

Phân tích khả năng chịu tải của cột bê tông cốt thép trong các điều kiện cháy khác nhau

Load-carrying capacity analysis of reinforced concrete columns exposed to different fire conditions

> LÊ HUY CHƯƠNG^{1,2}, CAO VĂN VUI^{*1,2}

¹Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM,

²Đại học Quốc gia TP.HCM,

* Corresponding author's Email: cvvui@hcmut.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu về khả năng chịu tải của cột bê tông cốt thép (BTCT) trong các điều kiện cháy (số mặt bị cháy) khác nhau. Để đạt được kết quả này, cột BTCT có tiết diện 300×300 mm bị cháy với nhiệt độ cháy theo tiêu chuẩn ISO 834 được phân tích bằng phương pháp mô phỏng. Quá trình phân tích được thực hiện bằng phần mềm SAFIR. Kết quả phân tích nhiệt được sử dụng để phân tích khả năng chịu lực dọc trục của cột theo mô hình phân lớp. Kết quả phân tích cho thấy rằng thời gian cháy làm giảm đáng kể khả năng chịu lực dọc của cột. Ngoài ra, điều kiện cháy đã làm giảm khả năng chịu lực của cột ở các mức độ khác nhau. Cụ thể, cột có bốn mặt bị cháy có độ giảm khả năng chịu lực lớn nhất. Giá trị độ giảm này lần lượt là 3%, 9%, 16% và 22% ứng với thời gian cháy 15, 30, 45 và 60 phút.

Từ khóa: Cột bê tông cốt thép; thời gian cháy; điều kiện cháy; lửa

ABSTRACT:

This paper presents research results on load-carrying capacity of reinforced concrete columns under different fire conditions (number of surfaces exposed to fire). To achieve this aim, reinforced concrete columns with a cross section of 300×300 mm exposed to ISO 834 fire were simulated. The thermo simulations were performed using SAFIR software. The results of thermal analyses were used to analyze the axial load-carrying capacity of the columns using fiber model. The analysis results show that the fire duration significantly reduces the axial load-carrying capacity of columns. In addition, fire conditions reduce the load-carrying capacity of columns to different extents. Specifically, columns with four-side exposure have the largest reduction in load-carrying capacity. These reduction values are 3%, 9%, 16% and 22% for the fire durations of 15, 30, 45 and 60 min, respectively.

Keywords: Reinforced concrete column; fire; fire duration; fire condition

1 GIỚI THIỆU

Bê tông cốt thép (BTCT) là loại vật liệu được sử dụng rộng rãi trong các công trình xây dựng do có nhiều ưu điểm so với các loại vật liệu khác như cách âm, cách nhiệt, chịu lửa, v.v. Trong kết cấu công trình, cột là cấu kiện chịu lực chính. Khi xảy ra hỏa hoạn, cột chịu ảnh hưởng trực tiếp của lửa, các tính chất cơ lý của bê tông và thép bị thay đổi dẫn đến khả năng chịu lực của cột bị giảm đáng kể. Vì vậy, việc đánh giá khả năng chịu lực của cột sau cháy trở nên rất cần thiết.

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu về ứng xử của cột BTCT khi bị cháy đã được thực hiện. Năm 2000, Khoury [1] đã nghiên cứu sự tác động của lửa lên vật liệu bê tông và kết cấu bê tông. Trong quá trình gia nhiệt, hỗn hợp vật liệu bê tông xảy ra các biến đổi hoá lý phức tạp, từ đó dẫn đến sự suy giảm tính chất cơ học của bê tông. Nhìn chung, tất cả bê tông gốc xi măng Portland đều mất khả năng chịu tải khi ở nhiệt độ từ 550 - 600°C. Khi nhiệt độ dưới 500°C, sự suy giảm tính chất cơ học này có thể được cải thiện nhờ việc sử dụng các loại cốt liệu ít bị giãn nở dưới tác dụng của nhiệt độ cao và xi măng với một tỷ lệ CaO/SiO thích hợp. Ngoài ra, hiện tượng bê tông bị vỡ ra dưới tác dụng của nhiệt độ cao được giảm một cách đáng kể đối với các loại bê tông chống thấm. Các loại bê tông có tính chống thấm kém, hiện tượng trên có thể được hạn chế nhờ thêm sợi polypropylene vào thành phần cấp phối bê tông và sử dụng lớp phủ chắn nhiệt để bảo vệ bề mặt bê tông dưới sự tác dụng trực tiếp của nhiệt độ. Năm 2006, Kodur và cộng sự [2] đã tiến hành một nghiên cứu thực nghiệm để đánh giá ứng xử của cột BTCT gia cường FRP và vật liệu cách nhiệt. Chương trình thí nghiệm được tiến hành trên 5 mẫu cột. Trong đó, một cột tròn với đường kính 355 mm với cốt thép dọc là 6ø20 và không gia cường; hai cột tròn có đường kính 406 mm với cốt thép dọc là 8ø20 và được gia cường thêm FRP và vật liệu cách nhiệt; một cột vuông với tiết diện là 406×406 mm với cốt thép dọc là 8ø20 không gia cường; một cột vuông với kích thước là 406×406 mm với cốt thép dọc là 4ø25 có gia cường FRP và vật liệu cách nhiệt. Năm mẫu cột này đều có chiều cao là 3810 mm. Kết quả thí nghiệm cho thấy, việc gia cường FRP giúp cột tăng khả năng chịu tải so với cột không gia cường. Ngoài ra, việc sử dụng vật liệu cách nhiệt giúp cột chịu được nhiệt độ cao với thời gian cháy hơn 4 giờ. Một năm sau đó, Wu và cộng sự [3] đã mô phỏng để nghiên cứu về khả năng kháng cháy của 960 cột BTCT, trong đó 480 cột sử dụng bê tông cường độ thường (normal strength concrete - NSC) và 480 cột còn lại sử dụng bê tông cường độ cao (high strength concrete - HSC).

