

Ảnh hưởng của các tham số thiết kế đến khả năng chịu lửa của sàn bê tông cốt thép bị cháy

Effects of design parameters on the fire resistance of reinforced concrete slabs exposed to fire

> **NGÔ PHI GIANG^{1,2}, ĐOÀN VĂN ĐỆT³, CAO VĂN VUI^{*1,2}**

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

²Đại học Quốc gia TP. HCM

³Trung tâm Thí nghiệm XD và MT, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây

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

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của các tham số thiết kế đến khả năng chịu lửa của sàn bê tông cốt thép (BTCT) bị cháy. Kết quả nghiên cứu này dựa trên việc phân tích cơ nhiệt đồng thời cho sàn BTCT bị cháy theo tiêu chuẩn ISO 834. Phần mềm SAFIR đã được sử dụng để phân tích ứng xử độ võng theo thời gian cháy. Kết quả phân tích nhiệt sẽ tiếp tục được sử dụng để phân tích cơ học để xác định độ võng của sàn BTCT. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng quan hệ độ võng-thời gian cháy của sàn có thể được chia làm ba giai đoạn: giai đoạn một gần như tuyến tính, giai đoạn hai là giai đoạn chuyển tiếp, và giai đoạn ba là giai đoạn sụp đổ. Đồng thời, kết quả mô phỏng cho thấy khả năng chịu lửa của sàn tăng đến 35,7% khi tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ từ 12,5 mm lên 20 mm. Khả năng chịu lửa của sàn tăng đến 31,8% khi tăng bê dày sàn từ 7 cm lên 9 cm. Đặc biệt, khả năng chịu lửa của sàn tăng đến 93,3% khi tăng diện tích cốt thép chịu lực từ 141 mm² lên 452 mm². Các kết quả này cho thấy, trong các tham số khảo sát, diện tích cốt thép có vai trò quan trọng nhất đối với khả năng chịu lửa của sàn BTCT.

Từ khóa: Sàn bê tông cốt thép; ứng xử; độ võng; lửa; khả năng chịu lửa.

ABSTRACT:

This paper presents research results on the effects of design parameters on the fire resistance of reinforced concrete (RC) slabs exposed to fire. The results of this study were based on simultaneous thermal-mechanical analyses of RC slabs exposed to ISO 834 fire. SAFIR software was used to analyse the deflection with respect to fire time. The results of thermal analysis were used for mechanical analysis to determine the deflection of RC slabs. The research results showed that the deflection-fire time relationship of RC slabs can be divided into three phases: phase one was almost linear, phase two was a transitional phase, and phase three was the collapse phase. Furthermore, the results indicated that the fire resistance of RC slabs increased by 35.7% when the thickness of the concrete cover increased from 12.5 mm to 20 mm. The fire resistance of RC slabs increased by 31.8% when the thickness of the slabs increased from 7 cm to 9 cm. Especially, the fire resistance of RC slabs increased by 93.3% when the steel area increased from 141 mm² to 452 mm². These results indicated that, among the considered parameters, the steel area plays the most important role in the fire resistance of RC slabs.

Keywords: Reinforced concrete slabs; behaviour; deflection; fire; fire resistance.

1 GIỚI THIỆU

Ngày nay, ngành Xây dựng đã phát triển rất nhiều so với trước đây. Các công trình bê tông cốt thép (BTCT) đã có thể đạt được những chiều cao chọc trời, với độ bền hàng trăm năm. Thế nhưng, khi hỏa hoạn xảy ra, mọi thứ đều đối mặt với nguy cơ bị phá hủy và sụp đổ. Sự mất mát về con người và tài sản sẽ thật sự rất lớn nếu công trình bị hỏa hoạn. Chính vì thế, các nghiên cứu về khả năng chịu lửa của các công trình BTCT là thật sự cần thiết.

Khi có hỏa hoạn, sàn BTCT chịu tác động trực tiếp của ngọn lửa từ bên dưới. Khả năng chịu lực của sàn BTCT khi bị cháy sẽ thay đổi và bị ảnh hưởng rất nhiều. Khả năng chịu lửa của sàn BTCT đã

và đang được nghiên cứu cả về lý thuyết lẫn thực nghiệm bởi các nhà nghiên cứu trong và ngoài nước. Trên thế giới, nhiều nghiên cứu về ứng xử của sàn BTCT trong điều kiện hỏa hoạn đã được thực hiện. Lim và cộng sự [1] đã trình bày mô hình số để phân tích ứng xử sàn BTCT hai phương bị cháy. Phần mềm phần tử hữu hạn đã được sử dụng để phân tích nhiều trường hợp sàn và sau đó kiểm chứng sự tương đồng với các kết quả thực nghiệm. Kết quả cho thấy rằng phần mềm SAFIR có thể được sử dụng để dự đoán ứng xử màng của các sàn BTCT trong điều kiện hỏa hoạn. Lim và cộng sự [2] cũng đã sử dụng phần mềm SAFIR để mô phỏng sàn BTCT một phương bị cháy với các điều kiện biên khác nhau. Các

