

KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ ĐẶC TRƯNG HÌNH HỌC ĐẾN KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA CỘT LIÊN HỢP THÉP BỌC BÊ TÔNG MỘT PHẦN TRONG ĐIỀU KIỆN CHÁY THEO TIÊU CHUẨN CHÂU ÂU EUROCODE 4

INVESTIGATION THE INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS ON THE BEARING CAPACITY OF PARTIALLY ENCASED COMPOSITE COLUMNS IN FIRE CONDITION ACCORDING TO EUROCODE 4

Chu Thị Hoàng Anh¹, Trương Quang Vinh²

¹Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

²Trường Đại học Phòng cháy chữa cháy

Email: ¹ anhcth@hau.edu.vn, ² tqvinhduy@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses1-11>

TÓM TẮT: Bài báo giới thiệu cách xác định khả năng chịu lực của cột liên hợp thép- bê tông trong điều kiện cháy theo tiêu chuẩn Eurocode 4 (EC4). Các ví dụ tính toán đối với cột liên hợp thép bọc bê tông một phần được thực hiện nhằm khảo sát ảnh hưởng của các tham số hình học như chiều dài cột, bề dày lớp bảo vệ thanh cốt thép đến khả năng chịu lực của cột liên hợp thép bọc bê tông một phần trong điều kiện cháy.

TỪ KHÓA: cột liên hợp thép - bê tông; khả năng chống cháy; phương pháp đơn giản hóa; tiêu chuẩn châu Âu.

ABSTRACT: In this article the method to determine the bearing capacity of composite steel-concrete columns in fire conditions according to Eurocode 4 (EC4) was introduced. Some work examples are presented to clarify the influence of geometric parameters (effective length, axis distance of reinforcement bar) on the bearing capacity of partially encased composite columns in fire condition.

KEYWORDS: composite steel-concrete column; fire resistance; simplified method; european standard.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kết cấu liên hợp thép - bê tông là loại kết cấu sử dụng thép kết cấu kết hợp với bê tông hoặc bê tông cốt thép để chúng cùng tham gia chịu lực. Kết cấu thép không bọc chống cháy có khả năng chịu lửa rất thấp (không quá 15 phút chịu lửa) nên khi dùng kết cấu liên hợp thép - bê tông ngoài việc làm tăng khả năng chịu lực, tăng khả năng ổn định còn nâng cao tính chịu lửa của công trình. Như vậy, kết cấu liên hợp thép - bê tông có ưu điểm về mặt chịu lực so với kết cấu bê tông cốt thép và có ưu điểm về khả năng chống cháy so với kết cấu thép.

Xác định khả năng chịu lực của kết cấu liên hợp thép - bê tông trong điều kiện thường nói chung và trong điều kiện cháy nói riêng là một bài toán cấp thiết phục vụ nhu cầu nghiên cứu sử dụng kết cấu liên hợp trong xây dựng. Việt Nam chưa có tiêu chuẩn thiết kế kết cấu trong điều kiện cháy. Bài báo này dùng tiêu chuẩn châu Âu EN 1994-1-2 (2005) [3] để tính toán khả năng chịu lực của cột liên hợp thép-bê tông trong điều kiện cháy.

Trong tiêu chuẩn EC 4 [3], quy trình tính toán cấu kiện liên hợp trong điều kiện cháy nói chung và cột liên hợp chịu lửa nói riêng được thực hiện theo một trong các phương pháp sau:

- Dựa theo bảng dữ liệu được lập cho các loại cấu kiện cụ thể (*phương pháp tra bảng*).

- Dùng các mô hình tính toán đơn giản cho các loại cấu kiện cụ thể (*phương pháp đơn giản hóa*).

- Dùng các mô hình tính toán nâng cao để mô phỏng ứng xử của kết cấu (*phương pháp nâng cao*).

Phương pháp tra bảng nhanh chóng nhưng chỉ có thể sử dụng cho một số tiết diện và vật liệu nhất định. Phương pháp đơn giản hóa có thể xác định và kiểm tra khả năng chịu lực cho các cấu kiện cột độc lập, có thể sử dụng cho các bài toán kiểm tra tại một thời điểm cháy nhất định. Phương pháp nâng cao cần nhiều bước thiết lập bài toán, mô hình nhưng có thể phân tích kết cấu làm việc trong điều kiện cháy một cách tổng thể, với nhiều tình huống cháy khác nhau. Phương pháp nâng cao không chỉ tính toán kiểm tra khả năng chịu lực của cột liên hợp mà còn

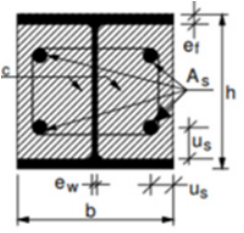
có thể phân tích biến đổi nhiệt của kết cấu. Vì vậy chúng ta có thể dùng để thiết kế, kiểm tra cột liên hợp trước và sau đám cháy.