Bốn mặt của cột được mô phỏng tiếp xúc với lửa, nhiệt độ cháy tuân theo đường cong lửa trong tiêu chuẩn ISO 834 [4]. Phương pháp sai phân hữu hạn được sử dụng để tính toán cho các nhiệt độ này. Nhiệt độ được tăng dần từ 0 đến 1400°C trong quá trình mô phỏng. Kết quả cho thấy rằng, kích thước mặt cắt ngang có ảnh hưởng đến khả năng kháng cháy của các cột bê tông. Tỷ lệ kháng cháy của cột NSC và HSC tăng theo tỷ lệ tải trọng dọc trục. Tuy nhiên, kết quả cho thấy rằng khi tăng tiết diện mặt cắt ngang của cột thì tỷ lệ kháng cháy chỉ giảm ít hoặc hầu như không thay đổi.

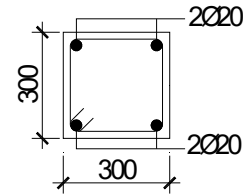
Tại Việt Nam, các nghiên cứu về ứng xử của kết cấu BTCT bị cháy còn rất hạn chế. Năm 2010, Trương Quang Vinh [5] đã nghiên cứu phương pháp tính toán về khả năng chịu lực của kết cấu thép - BTCT liên hợp trong điều kiện cháy theo tiêu chuẩn châu Âu và Canada. Nghiên cứu tập trung vào phương pháp tính toán khả năng chịu lực của kết cấu thép - BTCT liên hợp trong điều kiện cháy theo các chỉ dẫn trong tiêu chuẩn châu Âu và tiêu chuẩn Canada. Năm 2017, Nguyễn Trường Thắng [6] đã nghiên cứu phương pháp thông qua sự suy giảm về tính chất cơ học của bê tông và cốt thép, sự truyền nhiệt và phân bố nhiệt trên tiết diện ngang cũng như ứng xử của cột. Việc khảo sát ảnh hưởng của sự bố trí cốt thép dọc tới khả năng chịu lực của cột ở nhiệt độ cao cũng có thể được áp dụng phương pháp này để tiến hành tính toán. Cùng năm này, Nguyễn Trường Thắng [7] đã tiến hành phân tích khả năng kháng cháy của cột BTCT khi bị căn nhiệt dọc trục, đồng thời chịu lực dọc cùng với uốn theo một phương và mô men uốn theo 2 phương. Bài báo đã đưa ra kết luận lực dọc tương đối do căn nhiệt dọc trục trong cột lệch tâm xiên lớn hơn trong cột lệch tâm phẳng. Lực dọc tương đối phát sinh do căn giãn nở nhiệt dọc trục tỷ lệ với độ lệch tâm, độ cứng dọc trục giữa hệ căn và cột, và cường độ bê tông. Trong năm 2019, Ngô Tấn Sang và Cao Văn Vui [8] đã thực hiện một nghiên cứu thực nghiệm về ảnh hưởng của lửa đến bê tông và sự phá hoại của cột BTCT. Chương trình thí nghiệm của bài báo được thực hiện trên 30 mẫu cột BTCT có kích thước 150×150×3000 mm và được chia làm 5 nhóm. Các mẫu cột được chia thành 5 nhóm với số lượng mẫu bằng nhau và có thời gian cháy lần lượt là 0, 15, 30, 45, 60 và 75 phút. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng cột xuất hiện nhiều vết nứt li ti dưới tác dụng của lửa. Các mẫu cột BTCT bị cháy có màu hồng nhạt, trong khi đó bê tông không bị cháy có màu hơi xám. Khi các mẫu này bị nén cho phá hoại thì màu hồng nhạt càng thể hiện rõ hơn đối với bê tông bên trong. Ngoài ra, dưới tác dụng của tải trọng dọc trục, đối với các cột BTCT bị cháy thì dạng phá hoại của nó cũng thay đổi nhiều và phần bê tông bị bong tách xuất hiện nhiều hơn. So với mẫu BTCT không bị cháy thì lửa làm cho cột BTCT bị phá hoại dòn hơn.