trường hợp khác nhau về vị trí tác động của lực dọc trục và độ cứng được gán vào điều kiện biên đã được mô phỏng để xét ảnh hưởng của chúng. Kết quả phân tích cho thấy rằng ứng xử của sàn BTCT bị cháy rất nhạy cảm với vị trí của lực nén dọc trục và độ cứng của điều kiện biên; và sàn có liên kết ngàm có khả năng chống cháy tốt hơn. Bruce [3] đã nghiên cứu về tổ hợp tải trọng để thiết kế sàn chịu cháy. Nghiên cứu đã cung cấp các cơ sở xác xuất xảy ra trong điều kiện hỏa hoạn của các loại tải trọng, đồng thời là để xuất các tổ hợp tải trọng cụ thể sau khi đã kiểm chứng với các tiêu chuẩn hiện hữu. Tác giả tin rằng, việc mô phỏng và thiết kế khả năng chịu lửa bằng máy tính là tối ưu trong tương lai, thế nên, việc tìm ra một tổ hợp tải trọng phù hợp trong điều kiện hỏa hoạn sẽ giúp cho kết quả mô phỏng phần mềm càng chính xác hơn. Krzysztof và Szymon [4] đã nghiên cứu các phương pháp xác định khả năng chịu lửa của cấu kiện bê tông cốt thép theo Eurocode 2 [5]. Các cấu kiện dầm, cột, sàn đã được tính toán dựa trên phương pháp phân lớp và phương pháp lập tầng dần và đã được so sánh với kết quả tham khảo từ tài liệu nghiên cứu trước đây. Kết quả cho thấy rằng phương pháp phân lớp chỉ đúng với một số trường hợp thực nghiệm và phương pháp lập tầng dần cho ra kết quả gần chính xác nhất với tất cả trường hợp thực nghiệm. Moss và cộng sự [6] đã nghiên cứu mô hình số về ứng xử khi cháy của các sàn BTCT hai phương trong một tòa nhà nhiều tầng. Một mô hình gồm nhiều ô sàn liên tục đã được mô hình trong phần mềm SAFIR để phân tích. Kết quả phân tích cho thấy nội lực trong sàn đã có sự phân bố lại và tác động đáng kể đến khả năng chịu lực của sàn. Chang [7] đã khuyến nghị các nhà thiết kế và đề xuất một phương pháp đơn giản để các nhà thiết kế mô hình hóa ứng xử kết cấu của tấm sàn BTCT lõi rỗng (Hollow-core concrete) bị cháy. Nghiên cứu này so sánh mô phỏng với kết quả thực nghiệm ở các điều kiện cháy khác nhau của các sàn. Kết quả cho thấy rằng điều kiện biên có thể ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất chống cháy của sàn BTCT và việc sử dụng phần mềm phần tử hữu hạn để thiết kế là phù hợp với kết quả thực nghiệm. Huang [8] đã nghiên cứu ứng xử của các sàn BTCT có vết nứt bị cháy. Tổng cộng 16 trường hợp sàn đã được tác giả mô phỏng phân tích SAFIR. Kết quả nghiên cứu cho thấy, vết nứt của bê tông có tác động xấu đến khả năng chịu lửa của sàn. Đồng thời, nghiên cứu cũng nhận định sự phát triển của lực màng trong quá trình cháy đã tác động tích cực đến việc giảm tác động của vết nứt đến ứng xử của sàn. Bastami và cộng sự [9] đã nghiên cứu và đánh giá các tính chất cơ học của bê tông ở nhiệt độ cao. Các mô hình và các mối quan hệ của bê tông khi cháy được nghiên cứu, nhằm cung cấp mô hình hiệu quả. Các thông số của bê tông là cường độ nén, cường độ kéo, mô đun đàn hồi, và mối quan hệ ứng suất-biến dạng ở nhiệt độ cao đã được kết luận là phù hợp giữa tiêu chuẩn và thực nghiệm. Kamila và cộng sự [10] đã nghiên cứu ứng xử của sàn thép liên hợp bê tông bị cháy. Sàn thép liên hợp bê tông bị cháy được phân tích bằng mô hình bằng phần mềm phần tử hữu hạn. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng đám cháy lan gây ra sự biến dạng và tác động cơ học đáng kể lên sàn liên hợp. Silva [11] đã nghiên cứu về ba phương pháp thiết kế chịu lửa cho sàn BTCT liên hợp, đồng thời kiểm chứng thực nghiệm. Các phương pháp đó là thiết kế theo tiêu chuẩn ABNT NBR 14323:2013 [12], thiết kế theo phương pháp tính toán Bailey [13], và thiết kế bằng phần mềm phần tử hữu hạn. Từ các kết quả so sánh cho thấy việc sử dụng phần mềm phần tử hữu hạn để thiết kế chịu lửa cho sàn là tối ưu hơn cả. Michal and Szymon [14] đã trình bày khả năng chịu lửa của các sàn BTCT có độ dày lớn hơn 15 cm được tính với phương pháp đường đẳng nhiệt 500 °C. Đồng thời, các thông số về chiều dày lớp bê tông bảo vệ và cốt thép chịu lực trong sàn đã được thay đổi phục vụ cho việc đánh giá thêm về

ứng xử của sàn khi cháy. Kết quả nghiên cứu khả năng chịu lửa của các sàn bằng phương pháp trên được đã được tổng hợp dưới dạng các bảng tra.

Ở Việt Nam, các nghiên cứu về sàn BTCT bị cháy còn khá ít. Nguyễn Trung Tuấn [15] đã trình bày cách áp dụng ba phương pháp tính toán được quy định trong tiêu chuẩn châu Âu Eurocode 2 [5] để đánh giá khả năng chịu cháy cho sàn BTCT. Đồng thời, tác giả cũng nhận định việc tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ và diện tích cốt thép giúp cải thiện mô men kháng cháy của sàn BTCT. Võ Bá Huy và cộng sự [16] đã nghiên cứu thực nghiệm về sử dụng FRP để phục hồi khả năng chịu tải của sàn BTCT bị cháy. Chín mẫu sàn bao gồm một mẫu không cháy, 4 mẫu cháy 45 phút và 4 mẫu cháy 75 phút đã được sử dụng. Kết quả nghiên cứu cho thấy, sau khi bị cháy và nguội xuống nhiệt độ bình thường, khả năng chịu lực của sàn bị suy giảm 10,5%. Khả năng chịu tải của sàn BTCT bị cháy được gia cường FRP tăng đến 65,4% so với sàn BTCT bị cháy không được gia cường.