Trong phạm vi bài báo này, các tác giả giới thiệu ba phương pháp và sử dụng phương pháp đơn giản hóa để tính toán khả năng chịu lực dọc của một số cột liên hợp thép bọc bê tông một phần với các chiều dài khác nhau, khoảng cách trục thanh cốt thép đến mép bê tông - lớp bảo vệ bê tông khác nhau ở một số mốc thời gian của đám cháy sau 30, 60, 90 và 120 phút. Từ đó đánh giá ảnh hưởng của các tham số hình học trên đến khả năng chịu lực dọc của cột trong điều kiện cháy.

2. XÁC ĐỊNH KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA CỘT LIÊN HỢP THÉP VÀ BÊ TÔNG TRONG ĐIỀU KIỆN CHÁY

2.1. Phương pháp tra bảng

Eurocode 4 1994-1-2 [3] giới hạn việc sử dụng dữ liệu dạng bảng chỉ cho một vài trường hợp có dữ liệu trong bảng, trong điều kiện tiếp xúc với lửa tiêu chuẩn và chỉ dành cho khung có giằng. Giá định

		Giới hạn chịu lửa danh định			
		R30	R60	R90	R120
	Tỉ số bề dày nhỏ nhất e_w/e_r	0,5	0,5	0,5	0,5
1	$\eta_{fi,t} < 0,28$				
1.1	Kích thước nhỏ nhất của cột h, b [mm]	160	200	300	400
1.2	Khoảng cách cốt thép nhỏ nhất u_s [mm]		50	50	70
1.3	Hàm lượng cốt thép nhỏ nhất % $A_s/(A_c+A_s)$		4	3	4
2	$\eta_{fi,t} < 0,47$				
2.1	Kích thước nhỏ nhất của cột h, b [mm]	160	300	400	
2.2	Khoảng cách cốt thép nhỏ nhất u_s [mm]		50	70	
2.3	Hàm lượng cốt thép nhỏ nhất % $A_s/(A_c+A_s)$		4	4	
3	$\eta_{fi,t} < 0,66$				
3.1	Kích thước nhỏ nhất của cột h, b [mm]	160	400		
3.2	Khoảng cách cốt thép nhỏ nhất u_s [mm]	40	70		
3.3	Hàm lượng cốt thép nhỏ nhất % $A_s/(A_c+A_s)$	1	4		

Hình 1. Ví dụ bảng tra trong tiêu chuẩn châu Âu [3]

rằng tải trọng tác dụng và các điều kiện biên không thay đổi trong quá trình cháy, mặc dù các chênh lệch nhiệt độ trong mặt cắt ngang cấu kiện có thể thay đổi. Sự chênh lệch nhiệt dọc trục hoặc giãn nở nhiệt được bỏ qua.

Tất cả các thông số trong các bảng đều có thể tính nội suy tuyến tính.

$$\text{Yêu cầu kiểm tra: } E_{fi,d,t} \leq R_{fi,d,t} = \eta_{fi,t} R_d \quad (1)$$

Hệ số tải trọng cho thiết kế chịu lửa là tỷ lệ giữa tác động thiết kế khi chịu lửa và khả năng chịu lực thiết kế

$$\eta_{fi,t} = \frac{E_{fi,d,t}}{R_d} \leq 1 \quad (2)$$

Trong đó $E_{fi,d,t}$ là hệ quả (nội lực) thiết kế của các tác động trong tình huống cháy, tại thời điểm t; R_d là khả năng chịu lực thiết kế khi tính ở nhiệt độ bình thường.

2.2. Phương pháp tính toán đơn giản

Phương pháp tính toán đơn giản áp dụng cho cấu kiện kết cấu cột liên hợp là thép định hình, thép tổ hợp hàn dạng chữ H được bọc bê tông một phần hoặc toàn bộ, hoặc thép ống được nhồi đầy bê tông hoặc bê tông cốt thép.

Ứng dụng của mô hình tính toán đơn giản được giới hạn trong phạm vi: tính cấu kiện riêng lẻ, cấu kiện được coi là tiếp xúc trực tiếp với lửa trên toàn bộ chiều dài của chúng. Tác động nhiệt xảy ra phù hợp với với đường cong nhiệt độ - thời gian của đám cháy tiêu chuẩn theo ISO 834 [5], và sự phân bố nhiệt độ được giả định là giống nhau dọc chiều dài của các cấu kiện.