Các nghiên cứu trên đã có chung mục tiêu là các cấu kiện BTCT sau cháy. Tuy nhiên, với các tham số và các hướng nghiên cứu đều rất khác, trong đó việc phân tích khả năng chịu lực của cột BTCT sau cháy chưa được chú ý kỹ, đặc biệt là ảnh hưởng của số mặt cháy theo thời gian cháy của cột BTCT. Bài báo này trình bày kết quả phân tích ảnh hưởng của các điều kiện cháy lên cột BTCT, nhằm xác định được sự suy giảm khả năng chịu lực của cột khi bị cháy. Để đạt được mục đích này, phần mềm SAFIR [9] được sử dụng để phân tích sự phân bố nhiệt trong cột BTCT trong quá trình bị cháy. Qua đó, tiến hành tính toán khả năng chịu lực của cột trước và trong khi cháy. Kết quả chi tiết được trình bày ở các mục tiếp theo.

2 CẤU TẠO CỘT BTCT 300×300 MM

Hình 1 trình bày cột BTCT với kích thước mặt cắt ngang 300×300 mm. Cốt thép dọc của cột bao gồm 4 thanh thép $\phi 20$ được bố trí theo chu vi của cột. Cột có chiều dày lớp bê tông bảo vệ là 30 mm

(tính đến mép của cốt thép dọc).



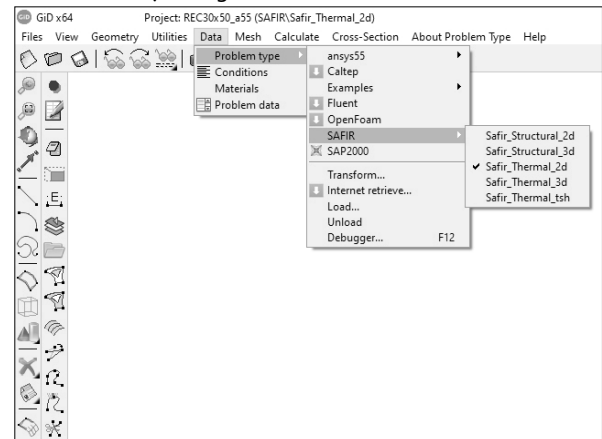
Hình 1. Cấu tạo cột BTCT 300×300 mm.

3 PHÂN TÍCH NHIỆT

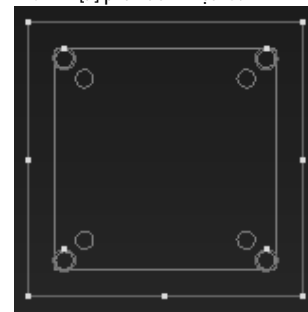
Trong bài báo này, phần mềm SAFIR [9] được sử dụng để phân tích cột BTCT bị cháy. SAFIR [9] là một chương trình máy tính có mục đích đặc biệt là để phân tích các kết cấu trong điều kiện nhiệt độ cao và môi trường xung quanh. Chương trình được dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn (FEM), có thể được sử dụng để nghiên cứu ứng xử của một, hai và ba chiều (3D) của một kết cấu. Chương trình SAFIR được phát triển bởi Đại học Liege - Vương quốc Bỉ và hiện nay được xem là thế hệ thứ hai của thuật toán về kết cấu chịu lửa đã được phát triển ở Đại học Liege. Ở thế hệ thứ nhất, SAFIR còn có tên gọi khác là Kỹ thuật máy tính về thiết kế chịu lửa của kết cấu composite và kết cấu thép (Computer Engineering of the Fire design of Composite and Steel Structures - CEFICOSS).

3.1 Trình tự mô phỏng bằng phần mềm SAFIR

Giao diện của phần mềm SAFIR [9] được trình bày ở Hình 2. Đối với phần mềm này, có nhiều loại mô phỏng được gợi ý sẵn, trong đó có Safir_thermal_2d, Safir_thermal_3d. Bài báo sử dụng Safir_Thermal_2d của SAFIR [9] để tiến hành mô phỏng 2D mặt cắt cột như đã nêu ở phần trước. Một số công cụ có sẵn trong phần mềm dùng để tạo các đối tượng hình học như đường thẳng, hình chữ nhật, hình tròn, v.v. Các đặc tính như vật liệu, điều kiện nhiệt độ, điều kiện biên khác nhau có thể được gán cho các đối tượng hình học sau khi khởi tạo xong.