Các nghiên cứu trên đã có chung mục tiêu là đánh giá khả năng chịu lửa của sàn BTCT. Tuy nhiên, các tham số thiết kế như chiều dày lớp bê tông bảo vệ, cốt thép chịu lực và bê dày sàn, chưa được phân tích kỹ. Đặc biệt là ảnh hưởng của chúng đối với độ võng theo thời gian cháy của sàn BTCT. Bài báo này trình bày kết quả phân tích ảnh hưởng của các tham số thiết kế này đối với độ võng của sàn BTCT, nhằm xác định các giai đoạn ứng xử của sàn BTCT ở các giai đoạn cháy khác nhau. Để đạt được mục đích này, phần mềm SAFIR [17] được sử dụng để khảo sát ứng xử của sàn BTCT trong quá trình bị cháy. Từ kết quả phân tích thu được, một số kết luận được rút ra về vai trò của tham số thiết kế đối với độ võng và khả năng chịu lửa của sàn BTCT bị cháy.

2 CẤU TẠO SÀN BTCT

Sàn BTCT có các thông số vật liệu như sau:

Bê tông:

- Cường độ chịu nén ở nhiệt độ thường:

$$f_c = 20 \text{ MPa}$$

- Lớp bê tông bảo vệ (tính đến mép ngoài cốt thép):

$$a = 15 \text{ mm}$$

Cốt thép:

- Cường độ chịu kéo ở nhiệt độ thường

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

- Mô đun đàn hồi tại ở nhiệt độ thường

$$E_s = 210 \text{ GPa}$$

Cấu tạo sàn BTCT này được tính toán theo TCVN [18]. Chiều dày bản sàn được xác định sơ bộ như sau:

$$h_s = \frac{D}{m} L = \frac{0,8 \div 1,4}{30 \div 35} \times 200 = 4,5 \div 9,3 \text{ (cm)}$$

Chọn sàn có chiều dày $h_s = 8 \text{ cm}$ để tính toán diện tích bố trí cốt thép.

Phương pháp tính toán nội lực sàn được sử dụng được giá trị moment tại gối và nhịp,

$$M_{nhịp} = \frac{qL^2}{8} = \frac{1,8 \times 2^2}{8} = 0,9 \text{ kNm}; M_{gối} = 0 \text{ kNm.}$$

Chọn chiều dày lớp bê tông bảo vệ $a = 15 \text{ mm}$ cho nên $h_0 = h - a = 80 - 15 = 65 \text{ mm}$.

Cốt thép CIII ($\gamma_b = 0,9$), có cấp độ bền chịu nén $R_b = 11,5 \text{ MPa}$.

$$\alpha = \frac{M}{\gamma_b \times R_b \times b \times h_0^2} = \frac{0,9 \times 10^6}{0,9 \times 11,5 \times 400 \times 65^2} = 0,0515$$

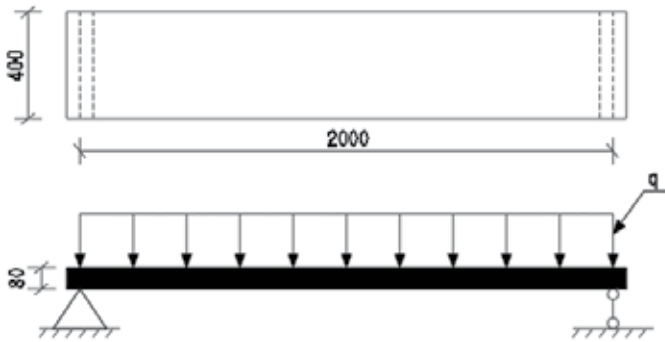
$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,0515} = 0,0529$$

$$A_s = \frac{\xi \times R_b \times b \times h_0}{R_s} = \frac{0,0529 \times 11,5 \times 400 \times 65}{355} = 40 \text{ mm}^2$$

Chọn diện tích cốt thép được bố trí trong sàn là $A_s = 201 \text{ mm}^2$

$$\mu_{\min} = 0,05\% \leq \mu = \frac{A_s}{b \times h} = \frac{201}{400 \times 65} = 0,77\% \leq \mu_{\max} = \frac{\xi_R \times \gamma_b \times R_b}{R_s} = 1,83\% \quad (\text{thỏa})$$

Hình 1 trình bày sàn BTCT với kích thước mặt cắt ngang $400 \times 80 \text{ mm}$. Khoảng cách hai gối tựa là 2000 mm . Diện tích cốt thép chịu lực được bố trí trong sàn là 201 mm^2 . Lớp bê tông bảo vệ sàn là 15 mm . Tải trọng phân bố đều trên sàn là $1,8 \text{ kN/m}$. Sau đó, các thông số của sàn như chiều dày lớp bê tông bảo vệ, diện tích cốt thép chịu lực và bề dày sàn sẽ lần lượt được thay đổi nhằm đánh giá sự thay đổi về ứng xử và khả năng chịu lửa.



Hình 1. Cấu tạo sàn BTCT $400 \times 80 \times 2000 \text{ mm}$

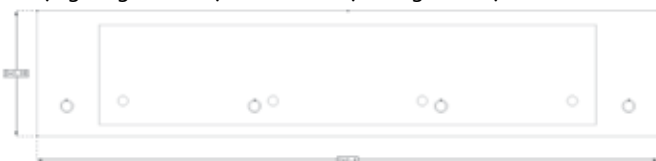
Chiều dày lớp bê tông bảo vệ sàn lần lượt là $12,5 \text{ mm}$, 15 mm , $17,5 \text{ mm}$, và 20 mm . Diện tích cốt thép chịu lực trong sàn lần lượt là 141 mm^2 , 201 mm^2 , 314 mm^2 và 452 mm^2 . Bề dày sàn lần lượt là 7 cm , 8 cm , và 9 cm . Sự thay đổi số liệu của các tham số thiết kế này là phù hợp với TVCN [18] và các điều kiện ở mục tính toán bên trên.

3 PHÂN TÍCH NHIỆT

SAFIR [17] là một phần mềm phần tử hữu hạn chuyên dùng để mô phỏng và phân tích các kết cấu trong các điều kiện cháy. Do đó, phần mềm SAFIR được sử dụng để phân tích sàn BTCT bị cháy trong bài báo này. Phần mềm này có thể phân tích ứng xử kết cấu dưới dạng mô phỏng đơn giản 2D và mô phỏng chi tiết 3D. Quy trình tính toán và phân tích cơ nhiệt của kết cấu bị cháy trong phần mềm được chia thành hai bước. Đầu tiên, quá trình phân tích nhiệt học cho kết cấu sẽ được diễn ra. Sau đó, kết quả phân tích nhiệt của kết cấu sẽ được chuyển tiếp sang giai đoạn phân tích cơ học.