Các mô hình tính toán đơn giản hoá được mô tả sau đây sẽ chỉ được sử dụng cho các cột trong khung có giằng, và độ mảnh tương đối quy ước của cột không vượt quá 2.

Bước 1: Kiểm tra điều kiện sử dụng của phương pháp.

Bước 2: Xác định nhiệt độ trong các thành phần thép và bê tông.

Nhiệt độ trung bình của bản cánh dựa vào các tham số $\theta_{0,t}$, k_t lấy theo bảng G.1 phụ lục G EN 1994-1-2 [3] và hệ số tiết diện A_m/V . Nhiệt độ trung bình của bê tông lấy theo bảng G.4 phụ lục G [3].

Bước 3: Xác định các hệ số giảm của đặc trưng cơ học.

Hệ số giảm đối với khả năng chịu lực dọc phần bản cánh lấy theo Bảng 3.2; của bê tông lấy theo Bảng 3.3 [3] phụ thuộc nhiệt độ. Đối với bản bụng hệ số giảm xác định theo phụ lục G.3 [3] phụ thuộc vào thời gian cháy. Đối với thành phần cốt thép hệ

số giảm cần xác định theo bảng G.5, G.6 phụ thuộc vào giá trị của lớp bảo vệ u.

Hệ số giảm đối với độ cứng xác định theo bảng G.7 phụ lục G.6 [3].

Bước 4: Xác định Khả năng chịu lực và độ cứng của tiết diện:

Mặt cắt của cột liên hợp có thể được chia thành nhiều phần khác nhau. Chúng được ký hiệu là “a” cho tiết diện thép, “s” cho các thanh cốt thép và “c” cho bê tông.

Giá trị thiết kế của khả năng chịu nén dọc trục trạng thái chảy dẻo của tiết diện trong tình huống cháy xác định như sau:

$$N_{fi,pl,Rd} = \sum_j (A_{a,\theta} f_{ay,\theta}) / \gamma_{M,fi,a} + \sum_k (A_{s,\theta} f_{sy,\theta}) / \gamma_{M,fi,s} + \sum_m (A_{c,\theta} f_{c,\theta}) / \gamma_{M,fi,c} \quad (3)$$

trong đó: $A_{i,\theta}$ là diện tích tiết diện mỗi thành phần ($i = a$ hoặc c hoặc s tương ứng phần thép, bê tông và cốt thép), có thể bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ;

$f_{ay,\theta}$, $f_{sy,\theta}$ là cường độ chảy của vật liệu tiết diện thép, cốt thép, ảnh hưởng bởi nhiệt độ;

$f_{c,\theta}$ là cường độ chịu nén của mẫu trụ vật liệu bê tông, ảnh hưởng bởi nhiệt độ;

$\gamma_{M,fi,i}$ là hệ số riêng của vật liệu mỗi thành phần, đối với tình huống cháy.

Trong các mô hình tính toán đơn giản, giá trị thiết kế trong tình huống cháy, khả năng chịu lực của cột liên hợp chịu nén dọc trục (buckling load) được xác định:

$$N_{fi,Rd} = \chi N_{fi,pl,Rd} \quad (4)$$

trong đó: χ là hệ số giảm đối với đường cong vênh c của cột theo 6.3.1. của EN 1993-1-1 [1] và phụ thuộc vào độ mảnh tương đối $\bar{\lambda}_0$.

Độ cứng chống uốn hữu hiệu được tính như sau:

$$(EI)_{fi,eff} = \sum_j (\varphi_{a,\theta} E_{a,\theta} I_{a,\theta}) + \sum_k (\varphi_{s,\theta} E_{s,\theta} I_{s,\theta}) + \sum_m (\varphi_{c,\theta} E_{c,sec,\theta} I_{c,\theta}) \quad (5)$$

trong đó: $I_{i,\theta}$ là mô men bậc hai (mô men quán tính) của tiết diện giảm của mỗi thành phần khi uốn quanh trục phụ hoặc chính;

$\varphi_{i,\theta}$ là hệ số giảm phụ thuộc vào ảnh hưởng của ứng suất nhiệt; một phương pháp được đưa ra trong G.6 của Phụ lục G [3], để đánh giá hệ số giảm của tiết diện thép hình bọc một phần bê tông;

$E_{c,sec,\theta}$ là giá trị đặc trưng cho mô đun cứng của bê tông trong tình huống cháy, được cho bởi $f_{c,\theta}$ chia cho $\epsilon_{cu,0}$ (xem Mô hình toán học cho mối quan hệ ứng suất-biến dạng của bê tông chịu nén ở nhiệt độ

cao Hình 3.2. EN 1994-1-2 [3]).