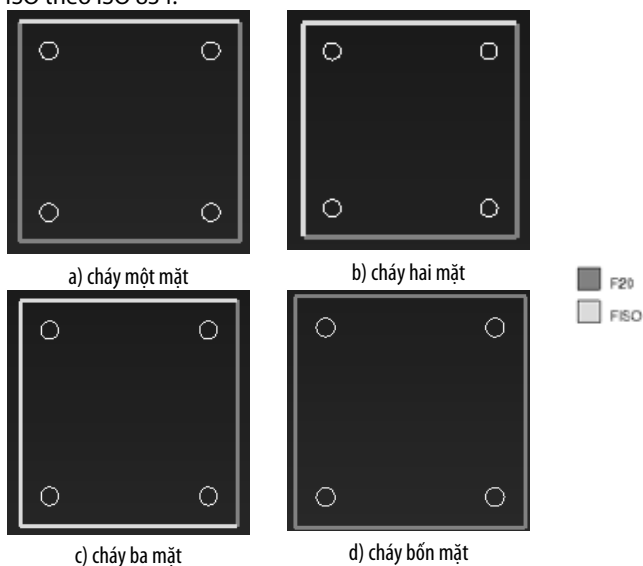
Hình 2. Chương trình SAFIR [9] phân tích nhiệt 2D.



Hình 3. Mặt cắt cột BTCT trong SAFIR [9].

Mặt cắt cột BTCT trong SAFIR [9] được thể hiện như trên Hình 3. Đường bao của mặt cắt tiết diện được thể hiện bằng các đường màu xanh phía ngoài. Bề mặt tiết diện - đường màu hồng được giới hạn bằng các đường màu xanh. Vì vậy, khi gán các điều kiện biên về nhiệt độ thì sử dụng đường màu xanh, ngược lại đường màu hồng được sử dụng để gán đặc tính cho một vùng của mặt cắt.

Lửa thường tiếp xúc ngẫu nhiên ở các mặt của cột khi xảy ra hỏa hạn. Để mô phỏng phù hợp với thực tế khi xảy ra cháy do sự hiện diện của tường bao che trong công trình, bài báo sẽ tiến hành mô phỏng bốn trường hợp cháy từ một mặt cho đến bốn mặt của cột. Do đó, các mặt tiếp xúc với lửa sẽ được gán điều kiện cháy theo đường chuẩn ISO 834, các mặt còn lại của cột được xem như tiếp xúc với nhiệt độ thường ở 20°C trong suốt quá trình cháy. Mặt cắt ngang của cột khi đã được gán các điều kiện bên về nhiệt độ được thể hiện ở Hình 4. Ở đây, mặt không tiếp xúc với lửa nên được gán điều kiện nhiệt độ thường F20, ngược lại được gán điều kiện cháy FISO theo ISO 834.



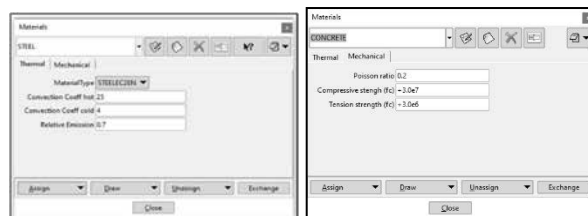
Hình 4. Điều kiện nhiệt độ ở các mặt tiết diện cột.

Hình 5 trình bày mặt cắt ngang cột BTCT bằng phần mềm SAFIR [9]. Phần mềm SAFIR [9] có sẵn mô hình vật liệu thép và bê tông mà các tính chất vật liệu lấy theo quy định trong tiêu chuẩn Eurocode 2 [10]. Ví dụ vật liệu thép có mô hình STEEL2EN, bê tông có mô hình SILCON ETC cho bê tông cốt liệu đá silic, CALCON ETC cho bê tông cốt liệu đá canxit. Trong bài báo này, vật liệu dùng trong phân tích nhiệt độ lấy theo mô hình có sẵn trong SAFIR [9], lấy bê tông và thép theo tiêu chuẩn Eurocode 2 [10].



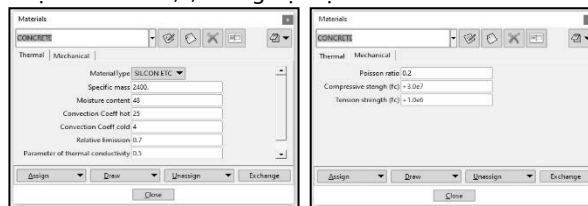
Hình 5. Tiết diện cột BTCT tạo bằng SAFIR [9].

Các tham số khai báo cho cốt thép được thể hiện trên Hình 6. Các tham số gồm có thông số về nhiệt học và cơ học. Cốt thép có thông số nhiệt học gồm hệ số đối lưu nóng là 25; hệ số đối lưu lạnh là 4; hệ số bốc hơi tương đối là 0,7. Thông số cơ học gồm mô đun đàn hồi là 210000 MPa; hệ số Poisson là 0,3; cường độ bền của thép là $f_u = 400$ MPa.



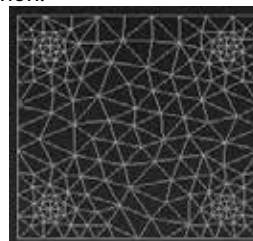
Hình 6. Thông số cốt thép khai báo trong phần mềm SAFIR [9].