3.1 Mô phỏng

Ứng dụng Safir-Thermal_2d của SAFIR [17] được sử dụng để tiến hành mô phỏng 2D mặt cắt sàn. Hình 2 thể hiện mặt cắt sàn BTCT trong SAFIR [17]. Các đường màu xanh đại diện cho đường bao của mặt cắt. Các đường màu hồng đại diện cho bề mặt được giới hạn bởi các đường màu xanh. Vì vậy, các đường màu xanh được sử dụng để gán các điều kiện biên về nhiệt độ cho các mặt biên của mặt cắt ngang. Trong khi đó, các đường màu hồng được sử dụng để gán các đặc tính cho một vùng của mặt cắt.



Hình 2. Mặt cắt sàn BTCT trong SAFIR [17]

Khi bị cháy, lửa tác dụng trực tiếp lên mặt dưới của sàn. Do đó, mặt dưới được gán điều kiện cháy theo tiêu chuẩn ISO 834. Mặt trên của sàn được xem như tiếp xúc với nhiệt độ thường ở 20°C trong suốt quá trình cháy. Hình 3 thể hiện mặt cắt ngang đã gán các điều kiện nhiệt độ. Trong đó F20 là nhiệt độ thường và FISO là nhiệt độ theo tiêu chuẩn ISO 834



Hình 3. Điều kiện nhiệt độ ở các mặt cắt tiết diện sàn

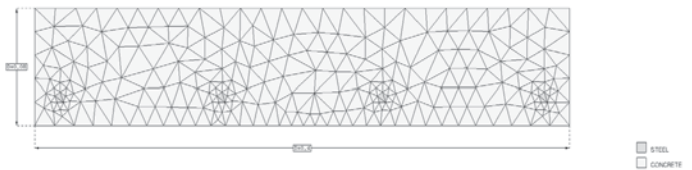
Hình 4 trình bày mặt cắt ngang sàn BTCT bằng phần mềm SAFIR [17]. Phần mềm SAFIR [17] đã sẵn có các mô hình vật liệu thép và bê tông. Các đặc trưng của vật liệu lấy theo quy định trong tiêu chuẩn Eurocode 2 [5]. Vật liệu thép có mô hình STEELE2EN, bê tông cốt liệu đá silic có mô hình SILCON ETC, bê tông cốt liệu đá canxit có mô hình CALCON ETC. Trong bài báo này, vật liệu dùng trong phân tích nhiệt học được lấy theo mô hình có sẵn trong SAFIR [17].



Hình 4. Tiết diện sàn BTCT trong SAFIR [17]

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 210 GPa ; hệ số Poisson là 0,3; cường độ chảy dẻo là 355 MPa . Bê tông có thông số nhiệt học gồm khối lượng riêng là 2400 kg/m^3 ; độ ẩm là 4,8%; 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 20 MPa .

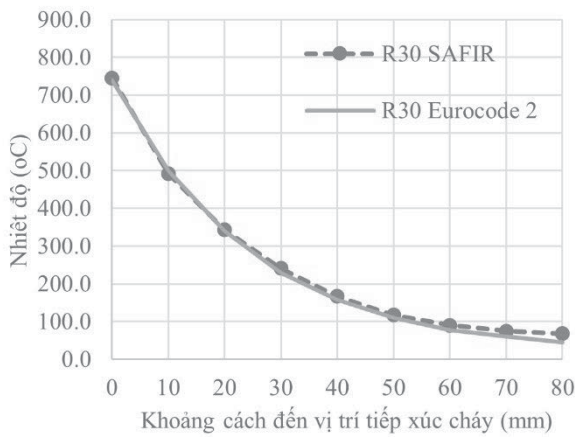
Tiết diện được chia lưới thành các phần tử tam giác như Hình 5. Lưới phần tử xung quanh cốt thép được chia mịn hơn. Trong khi đó, lưới phần tử của bê tông được chia thô hơn. Điều này giúp SAFIR [17] phân tích với mức độ vừa phải và thời gian hợp lý.



Hình 5. Rời rạc hóa kết cấu thành các phần tử trong phân tích nhiệt bằng phần mềm SAFIR [17]

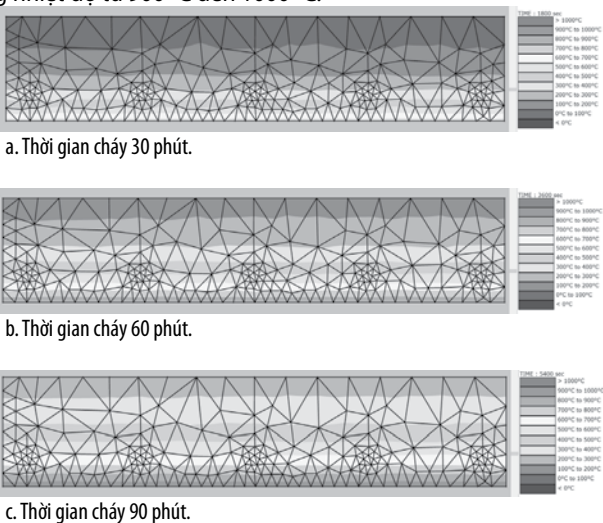
3.2 Kiểm chứng kết quả

Kết quả mô phỏng được kiểm chứng bằng cách so sánh với kết quả đã được sử dụng trong tiêu chuẩn Eurocode 2 [5]. Trong tiêu chuẩn này, sàn BTCT bị cháy có chiều dày h_s dưới 200 mm đã có đường đẳng nhiệt; do đó, tiết diện $h_s = 80 \text{ mm}$ này được chọn để mô phỏng để kiểm chứng. Cốt thép được bố trí trong sàn có diện tích $A_s = 201 \text{ mm}^2$. Chiều dày lớp bê tông bảo vệ là 15 mm tính từ mép ngoài của lớp bê tông đến mép của lớp thép chịu lực. Trình tự mô phỏng được trình bày trong mục 3.1. Hình 6 thể hiện kết quả so sánh giữa đường đẳng nhiệt tại thời điểm cháy 30 phút của sàn được mô phỏng bằng phần mềm SAFIR [17] so với tiêu chuẩn Eurocode 2 [5]. Kết quả so sánh cho thấy sự tương đồng giữa kết quả mô phỏng với tiêu chuẩn tại thời điểm cháy. Vậy nên, kết quả mô phỏng nhiệt cho sàn BTCT từ phần mềm SAFIR [17] là đáng tin cậy.