Tải trọng tới hạn Euler hay tải trọng tới hạn đàn hồi được xác định như sau:

$$N_{fi,cr} = \pi^2 (EI)_{fi,eff} / l_\theta^2 \quad (6)$$

trong đó $l_{i,\theta}$ chiều dài tính toán của cột trong tình huống cháy (chiều dài mất ổn định).

Độ mảnh quy ước xác định như sau:

$$\bar{\lambda}_\theta = \sqrt{N_{fi,pl,R} / N_{fi,cr}} \quad (7)$$

với $N_{fi,pl,R}$ là giá trị của $N_{fi,pl,Rd}$ khi các hệ số riêng $\gamma_{M,fi,i}$ đều lấy giá trị bằng 1.

Tra theo đường cong mất ổn định (theo Bảng 6.5 [2]) xác định hệ số khiếm khuyết α (Bảng 6.1 EN 1993-1-1 [1]) và xác định hệ số ϕ :

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda}_\theta - 0,2) + \bar{\lambda}_\theta^2 \right] \quad (8)$$

Từ đó xác định được hệ số suy giảm χ phụ thuộc độ mảnh $\bar{\lambda}_\theta$ và hệ số ϕ .

2.3. Phương pháp tính toán tiên tiến

Các phương pháp tính toán tiên tiến cung cấp các dự đoán gần thực tế hơn về ứng xử của kết cấu trong điều kiện cháy. Điều này đạt được bằng cách sử dụng các mô hình tính có kể đến biến dạng do nhiệt, sự thay đổi tính chất cơ học của vật liệu khi thay đổi nhiệt độ, tính phi tuyến của vật liệu, tính phi tuyến hình học, ứng suất dư trong thép hình ... Mô hình tính toán tiên tiến được dùng để nghiên cứu hoặc thiết kế đòi hỏi độ chính xác cao và thường cần sự trợ giúp của các phần mềm phân tử hữu hạn.

Cần lưu ý rằng mặc dù các phương pháp tính dựa trên máy tính này tạo ra dự đoán tốt, chúng cũng mang tính gần đúng, vì vậy cần phải cẩn thận để đảm bảo rằng các dạng phân tích được thực hiện với các công cụ phù hợp. So với phương pháp tra bảng và các mô hình tính toán đơn giản, các mô hình tính toán nâng cao cung cấp mô hình gần đúng của ứng xử kết cấu thực tế trong điều kiện cháy chính xác hơn. Một số phần mềm phân tích cơ học nói chung có thể ứng dụng để phân tích kết cấu trong điều kiện chịu lửa như ABAQUS (Germany), VULCAN (UK), SISMEF (France) và SAFIR (Belgium) [4].

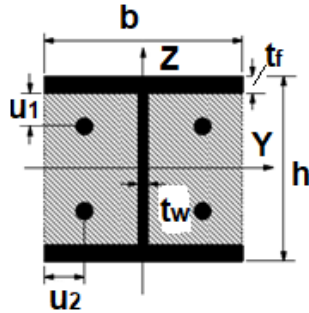
3. KHẢO SÁT SỐ

Trong bài báo này các tác giả đưa ra ví dụ tính toán sử dụng phương pháp đơn giản hóa cho một tiết diện cột liên hợp thép bọc bê tông một phần, với những chiều cao cột và chiều dày lớp bê tông bảo vệ thanh cốt thép bên trong khác nhau.

3.1. Thiết lập bài toán

Tính toán khả năng chịu lực dọc của cột liên hợp có cấu tạo bằng thép được bọc bê tông một phần

như Hình 2. Cột được xem xét nằm ở tầng trệt của một tòa nhà văn phòng 6 tầng. Tiết diện cột được cấu tạo từ thép HEA320 và thanh cốt thép đường kính 28mm bọc bê tông. Cột được xem xét tính toán với các chiều cao 2,7m; 3m; 3,3m; 3,6m; 3,9m và 4,2m và chiều dày bê tông bảo vệ $u_1 = u_2 = 45, 50, 55, 60, 65$ và 70mm tại các thời điểm 30, 60, 90 và 120 phút.



Hình 2. Mặt cắt ngang của cột

Các thông số đầu vào như sau:

Cột: tiết diện HEA320, mác thép S460.

Cốt thép: 4 thanh, đường kính $d_s = 28$ mm, mác thép S500.

Bê tông: mác C30/37, diện tích tiết diện phần bê tông $A_c = b \times h - A_a - A_s = 78100 \text{mm}^2$.