Các tham số khai báo cho bê tông được thể hiện trên Hình 7, giống như cốt thép, bê tông có thông số nhiệt học và cơ học. Về thông số nhiệt học gồm có trọng lượng riêng là 2400 kg/m³; độ ẩm là 48%; hệ số đối lưu nóng là 25; hệ số đối lưu lạnh là 4; hệ số bốc hơi tương đối là 0,7; thông số dẫn nhiệt là 0,5. Thông số cơ học bao gồm hệ số Poisson 0,2; cường độ chịu nén là 30 MPa.



Hình 7. Thông số bê tông khai báo trong phần mềm SAFIR [9].

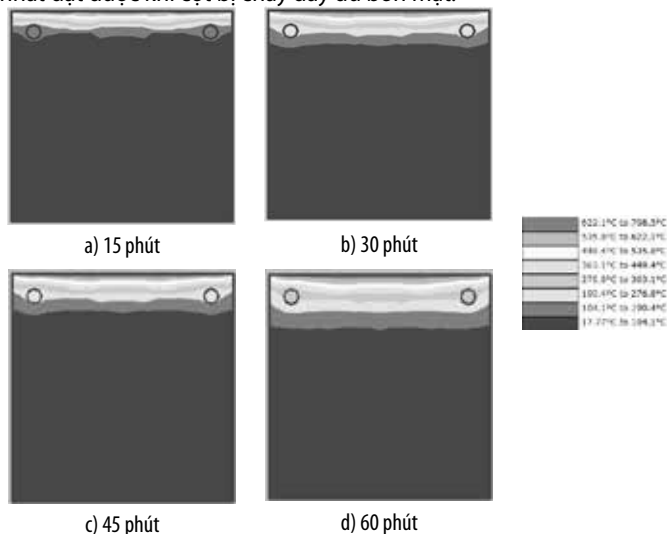
Tiết diện được chia lưới thành các phần tử tam giác như Hình 8. Việc chia lưới mịn với các phần tử tam giác nhỏ hơn ở phần rìa ngoài tiết diện và lưới lớn hơn ở gần tâm tiết diện sẽ giúp kết quả phân tích được chính xác hơn.



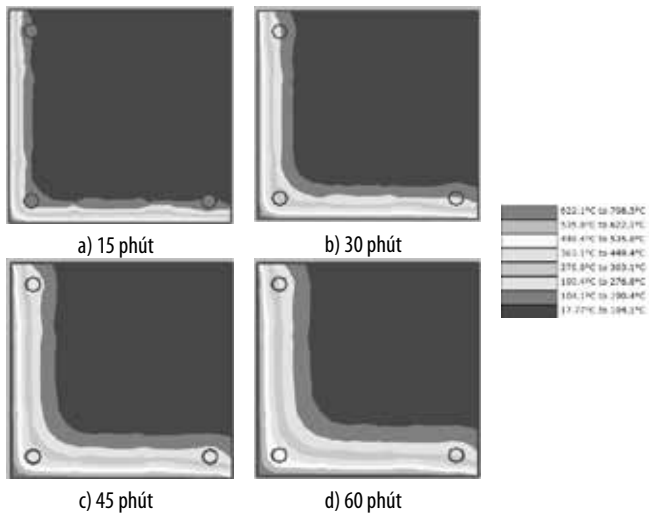
Hình 8. Rời rạc hóa kết cấu thành các phần tử tam giác trong phân tích nhiệt.

3.2 Kết quả phân tích

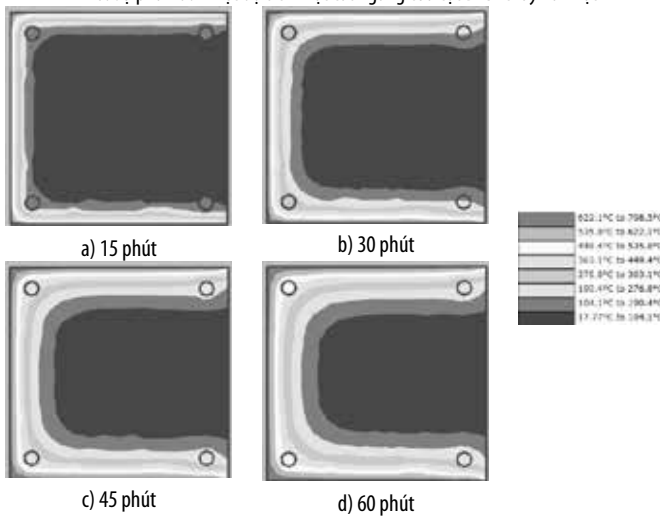
Hình 9 - 12 trình bày kết quả phân tích nhiệt của mặt cắt ngang cột ở các mốc thời gian lần lượt là 15, 30, 45 và 60 phút. Các mặt cắt ngang này thể hiện các đường đẳng nhiệt khác nhau. Nhìn chung, nhiệt độ cấu kiện tăng dần theo thời gian cháy và giá trị nhiệt độ lớn nhất đạt được khi cột bị cháy đầy đủ bốn mặt.