Hình 6. So sánh kết quả mô phỏng với kết quả trong tiêu chuẩn Eurocode 2 [5]
3.3 Kết quả phân tích

Kết quả nhiệt độ trong tiết diện sàn được ghi lại sau mỗi 1 phút trên tổng thời gian mô phỏng cháy là 90 phút. Hình 7 trình bày kết quả của quá trình phân tích nhiệt của sàn bị cháy tại các thời điểm 30 phút, 60 phút, và 90 phút. Dễ dàng nhận thấy, thớ dưới của sàn được tiếp xúc trực tiếp với ngọn lửa của đường gia nhiệt ISO 834, nên nhiệt độ của bề mặt thớ dưới sẽ gia tăng một cách nhanh chóng. Hình 7a thể hiện nhiệt độ của sàn bị cháy tại thời điểm 30 phút. Nhiệt độ tại thớ dưới của sàn có màu hiển thị là cam tương ứng nhiệt độ từ 700 °C đến 800 °C. Nhiệt độ cốt thép tại thời điểm này có màu xanh biển nhạt tương ứng là từ 300 °C đến 400 °C. Thớ trên của bê tông không tiếp xúc với lửa thì nhiệt độ không có sự thay đổi quá nhiều so với thời điểm chưa cháy. Hình 7b thể hiện nhiệt độ của sàn bị cháy tại thời điểm 60 phút. Nhiệt độ tại thớ dưới của sàn có màu hiển thị là cam đất tương ứng nhiệt độ từ 800 °C đến 900 °C. Nhiệt độ cốt thép tại thời điểm này có màu xanh lá nhạt tương ứng là từ 500 °C đến 600 °C. Thời điểm này, thớ trên của bê tông đã chuyển sang màu hiển thị là xanh dương nhạt với nhiệt độ là từ 100 °C đến 200 °C. Thớ trên của sàn không tiếp xúc với ngọn lửa ISO nhưng sự truyền nhiệt đã làm thay đổi nhiệt độ của phân lớp này. Hình 7c thể hiện nhiệt độ của sàn bị cháy tại thời điểm 90 phút. Nhiệt độ tại thớ dưới của sàn có màu hiển thị là đỏ tương ứng nhiệt độ từ 900 °C đến 1000 °C.

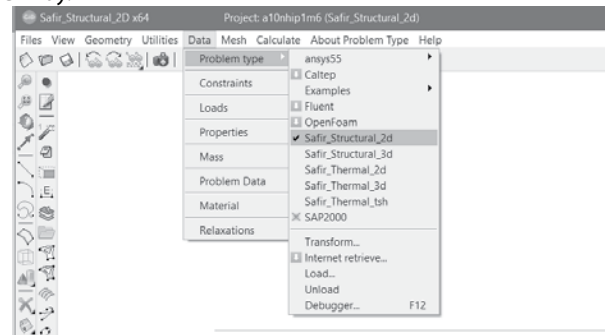


Hình 7. Nhiệt độ mặt cắt sàn BTCT 400 × 80 mm tại các thời điểm khác nhau.

4 PHÂN TÍCH CHUYỂN VỊ THEO THỜI GIAN CHÁY

Dữ liệu thu được từ phân tích nhiệt trong Mục 3 được sử dụng

để phân tích chuyển vị của sàn BTCT kích thước 400 × 80 mm và chiều dài nhịp 2 m. Hình 8 thể hiện ứng dụng phân tích Safir_Structural_3d được sử dụng để phân tích cơ học cho sàn BTCT này.



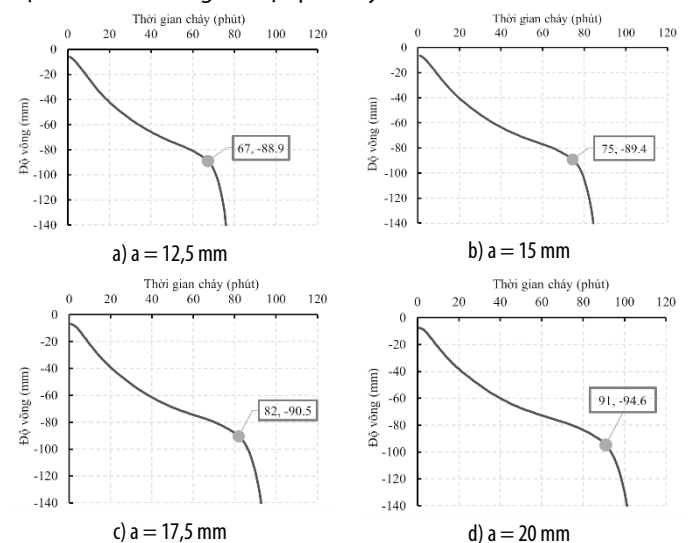
Hình 8. Chương trình phân tích cơ học 3D

Trong bước phân tích cơ học, cấu kiện sàn được chia thành nhiều phần tử. Trong mô phỏng này, sàn BTCT được chia bởi 21 nút và 20 phần tử như Hình 9. Sàn được mô phỏng là phần tử thanh thẳng. Mỗi phần tử có tiết diện ngang chính là tiết diện đã mô phỏng ở bước phân tích nhiệt trình bày trong Mục 3. Hệ trục tọa độ trong phần mềm quy định trục X cho phương ngang và trục Y cho phương đứng. Nút xanh là gối cố định và nút đỏ là gối di động.