Các hệ số an toàn riêng $\gamma_{M,fi,a} = \gamma_{M,fi,c} = \gamma_{M,fi,s} = 1$.

Tải trọng lên cột $N_{fi,Ed} = 1727,5 \text{kN}$.

Khả năng chịu lực của cột ở điều kiện thường:

$$N_{pl,Rd} = \sum_j (A_{a,ay}) / \gamma_{M,a} + \sum_k (A_{s,sy}) / \gamma_{M,s} + \sum_m (A_{c,c}) / \gamma_{M,c}$$

$$= 9295524,1 \text{N} = 9295,5 \text{kN}$$

3.2. Xác định phạm vi sử dụng (điều kiện sử dụng)

- Chiều dài tính toán của cột:

$$l_{\theta_y} = l_{\theta_z} = 0,7 \times (2,7 \rightarrow 4,2) = 1,89 \rightarrow 2,94 \text{m},$$

$$\leq 13,5b = 13,5 \times 0,26 = 3,51 \text{m}. \text{ Thỏa mãn!}$$

- Kích thước tiết diện:

$$230 \text{mm} \leq h = 310 \text{mm} \leq 1100 \text{mm}. \text{ Thỏa mãn!}$$

$$230 \text{mm} \leq b = 300 \text{mm} \leq 500 \text{mm}. \text{ Thỏa mãn!}$$

- Hàm lượng cốt thép:

$$1\% \leq A_s / (A_c + A_s) = 2463 / (78100 + 2463) \times 100\% = 3,06\% \leq 6\%$$

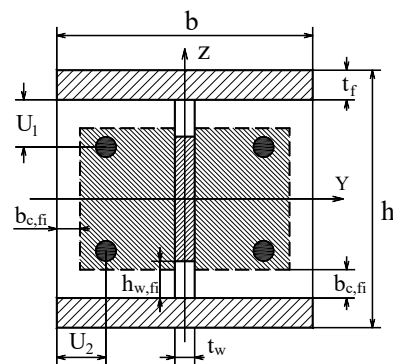
Thỏa mãn!

- Điều kiện $230 \text{mm} \leq b = 300 \text{mm}$ thỏa mãn nên cần kiểm tra

$$l_{\theta_y} = l_{\theta_z} = 1,89 \rightarrow 2,94 \leq 10b = 10 \times 0,3 = 3 \text{m}.$$

Thỏa mãn!

Vậy có thể dùng phương pháp đơn giản cho bài toán này.



Hình 3. Tiết diện suy giảm tính toán khả năng chống cháy

Sử dụng phương pháp đơn giản đã trình bày, nghiên cứu này đã xây dựng chương trình tính giá trị lực dọc giới hạn cho cột ở thời điểm cháy bất kỳ, sử dụng phần mềm excel. Kết quả các bước tính toán được thể hiện trong bảng ví dụ với cột cao 3m, lớp bảo vệ $u_1 = u_2 = 50$ mm như Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả các bước tính toán khả năng chịu lực của cột chịu nén sau các khoảng thời gian cháy R (phút) của cột cao 3m

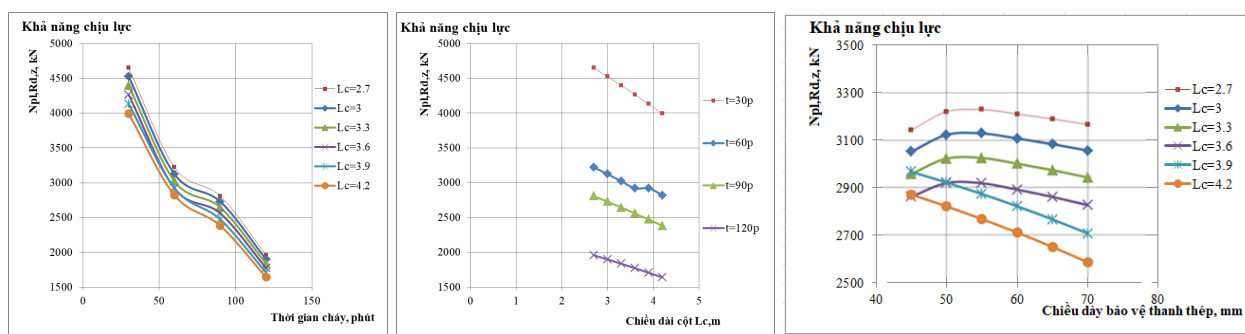
Thành phần	Nội dung	Kí hiệu	R30	R60	R90	R120	
Trục z	Bản cánh	Nhiệt độ trung bình của bản cánh	θ_{fi} (°)	676,6	805,3	885,7	961,0
		Hệ số suy giảm theo nhiệt độ	$k_{y,0}$	0,286	0,107	0,067	0,048
			$k_{E,0}$				
	Lực dọc giới hạn	$N_{fi,pl,Rd,f}$ (kN)	1224,3	459,3	287,3	204,5	
	Độ cứng hiệu dụng	$(EI)_{fi,f,z}$ (kN.cm ²)	2,5E+7	1,3E+7	1,0E+7	7,9E+6	
Bản bụng	Chiều cao hiệu dụng của bản bụng (Hình 3)	$h_{w,fi}$ (mm)	13,2	31,2	47,8	56,4	
	Lực dọc giới hạn	$N_{fi,pl,Rd,w}$ (kN)	946,4	696	499,3	409,9	
	Độ cứng hiệu dụng	$(EI)_{fi,w,z}$ (kN.cm ²)	32218,5	27619,8	23401,4	21202,4	