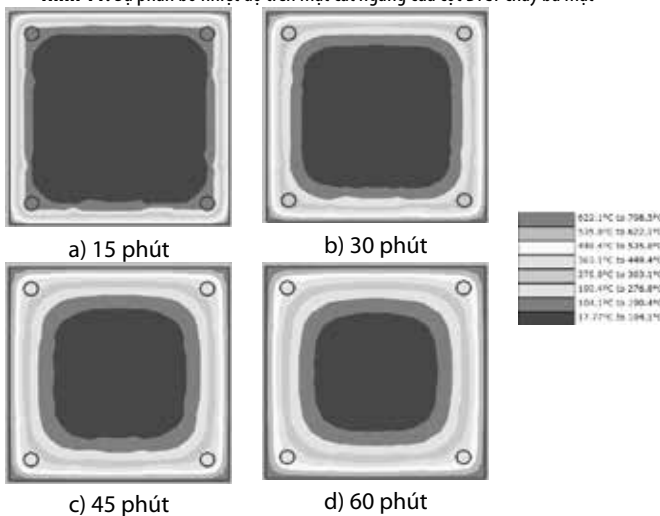
Hình 9. Sự phân bố nhiệt độ trên mặt cắt ngang của cột BTCT cháy một mặt



Hình 10. Sự phân bố nhiệt độ trên mặt cắt ngang của cột BTCT cháy hai mặt



Hình 11. Sự phân bố nhiệt độ trên mặt cắt ngang của cột BTCT cháy ba mặt



Hình 12. Sự phân bố nhiệt độ trên mặt cắt ngang của cột BTCT cháy bốn mặt

4 PHÂN TÍCH KHẢ NĂNG CHỊU LỰC (KNCL) CỦA CỘT

4.1 Tính toán khả năng chịu lực của cột theo Eurocode 2 [10]

Khả năng chịu lực của cột được tính bằng công thức sau đây:

$$N_{Rd} = \frac{0.85}{\gamma_c} f_{ck} A_c + f_{yd} A_s \tag{1}$$

Trong đó:

γ_c là hệ số an toàn riêng cho vật liệu khi tính theo trạng thái giới hạn một, $\gamma_c = 1.5$ cho trường hợp bê tông lâu dài và tạm thời.

f_{ck} là cường độ chịu nén đặc trưng của bê tông đối với mẫu trụ tiêu chuẩn (lấy $f_{ck} = 30$ MPa)

f_{yd} là cường độ tính toán của cốt thép, được xác định bằng tỷ số giữa giới hạn chảy đặc trưng f_{uk} và hệ số riêng γ_s (lấy $f_{uk} = 400$ MPa và $\gamma_s = 1,15$).

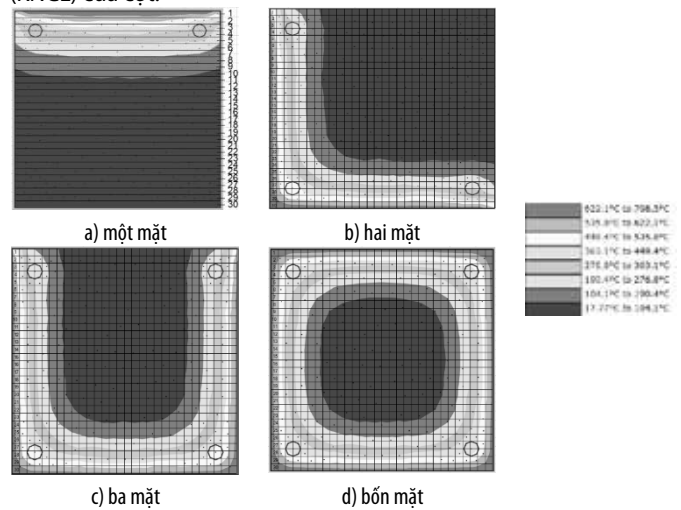
A_c là diện tích của tiết diện bê tông.

A_s là diện tích của cốt thép.

Từ công thức (1) và các đặc trưng của cột, khả năng chịu lực của cột ở nhiệt độ thường là $N_{Rd} = 1530(kN)$

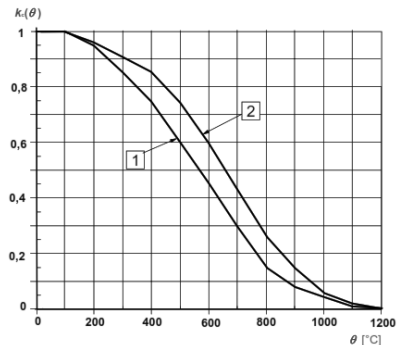
4.2 Tính toán theo phương pháp phân lớp

Mô hình cột BTCT bằng Safir_thermal_2D có tiết diện 300x300 mm, cốt thép 4Ø20. Mô hình được gán FISO cho các mặt tiếp xúc với đám cháy tiêu chuẩn ISO 834, F20 cho các mặt là nơi vẫn hoạt động với điều kiện nhiệt độ tự nhiên là 20°C. Dữ liệu thu được từ phân tích nhiệt trong Mục 3 được sử dụng để phân tích khả năng chịu lực (KNCL) của cột.