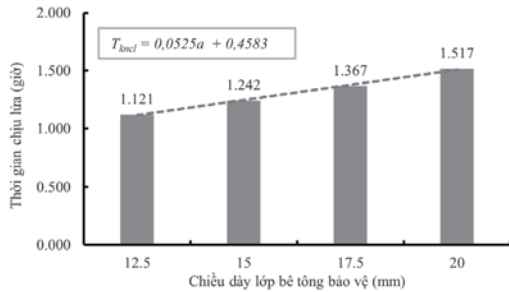
Hình 9. Chia phần tử trên sàn và gán điều kiện biên

Hình 10 trình bày kết quả phân tích độ võng của các sàn BTCT theo thời gian cháy. Các sàn này giống nhau về kích thước nhưng có sự khác nhau về chiều dày lớp bê tông bảo vệ. Mục đích là để xét ảnh hưởng của chiều dày lớp bảo vệ đến độ võng theo thời gian cháy của sàn BTCT. Có 4 trường hợp chiều dày lớp bảo vệ (tính đến mép ngoài của cốt thép) được sử dụng để khảo sát ảnh hưởng của chúng đến độ võng của sàn gồm 12,5 mm, 15 mm, 17,5 mm, và 20 mm. Các đường cong độ võng theo thời gian cháy được trình bày trên Hình 10. Về tổng thể, các đường này có sự khác nhau rất rõ rệt. Điều này cho thấy vai trò quan trọng của chiều dày lớp bảo vệ đối với ứng xử độ võng–thời gian cháy của sàn BTCT. Các điểm biểu thị khả năng chịu lửa của sàn cũng được biểu thị trên hình 10. Các điểm này được xác định tại thời điểm có sự tăng vọt về giá trị độ dốc để tiến vào giai đoạn phá hủy.



Hình 10. Đường cong độ võng - thời gian cháy ứng với chiều dày lớp bảo vệ a khác nhau

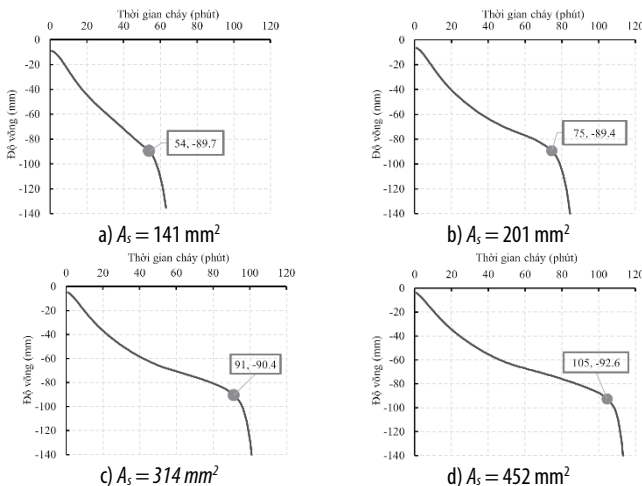
Các giá trị về thời gian chịu lửa của các trường hợp sàn ở hình 10 đã được tổng hợp và biểu thị trên hình 11 để so sánh. Rõ ràng, khi chiều dày lớp bảo vệ tăng, thời gian cháy đến khi sụp đổ của sàn cũng tăng lên đáng kể. Các sàn BTCT có chiều dày lớp bê tông bảo vệ là 12,5 mm; 15 mm; 17,5 mm, và 20 mm có thời gian sụp đổ tương ứng là 1,12 giờ, 1,24 giờ, 1,37 giờ, và 1,52 giờ. Lớp bê tông bảo vệ của sàn khi tăng từ 12,5 mm lên 15 mm, 17,5 mm, và 20 mm đã làm cho thời gian chịu lửa của sàn tăng lên lần lượt là 10,8%, 22,3%, và 35,7%. Như vậy, chiều dày lớp bê tông bảo vệ tăng đáng kể thời gian sụp đổ. Điều này được giải thích là chiều dày lớp bảo vệ tăng đã làm giảm sự gia tăng nhiệt độ cốt thép. Do đó, sự suy giảm các đặc trưng cơ học của cốt thép sẽ giảm đi.



Hình 11. Thời gian sụp đổ của sàn BTCT bị cháy.

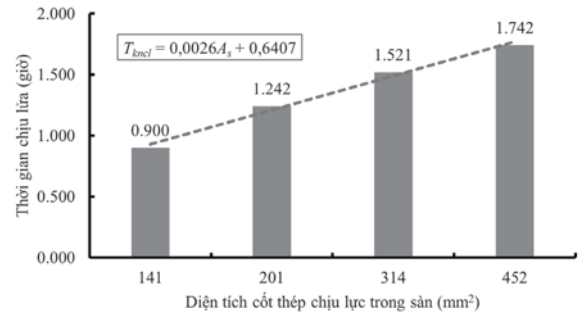
Mối quan hệ giữa thời gian chịu lửa của sàn và chiều dày lớp bê tông bảo vệ có thể được biểu diễn bằng phương trình $T_{kncl} = 0,0525a + 0,4583$ (giờ) ở hình 11. Trong đó, T_{kncl} là thời gian chịu lửa của sàn, a là chiều dày lớp bê tông bảo vệ. Phương trình có được bằng cách vẽ một đường thẳng tuyến tính. Phương trình có được bằng cách vẽ một đường thẳng tuyến tính quan hệ giữa chiều dày lớp bê tông bảo vệ và thời gian chịu lửa của 4 trường hợp sàn có chiều dày lớp bê tông bảo vệ khác nhau.