Thành phần	Nội dung	Kí hiệu	R30	R60	R90	R120
Bê tông	Hệ số tiết diện	A_m/V (m ⁻¹)	0,01312	0,01312	0,01312	0,01312
	Nhiệt độ trung bình	$\theta_{c,t}$ (°)	550	680	805	900
	Hệ số suy giảm theo nhiệt độ	$k_{c,\theta}$	0,935	0,816	0,748	0,662
		$\epsilon_{cu,\theta}$	0,006	0,008	0,010	0,013
	Lực dọc giới hạn	$N_{fi,pl,Rd,c}$ (kN)	1791,2	1315,8	1063,6	915,9
	Độ cứng hiệu dụng	$(EI)_{fi,c,z}$ (kN.cm ²)	2,58E+7	1,13E+7	6,38E+6	4,15E+6
Cốt thép	Lớp bảo vệ	u (mm)	50	50	50	50
	Các hệ số suy giảm	k_{yt}	1	0,976	1,074	0,574
		$k_{E,t}$	0,888	0,689	0,813	0,389
	Lực dọc giới hạn	$N_{fi,pl,Rd,s}$ (kN)	1231,5	1201,9	1322,6	706,9
Độ cứng hiệu dụng	$(EI)_{fi,s,z}$ (kN.cm ²)	6,92E+7	5,37E+7	6,34E+7	3,03E+7	
Tiết diện	Lực dọc giới hạn	$N_{fi,pl,Rd}$ (kN)	5193,4	3173,1	3172,8	2237,1
	Độ cứng hiệu dụng	$(EI)_{fi,e,z}$ (kN.cm ²)	1,15E+8	6,91E+7	6,41E+7	4,15E+7
	Lực tới hạn Euler	$N_{fi,cr,z}$ (kN)	25814,9	15507,6	14384,6	9319,7
	Độ mảnh quy ước	$\bar{\lambda}_{\theta,z}$	0,449	0,487	0,470	0,490
	Hệ số suy giảm	χ_z	0,871	0,850	0,860	0,849
	Khả năng chịu lực tới hạn	$N_{fi,Rd,z}$ (kN)	4525,2	3123,6	2728,0	1898,4
	Khả năng chịu lực ở điều kiện thường	$N_{pl,Rd}$ (kN)	9252,5	9252,5	9252,5	9252,5