Hình 13. Phân lớp cho tiết diện cột bị cháy

Trong bước tính toán, cấu kiện cột sẽ được chia thành các phân lớp có bề dày và bề rộng bằng nhau. Trong mô phỏng này, cột BTCT được chia thành 30 phân lớp, mỗi phân lớp có bề dày và bề rộng đều là 10 mm, cháy trong thời gian lần lượt là 15, 30, 45 và 60 phút. Hình 13a thể hiện tiết diện ngang cột bị cháy một mặt và sẽ được phân lớp một phương. Hình 13b - d lần lượt thể hiện tiết diện ngang cột bị cháy hai đến bốn mặt, được phân lớp theo hai phương.

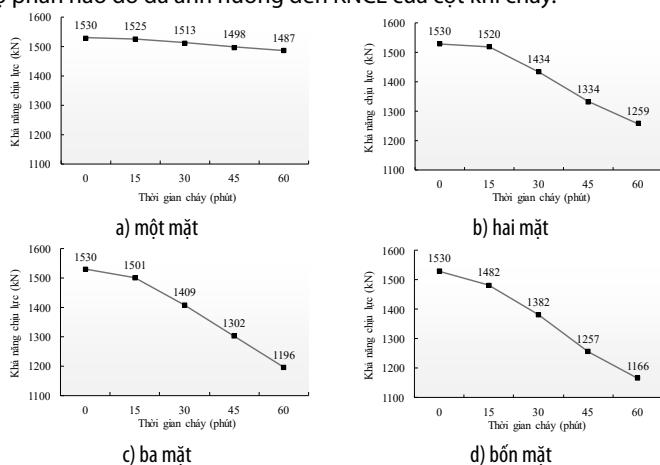


Hình 14. Sự suy giảm của cường độ bê tông theo Eurocode 2 [10].

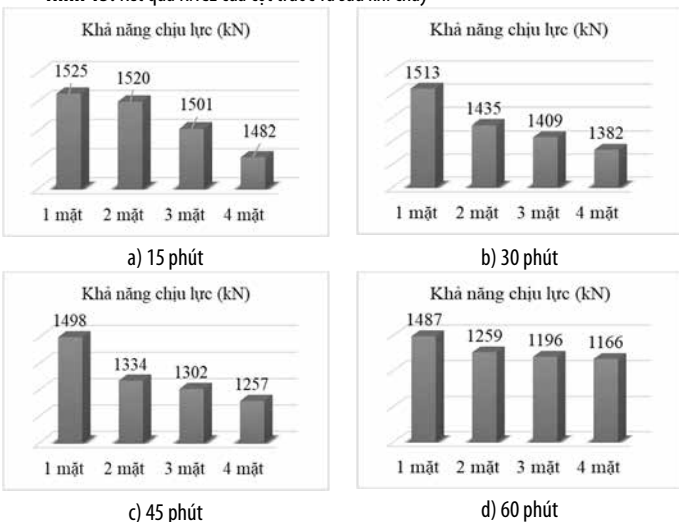
Tại một thời điểm xác định, nhiệt độ tại mỗi nút của cấu kiện đã xác định ở bước phân tích nhiệt nhờ vào phần mềm SAFIR [9]. Do đó, dựa vào phương pháp phân lớp có thể tính toán được nhiệt độ trung bình của mỗi phân lớp trên cấu kiện. Từ nhiệt độ trung bình đó có thể tiến hành tra độ giảm cường độ bê tông ở Hình 14. Bài toán được lấy theo mô hình vật liệu bê tông gốc silic (đường số 1 - Hình 14) do vật liệu này thường được sử dụng. KNCL của cột bị cháy được tính theo biểu thức (2), trong đó, n là số thứ của bê tông, m là số thứ của cốt thép.

$$N_{Rd} = \frac{0.85}{\gamma_c} \sum_{i=1}^n f_{ck,i} A_{c,i} + \sum_{j=1}^m f_{yd,j} A_{s,j} \quad (2)$$

Hình 15 trình bày kết quả phân tích KNCL của cột BTCT theo thời gian cháy. Mục đích như đã nêu trong tựa đề của bài báo là phân tích KNCL của cột BTCT bị cháy trong các điều kiện khác nhau. Có 4 mốc thời gian cháy từ đó từ đó để phân tích KNCL của cột BTCT là 15, 30, 45 và 60 phút. Các đường thẳng thể hiện KNCL của cột theo thời gian cháy được trình bày trên Hình 15. Về tổng thể, các đường này có sự khác nhau rất rõ rệt. Độ giảm KNCL của cột có giá trị lớn nhất cho trường hợp cột cháy bốn mặt (hình 15d). Ở các mốc thời gian cháy được khảo sát thì giá trị độ giảm này lần lượt là 3%, 10%, 18% và 24% so với ban đầu khi chưa cháy. Điều này cho thấy nhiệt độ phần nào đó đã ảnh hưởng đến KNCL của cột khi cháy.