Hình 12 trình bày kết quả phân tích độ võng của các sàn BTCT theo thời gian cháy. Các sàn này giống nhau về kích thước nhưng có sự khác nhau về diện tích bố trí cốt thép chịu lực. Mục đích là để xét ảnh hưởng của diện tích cốt thép đến độ võng theo thời gian cháy của sàn BTCT. Có 4 trường hợp diện tích cốt thép chịu lực được sử dụng để khảo sát ảnh hưởng của chúng đến độ võng của sàn là 141 mm², 201 mm², 314 mm², và 452 mm². Các đường cong độ võng–chuyển vị theo thời gian cháy được trình bày trên Hình 12. Về tổng thể, các đường này có sự khác nhau rất rõ rệt. Điều này cho thấy vai trò quan trọng của cốt thép với ứng xử độ võng–thời gian cháy của sàn BTCT.



Hình 12. Đường cong độ võng – thời gian cháy ứng với diện tích cốt thép chịu lực A_s khác nhau.

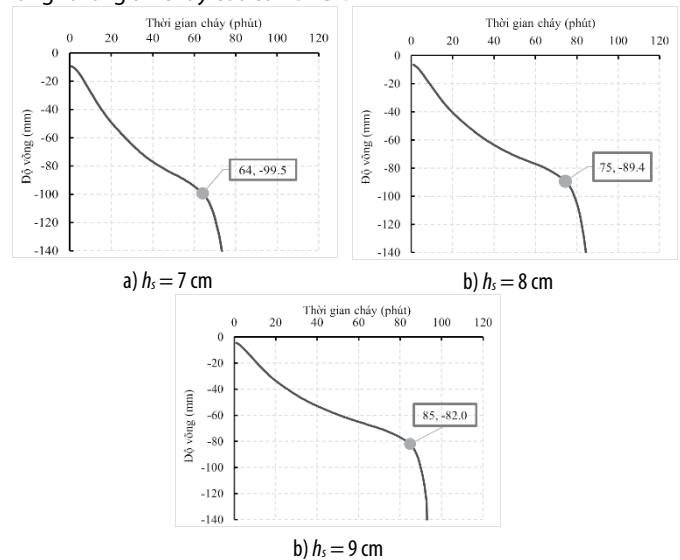
Các giá trị về thời gian chịu lửa của các trường hợp sàn ở hình 12 đã được tổng hợp và biểu thị trên hình 13 để so sánh. Rõ ràng, khi diện tích cốt thép chịu lực tăng, thời gian cháy đến khi sụp đổ của sàn cũng tăng lên đáng kể. Các sàn BTCT có diện tích cốt thép chịu lực là 141 mm², 201 mm², 314 mm², và 452 mm² có thời gian sụp đổ tương ứng là 0,90 giờ, 1,24 giờ, 1,52 giờ, và 1,74 giờ. Diện tích cốt thép chịu lực của sàn khi tăng từ 141 mm² lên 201 mm², 314 mm², và 452 mm² đã làm cho thời gian chịu lửa của sàn tăng lên lần lượt là 37,8%, 68,9%, và 93,3%. Như vậy, diện tích cốt thép chịu lực tăng đáng kể thời gian sụp đổ.



Hình 13. Thời gian sụp đổ của sàn BTCT bị cháy.

Mối quan hệ giữa thời gian chịu lửa của sàn và diện tích cốt thép chịu lực có thể được biểu diễn bằng phương trình $T_{kncl} = 0,0026A_s + 0,6407$ (giờ) ở hình 13. Trong đó, T_{kncl} là thời gian chịu lửa của sàn, A_s là diện tích cốt thép chịu lực. Phương trình có được bằng cách vẽ một đường thẳng tuyến tính quan hệ giữa diện tích cốt thép sàn và thời gian chịu lửa của 4 trường hợp sàn có diện tích cốt thép khác nhau.

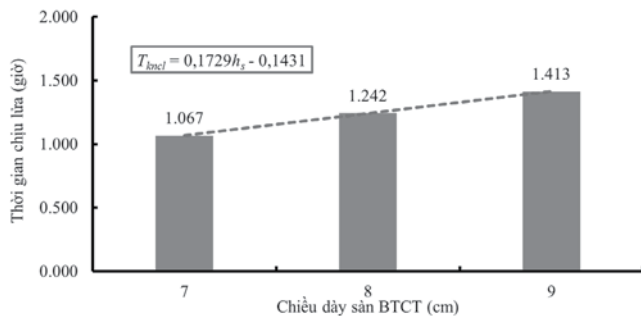
Hình 14 trình bày kết quả phân tích độ võng của các sàn BTCT theo thời gian cháy. Các sàn này giống nhau về kích thước nhưng có sự khác nhau về bề dày sàn h_s . Mục đích là để xét ảnh hưởng của bề dày bản sàn đến độ võng theo thời gian cháy của sàn BTCT. Có 3 trường hợp bề dày sàn được sử dụng để khảo sát ảnh hưởng của chúng đến độ võng của sàn là 7 cm, 8 cm, và 9 cm. Các đường cong độ võng–chuyển vị theo thời gian cháy được trình bày trên Hình 14. Về tổng thể, các đường này có sự khác nhau rất rõ rệt. Điều này cho thấy vai trò quan trọng của bề dày sàn với ứng xử độ võng–thời gian cháy của sàn BTCT.



Hình 14. Đường cong độ võng – thời gian cháy ứng với bề dày bản sàn khác nhau.

Các giá trị về thời gian chịu lửa của các trường hợp sàn ở hình 14 đã được tổng hợp và biểu thị trên hình 15 để so sánh. Rõ ràng,

khi bề dày bản sàn tăng, thời gian cháy đến khi sụp đổ của sàn tăng lên đáng kể. Các sàn BTCT có bề dày là 7 cm, 8 cm, và 9 cm có thời gian sụp đổ tương ứng là 1,07 giờ, 1,24 giờ, và 1,41 giờ. Bề dày của sàn khi tăng từ 7 cm lên 8 cm và 9 cm đã làm cho thời gian chịu lửa của sàn tăng lên lần lượt là 15,9% và 31,8%. Như vậy, bề dày của sàn tăng đã làm tăng đáng kể thời gian chịu lửa.



Hình 15. Thời gian sụp đổ của sàn BTCT bị cháy.