Bảng 2. Khả năng chịu lực của cột sau thời gian cháy

Thời gian cháy (phút)	Chiều dài cột Lc (m)	$u_1=u_2=45\text{mm}$		$u_1=u_2=50\text{mm}$		$u_1=u_2=55\text{mm}$		$u_1=u_2=60\text{mm}$		$u_1=u_2=65\text{mm}$		$u_1=u_2=70\text{mm}$	
		$N_{fi,Rd,y}$ (kN)	$N_{fi,Rd,z}$ (kN)	$N_{fi,Rd,y}$ (kN)	$N_{fi,Rd,z}$ (kN)	$N_{fi,Rd,y}$ (kN)	$N_{fi,Rd,z}$ (kN)	$N_{fi,Rd,y}$ (kN)	$N_{fi,Rd,z}$ (kN)	$N_{fi,Rd,y}$ (kN)	$N_{fi,Rd,z}$ (kN)	$N_{fi,Rd,y}$ (kN)	$N_{fi,Rd,z}$ (kN)
30	2,7	4840,0	4542,2	4831,2	4650,0	4821,9	4497,9	4812,1	4599,0	4801,4	4445,6	4791,1	4538,8
	3	4740,3	4402,2	4730,3	4525,2	4719,8	4351,5	4708,8	4467,1	4696,7	4291,5	4685,2	4398,3
	3,3	4639,0	4258,0	4627,9	4397,2	4616,1	4200,6	4603,7	4331,5	4590,6	4293,8	4577,2	4253,6
	3,6	4536,2	4298,8	4523,5	4265,7	4510,8	4231,5	4496,6	4192,0	4482,0	4149,7	4467,0	4104,6
	3,9	4430,9	4167,5	4416,8	4130,6	4402,8	4092,7	4387,1	4048,7	4370,9	4001,7	4354,3	3951,6
	4,2	4323,3	4032,8	4307,8	3992,2	4292,3	3950,3	4275,0	3901,9	4257,2	3850,2	4238,9	3795,0
60	2,7	3247,3	3143,4	3336,5	3221,4	3354,9	3230,3	3347,4	3211,7	3339,1	3190,6	3330,0	3166,7
	3	3170,0	3051,9	3254,7	3123,6	3271,3	3129,3	3262,8	3108,1	3253,3	3083,8	3243,0	3056,4
	3,3	3091,1	2957,8	3171,0	3023,0	3185,8	3025,3	3176,2	3001,2	3165,5	2973,7	3153,8	2942,6
	3,6	3010,3	2861,0	3085,3	2919,4	3098,1	2918,2	3087,4	2891,2	3075,4	2860,3	3062,4	2825,5
	3,9	3082,7	2966,7	3060,6	2921,4	3038,0	2872,8	3015,1	2820,8	2991,9	2765,0	2968,5	2705,3
	4,2	2998,2	2870,3	2973,8	2820,3	2948,9	2766,8	2923,6	2709,5	2898,0	2648,3	2872,2	2583,1
90	2,7	2876,6	2835,6	2861,6	2808,7	2846,2	2779,8	2830,4	2748,6	2814,2	2714,8	2797,8	2678,2
	3	2805,2	2758,6	2788,2	2728,0	2770,6	2695,0	2752,6	2659,2	2734,2	2620,5	2715,5	2578,5
	3,3	2732,2	2679,6	2713,0	2645,0	2693,2	2607,6	2672,9	2567,1	2652,1	2523,2	2630,9	2475,5
	3,6	2657,4	2598,4	2635,9	2559,7	2613,7	2517,7	2590,9	2472,2	2567,6	2423,0	2543,8	2369,6

Thời gian cháy (phút)	Chiều dài cột L_c (m)	$u_1=u_2=45\text{mm}$		$u_1=u_2=50\text{mm}$		$u_1=u_2=55\text{mm}$		$u_1=u_2=60\text{mm}$		$u_1=u_2=65\text{mm}$		$u_1=u_2=70\text{mm}$	
		$N_{fi,Rd,y}$ (kN)	$N_{fi,Rd,z}$ (kN)	$N_{fi,Rd,y}$ (kN)	$N_{fi,Rd,z}$ (kN)	$N_{fi,Rd,y}$ (kN)	$N_{fi,Rd,z}$ (kN)	$N_{fi,Rd,y}$ (kN)	$N_{fi,Rd,z}$ (kN)	$N_{fi,Rd,y}$ (kN)	$N_{fi,Rd,z}$ (kN)	$N_{fi,Rd,y}$ (kN)	$N_{fi,Rd,z}$ (kN)
	3,9	2580,6	2515,1	2556,7	2472,0	2532,0	2425,3	2506,7	2374,8	2480,8	2320,2	2454,3	2261,2
	4,2	2501,9	2429,6	2475,5	2382,1	2448,3	2330,8	2420,4	2275,4	2391,8	2215,6	2362,7	2151,4
120	2,7	2034,9	1976,9	2026,4	1958,5	2017,8	1938,8	2009,1	1917,7	2000,3	1895,2	1991,6	1871,1
	3	1985,4	1919,5	1975,8	1898,4	1966,0	1875,9	1956,1	1851,7	1946,2	1825,9	1936,2	1798,3
	3,3	1934,9	1860,5	1924,0	1836,6	1913,0	1811,0	1901,9	1783,7	1890,6	1754,3	1879,3	1723,0
	3,6	1883,1	1799,7	1871,0	1773,0	1858,6	1744,3	1846,1	1713,6	1833,5	1680,7	1820,9	1645,6
	3,9	1830,0	1737,3	1816,5	1707,6	1802,8	1675,7	1788,9	1641,7	1774,9	1605,3	1760,9	1566,6
	4,2	1775,6	1673,4	1760,7	1640,7	1745,6	1605,7	1730,3	1568,5	1714,8	1528,8	1699,3	1486,9



Hình 4. Quan hệ giữa lực dọc giới hạn và thời gian cháy R, chiều cao cột L_c (với lớp bảo vệ $u=50\text{mm}$), chiều dày lớp bảo vệ u (thời gian cháy 60 phút)

Tính toán khảo sát với nhiều giá trị chiều cao cột và thời gian cháy (R30, R60,... tương ứng với thời gian cháy 30 phút, 60 phút...). Kết quả tính có thể lập dưới dạng bảng như Bảng 2 hoặc lập biểu đồ như Hình 4.