Hình 15. Kết quả KNCL của cột trước và sau khi cháy



Hình 16. Ảnh hưởng của điều kiện cháy đến KNCL của cột.

Số mặt cháy cũng ảnh hưởng đến khả năng chịu lực (KNCL) của cột. Trong cùng một thời gian cháy nhất định, cột với số mặt bị cháy

nhiều hơn thì KNCL dọc trục của cột sẽ bị giảm nhiều hơn so với lúc ban đầu chưa cháy. Hình 16 trình bày kết quả sự ảnh hưởng của điều kiện cháy đến KNCL của cột. Có thể thấy rằng, ở trường hợp cháy một và hai mặt, KNCL của cột bị giảm rất ít. Tuy nhiên, ở hai trường hợp còn lại là cháy ba và bốn mặt thì KNCL của cột giảm nhanh đáng kể. Tổng thể, khi tăng dần số mặt cháy từ một lên đến bốn mặt thì kết quả độ giảm KNCL của cột lần lượt là 3%, 9%, 16% và 22%.

5 KẾT LUẬN

Trong bài báo này, cột BTCT bị cháy được phân tích bằng phần mềm SAFIR [9] để có được sự phân bố của nhiệt độ trong tiết diện. Sau đó, KNCL của cột BTCT được tính toán bằng phương pháp phân lớp. Các phân tích được thực hiện cho cột BTCT trong các khoảng thời gian cháy là 15, 30, 45 và 60 phút với các điều kiện cháy khác nhau từ một đến bốn mặt được tiếp xúc với lửa. Từ kết quả phân tích, một số kết luận được rút ra như sau:

- Kết quả phân tích sự phân bố nhiệt bên trong mặt cắt tương đối rõ ràng và các đường đẳng nhiệt thể hiện trên mặt cắt ngang của cột cũng tương tự như trong tiêu chuẩn Eurocode 2 [10].
- Thời gian cháy ảnh hưởng đáng kể đến KNCL của cột BTCT. Với thời gian cháy 15, 30, 45 và 60 phút thì kết quả độ giảm KNCL của cột lần lượt là 3%, 10%, 18% và 24%. Điều này được giải thích là thời gian cháy càng lâu, nhiệt độ bên trong cấu kiện sẽ tăng nhanh, dẫn đến KNCL của cột cũng giảm một cách đáng kể.
- Số mặt cháy cũng là một tham số quan trọng ảnh hưởng đến KNCL của cột. Trong cùng một thời gian cháy, cột bị cháy với số mặt nhiều hơn thì KNCL giảm nhiều hơn so với ban đầu chưa cháy. Độ giảm KNCL của cột bị cháy bốn mặt là nhiều nhất, với các giá trị lần lượt là 3%, 9%, 16% và 22%.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia TP.HCM (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số **B2021-20-07**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Khoury GA (2000) Effect of fire on concrete and concrete structures. Progress in Structural Engineering and Materials 2 (4):429-447. doi:https://doi.org/10.1002/pse.51
- [2] Kodur VKR, Bisby LA, Green MF (2006) Experimental evaluation of the fire behaviour of insulated fibre-reinforced-polymer-strengthened reinforced concrete columns. Fire Safety Journal 41 (7):547-557. doi:https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2006.05.004
- [3] Wu B, Hong Z, Tang G-H, Wang C (2007) Fire Resistance of Reinforced Concrete Columns with Square Cross Section. Advances in Structural Engineering 10 (4):353-369. doi:10.1260/136943307783239336
- [4] ISO (1999) Fire-resistance tests - Elements of building construction (ISO 834). International Organization for Standardization, Geneva
- [5] Vinh TQ (2010) Nghiên cứu phương pháp tính toán về khả năng chịu lực của kết cấu thép - kết cấu BTCT trong điều kiện cháy theo tiêu chuẩn châu Âu và Canada. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở
- [6] Thăng NT (2017) Ảnh hưởng của sự bố trí cốt thép dọc tới khả năng chịu lực của cột bê tông cốt thép tại nhiệt độ cao. Vietnam Journal of Construction:141-144
- [7] Thăng NT (2017) Khả năng kháng cháy của cột trong kết cấu khung bê tông cốt thép. Vietnam Journal of Construction:53-57
- [8] Ngô ST, Cao VV (2019) Effects of fire on concrete and the failure of reinforced concrete columns: an experimental study. Vietnam Journal of Construction 6-2019:162-166
- [9] SAFIR. 2019 (https://www.uee.uliege.be/cms/c_6331644/en/safir) edn.,
- [10] CEN (2004) Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. EN 1992-1-2:2004. E. Brussels, Belgium.