)	M_{u1} (kNm)	M_{u2} (kNm)	M_x (kNm)
0,5	0,91	30	286,8	119	171,2	183,5	354,2
1,0	0,74	30	274,6	124,2	138,3	149,2	287,5
1,5	0,63	30	258,2	132,2	116,6	127,1	243,7
2,0	0,6	30	242,6	140,7	109,9	121	230,9
3,0	0,44	30	214,8	158,9	78,8	88,7	167,5
4,0	0,4	30	193,8	176,1	70,03	80,6	150,6

Bảng 10. Xác định khả năng chịu moment M_y của tiết diện.

t(h)	k(φ)	a (mm)	b_{fi} (mm)	x (mm)	M_{u1} (kNm)	M_{u2} (kNm)	M_y (kNm)
0,5	0,91	30	286,8	119	87,8	100,1	187,9
1,0	0,74	30	274,6	124,3	70,5	81,4	151,9
1,5	0,63	30	258,8	132,2	58,9	69,3	128,2
2,0	0,6	30	242,6	140,7	54,9	66	120,9
3,0	0,44	30	214,8	158,9	38,4	48,4	86,8
4,0	0,4	30	193,8	176,1	33,4	44	77,4

Khả năng kháng uốn của tiết diện:

$$M_{u1} = A_{s1} f_{sd,fi}(\theta_m) z$$

$$M_{u2} = A_{s2} f_{sd,fi}(\theta_m) z'$$

$M_x = M_{u1} + M_{u2}$, kết quả được trình bày trong Bảng 9.

Tương tự cho mô men M_y được trình bày trong Bảng 10.

Kết luận: tiết diện cột đủ khả năng chịu mômen tại mốc thời gian 0,5 h nhưng không đủ khả năng chịu mômen ở các mốc 1 h, 1,5 h, 2 h, 3 h, 4 h.

4. Kết luận

Bài báo trình bày trình tự thiết kế và tính toán cụ thể để xác định khả năng chịu lực của cột BTCT khi cháy, mà trong các tiêu chuẩn cũng như quy chuẩn của Việt Nam chưa đề cập đến. Phương pháp tính toán đơn giản theo tiêu chuẩn Châu Âu có thể dùng để kiểm tra cột BTCT chịu tác động bởi đường gia nhiệt tiêu chuẩn.

Khi chiều dày lớp bê tông bảo vệ tăng lên thì khả năng chịu lửa cũng tăng lên. Vì vậy việc chọn lớp bê tông bảo vệ cho cột là khá quan trọng để cân đối giữa khả năng chịu lực ở nhiệt độ thường và khả năng kháng cháy.

Tài liệu tham khảo

- [1] QCVN 06:2010/BXD, "Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình". Hà nội. 2010.
- [2] TCVN 5574:2018, "Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép". Hà nội. 2018.
- [3] Thắng, N. T., Ninh, N. T., "Biểu đồ tương tác của cột bê tông cốt thép ở nhiệt độ cao theo tiêu chuẩn Châu Âu EC2", *Tạp chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng – Đại học Xây dựng*, 10(2):55-61, 2016.
- [4] Thắng, N. T., "Ảnh hưởng của sự bố trí cốt thép dọc tới khả năng chịu lực của bê tông cốt thép tại nhiệt độ cao", *Tạp chí xây dựng*, No. 56, Vol. 5, pp. 141-144, 2017.
- [5] Đồng, P. T., "Thiết kế sàn bê tông cốt thép chịu lửa theo tiêu chuẩn EN 1992-1-2". Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Xây dựng. Hà nội, 2018.
- [6] EN 1992-1-2 (2004), Eurocode 2: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1-2: General rules – Structural fire Design.