Các kết quả tính toán có thể dùng để kiểm tra khả năng chịu lực của cột tại một thời điểm cháy nhất định, hoặc dùng để chọn tiết diện thích hợp với yêu cầu thiết kế chịu lửa cần thiết.

Với giá trị trong bảng hoàn toàn có thể xây dựng biểu đồ quan hệ giữa khả năng chịu lực (lực dọc giới hạn) của cột sau một thời gian cháy nhất định, với chiều cao cột và với chiều dày lớp bảo vệ cốt thép như Hình 4.

Với một tiết diện cột liên hợp thép bê tông cho trước có thể thấy chiều dài cột càng lớn (độ mảnh càng lớn) thì khả năng chịu lực của cột càng giảm. Điều này cũng tương tự như ở cột trong điều kiện thông thường. Hiển nhiên thời gian cháy càng lâu thì khả năng chịu lực càng giảm đặc biệt là ở giai đoạn từ 30 đến 60 phút. Khi chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép tăng thì chỉ ở giai đoạn đầu khả năng chịu lực của cột chịu cháy tăng nhưng phần lớn giai đoạn khả năng chịu lực lại giảm - đặc biệt ở những cột có chiều cao lớn (độ mảnh lớn) thì sự giảm khả năng chịu lực càng rõ rệt. Điều này xảy ra là do khi

tăng chiều dày lớp bảo vệ cốt thép bên trong (nhưng không tăng tiết diện toàn bộ cột) thì hệ số suy giảm χ_z bị giảm dù giá trị thiết kế của khả năng chịu nén dọc trục $N_{fi,pl,Rd}$ thì tăng. Giai đoạn đầu giá trị $N_{fi,pl,Rd}$ tăng đáng kể so với sự giảm χ_z nhưng sau đó nó đạt tới hạn (tương ứng với việc hệ số suy giảm của cốt thép $k_{y,t}$ đạt giá trị giới hạn bằng 1. Vì vậy sau đó khả năng chịu lực của cột chịu cháy lại giảm đi.

Tương tự như trên chúng ta có thể tiến hành khảo sát với một số tiết diện cột liên hiệp bọc một phần bê tông với tiết diện thép hình hiện hành của Việt Nam.

Như vậy với chiều cao cột, tiết diện cột và yêu cầu thời gian chịu lửa cho trước có thể lựa chọn chiều dày bảo vệ thanh thép sao cho thuận tiện và hợp lý.

4. NHẬN XÉT VÀ KIẾN NGHỊ

Bài báo giới thiệu cách xác định khả năng chịu lực của cột liên hợp thép - bê tông trong điều kiện cháy theo phương pháp đơn giản hóa được đề cập trong tiêu chuẩn EC4 và khảo sát ảnh hưởng của chiều dài (độ mảnh cột), chiều dày lớp bê tông bảo vệ thanh cốt thép cũng như thời gian cháy đến lực dọc giới hạn của tiết diện cột. Từ đó có thể kiểm tra khả năng chịu lực của cột tại một thời điểm cháy

nhất định. Đồng thời cũng có thể chọn lựa tiết diện và vị trí đặt thanh cốt thép thích hợp với yêu cầu thiết kế chịu lửa nhất định.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] EN 1993-1-1, “Design of steel structures”, in *Part 1-1: General rules and rules for buildings*, European committee for Standardization, 2005
- [2] EN 1994-1-1, “Design of composite steel and concrete structures”, in *Part 1-1: General rules and rules for buildings*, European committee for standardizations, 2004.
- [3] EN 1994-1-2, “Design of composite steel and concrete structures”, in *Part 1-2: General rules-structural fire design*, *European committee for Standardization*, 2005.
- [4] Franssen J.M., “SAFIR. A Thermal/Structural Program Modelling Structures under Fire”, *Engineering Journal*, A.I.S.C., Vol 42. (3), 2005.
- [5] ISO 834-1:1999. *Fire-resistance tests - Elements of building construction - Part 1: General requirements*.