Mối quan hệ giữa thời gian chịu lửa của sàn và chiều dày bản sàn có thể được biểu diễn bằng phương trình $T_{kncl} = 0,1729h_s - 0,1431$ (giờ) ở hình 15. Trong đó, T_{kncl} là thời gian chịu lửa của sàn, h_s là bề dày sàn. Phương trình có được bằng cách vẽ một đường thẳng tuyến tính quan hệ giữa bề dày sàn và thời gian chịu lửa của 3 trường hợp sàn có bề dày khác nhau.

5 KẾT LUẬN

Trong bài báo này, sàn BTCT bị cháy được phân tích bằng phần mềm SAFIR [17] để có được sự phân bố của nhiệt độ trong tiết diện. Kết quả phân tích nhiệt này được sử dụng để phân tích độ võng của sàn theo thời gian cháy. Các phân tích được thực hiện cho các trường hợp sàn BTCT có các thông số thiết kế khác nhau. Từ kết quả phân tích, một số kết luận được rút ra như sau:

- Kết quả về đường cong độ võng theo thời gian cháy có chung đặc điểm là có thể chia làm 3 giai đoạn. Giai đoạn đầu tiên, đường cong có thể xem gần như là tuyến tính. Giai đoạn kế tiếp, quan hệ độ võng theo thời gian cháy là đường cong phi tuyến. Giai đoạn cuối cùng, độ võng tăng rất nhanh, tiến đến sụp đổ. Giai đoạn 2 và giai đoạn 3 có thể gộp chung thành giai đoạn sụp đổ, vì 2 giai đoạn này được diễn ra trong thời gian cháy tương đối ngắn. Vậy nên điểm cuối cùng của giai đoạn 1 được xem là điểm biểu diễn trạng thái sụp đổ của sàn BTCT, vì sau điểm này thì sàn sẽ bước vào giai đoạn phá hoại.

- Các tham số thiết kế có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chịu lửa của sàn BTCT. Khi chiều dày lớp bảo vệ tăng từ 12,5 mm lên 20 mm thì khả năng chịu lửa của sàn tăng 35,7%. Khi diện tích cốt thép chịu lực tăng từ 141 mm² lên 452 mm² thì khả năng chịu lửa của sàn tăng 93,3%. Khi bề dày tầng từ 7 cm lên 9 cm thì khả năng chịu lửa của sàn tăng 31,8%. Như vậy, diện tích cốt thép có vai trò khá lớn đối với khả năng chịu lửa của sàn BTCT.

- Thời gian chịu lửa của sàn có mối quan hệ tuyến tính với chiều dày lớp bảo vệ bê tông, diện tích cốt thép chịu lực và bề dày sàn. Mối quan hệ giữa thời gian chịu lửa và các tham số thiết kế của sàn đã được trình bày thông qua ba phương trình. Phương trình $T_{kncl} = 0,0525a + 0,4583$ (giờ) biểu diễn mối quan hệ giữa thời gian chịu lửa của sàn và chiều dày lớp bê tông bảo vệ. Phương trình $T_{kncl} = 0,0026A_s + 0,6407$ (giờ) biểu diễn mối quan hệ giữa thời gian chịu lửa của sàn và diện tích cốt thép chịu lực. Phương trình $T_{kncl} = 0,1729h_s - 0,1431$ (giờ) biểu diễn mối quan hệ giữa thời gian chịu lửa của sàn và bề dày sàn.

- Lời cảm ơn:

Nhóm tác giả xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia TP.HCM đã hỗ trợ nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Linus L, Bunchanan A, Moss P.J, Franssen J.M, Numerical modelling of two-way reinforced concrete slabs in fire, Engineering Structures 26, 2004.
- [2] Linus L, Bunchanan A, Moss P.J, Franssen J.M, Computer modeling of restrained reinforced concrete slabs in fire conditions, Journal Of Structural Engineering, 2004.
- [3] Bruce E, Load combination requirements for fire-resistant structural design, Journal of Fire Protection Engineering, 2005.
- [4] Krzysztof C, Szymon S, Structural fire design methods for reinforced concrete members, Institute for Building Material and Structures, Faculty of Civil Engineering, Cracow University of Technology, 2013.
- [5] Eurocode 2, Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. EN 1992-1-2:2004, Brussels, Belgium, 2004
- [6] Moss J, Dhakal P, Wang G, Buchanan A, The fire behaviour of multi-bay, two-way reinforced concrete slabs, Engineering Structures, 2008.
- [7] Chang J, Bunchanan A, Dhakal P, Moss J, Hollow-core concrete slabs exposed to fire, Fire And Materials, 2008.
- [8] Z. Huang, The behaviour of reinforced concrete slabs in fire, Fire Safety Journal, 2010.
- [9] Bastami M, Aslani F, Omran M, High-temperature mechanical properties of concrete, International Journal of Civil Engineering, 2010.
- [10] Kamila H, Tomáš J, František W, The effect of fire spread on steel-concrete floor, 8th International Conference on Structures in Fire, 2014.
- [11] Silva V, On the composite steel and concrete slab fire design, REA, 2016
- [12] NBR 14323, Design of steel structures and composite structures of steel and concrete for buildings in fire situation, Rio de Janeiro, Brasil, 2013.
- [13] C. Bailey and D. Moore, The structural behavior of steel frames with composite floors slabs subject to fire, Engineering Structures, 2000.
- [14] Michal M and Szymon S, Designing reinforced concrete slabs under fire condition, MATEC Web of Conferences, 2018.
- [15] Trung N, Ha D and Phuong P, Đánh giá khả năng chịu lửa của sàn bê tông cốt thép bằng các phương pháp đơn giản theo tiêu chuẩn EN 1992-1-2, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, 2019.
- [16] Huy V, Đệ Đ and Vui CV, Sử dụng FRP để phục hồi khả năng chịu tải của sàn bê tông cốt thép bị cháy, Tạp chí Vật liệu và xây dựng, 2021.
- [17] SAFIR, (https://www.uee.uliege.be/cms/c_6331644/en/safir) edn, 2019
- [18] TCVN356, Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép, 2005