

Ảnh hưởng của chiều dày lớp bê tông bảo vệ đến độ võng của dầm bê tông cốt thép bị cháy

Tạ Hoàng Duy Hào^{1,2}, Nguyễn Nguyên Vũ^{1,2,*}, Cao Văn Vui^{1,2}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Hỏa hoạn là một trong những tải trọng đặc biệt đối với kết cấu công trình xây dựng. Khi hỏa hoạn xảy ra, lửa gây ra những tác dụng bất lợi cho kết cấu bê tông cốt thép (BTCT). Cụ thể, lửa làm tăng biến dạng và làm giảm khả năng chịu lực của kết cấu BTCT. Sự thay đổi này đạt đến một mức độ nào đó có thể làm kết cấu bị phá hoại. Dầm BTCT là một bộ phận của kết cấu chịu tác động trực tiếp của lửa, trong đó, lớp bê tông bảo vệ có vai trò quan trọng đến nhiệt độ của cốt thép chịu lực. Bài báo này trình bày kết quả mô phỏng ảnh hưởng của lớp bê tông bảo vệ đến độ võng của dầm BTCT bị cháy. Để đạt được mục đích này, dầm BTCT bị cháy với nhiệt độ cháy theo tiêu chuẩn ISO 834 được phân tích cơ nhiệt đồng thời. Quá trình phân tích được thực hiện bằng phần mềm SAFIR. Kết quả phân tích nhiệt được sử dụng để phân tích độ võng của dầm BTCT bị cháy theo thời gian. Kết quả phân tích cho thấy rằng độ võng tăng gần như tuyến tính với thời gian cháy trong giai đoạn đầu và sau đó tính phi tuyến tăng nhanh cho đến sụp đổ hoàn toàn. Chiều dày lớp bảo vệ có vai trò quan trọng đối với đường cong quan hệ độ võng và thời gian cháy của dầm BTCT. Khi chiều dày lớp bảo vệ tăng từ 20 mm lên 45 mm thì khả năng chịu lửa của dầm tăng 67%.

Từ khóa: Dầm bê tông cốt thép, Lớp bê tông bảo vệ, Độ võng, Lửa

¹Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa Tp. Hồ Chí Minh, 268 Lý Thường Kiệt, Phường 14, Quận 10, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh, Phường Linh Trung, TP. Thủ Đức, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Liên hệ

Nguyễn Nguyên Vũ, Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa Tp. Hồ Chí Minh, 268 Lý Thường Kiệt, Phường 14, Quận 10, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh, Phường Linh Trung, TP. Thủ Đức, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: nnvu.sdh19@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 17-5-2022
- Ngày chấp nhận: 16-7-2022
- Ngày đăng: 20-8-2022

DOI : 10.32508/stdjet.v5i2.1006



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



GIỚI THIỆU

Bê tông cốt thép (BTCT) được sử dụng rộng rãi trong các công trình xây dựng. So với kết cấu thép, kết cấu BTCT có nhiều ưu điểm như cách âm, cách nhiệt, chịu lửa, v.v. Khi hỏa hoạn xảy ra, khả năng chịu lửa kết cấu BTCT có vai trò quan trọng đối với mức độ hư hại của công trình. Khi thời gian cháy vượt qua khả năng chịu lửa của công trình thì biến dạng của công trình tăng lên rất nhanh, đồng thời sức chịu tải của công trình giảm đáng kể. Điều này dẫn đến kết cấu bị biến dạng quá mức cho phép hoặc khả năng chịu tải của kết cấu nhỏ hơn tải trọng tác dụng. Kết quả là kết cấu bị hư hỏng nặng hoặc sụp đổ.

Dầm BTCT là một trong những cấu kiện chịu tác động trực tiếp của lửa khi xảy ra hỏa hoạn. Nghiên cứu về khả năng chịu lửa của dầm BTCT đã và đang được thực hiện cả lý thuyết và thực nghiệm. Trên thế giới, nhiều nghiên cứu về ứng xử của dầm BTCT khi bị cháy đã được thực hiện. Dotreppe và Franssen¹ đã sử dụng phương pháp số để phân tích kết cấu BTCT và kết cấu liên hợp chịu lửa. Tác giả sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích mặt cắt dầm và so sánh sự tương đồng giữa kết quả lý thuyết và thực nghiệm. El-Hawary và cộng sự² đã thực hiện một nghiên cứu về ảnh hưởng của lửa đến ứng xử của dầm BTCT chịu uốn. Kết quả cho thấy rằng lửa làm giảm khả năng chịu tải tối hạn, tăng độ võng, tăng biến dạng

và giảm cường độ chịu nén của bê tông. El-Hawary và cộng sự³ tiếp tục nghiên cứu về ảnh hưởng của lửa đến ứng xử của dầm BTCT chịu cắt, trong đó có quan tâm đến các thông số về thời gian cháy và chiều dày lớp bê tông bảo vệ đối với ứng xử cắt của dầm BTCT. Desai⁴ trình bày một phương pháp để ước tính khả năng chịu uốn và chịu cắt còn lại của dầm BTCT tương ứng với khoảng thời gian cháy. Phương pháp này dựa trên việc đánh giá sự giảm cường độ của bê tông và cốt thép. Saafi⁵ phân tích cấu kiện bê tông cốt FRP bị cháy và kết luận rằng nhiệt độ cốt FRP giảm khi chiều dày lớp bảo vệ tăng. Khả năng kháng uốn và kháng cắt của dầm giảm đáng kể dưới tác dụng của lửa. Tác giả cũng kiến nghị lớp bảo vệ tối thiểu bằng 64 mm cho cốt FRP. Ahmed và Kodur⁶ nghiên cứu ứng xử của dầm BTCT gia cường bằng FRP bị cháy nhằm mục đích khảo sát ảnh hưởng cấu tạo vùng neo và điều kiện liên kết. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng cấu tạo vùng neo có ảnh hưởng khá quan trọng đối với độ võng của dầm. Khả năng chịu lửa của dầm tăng khi điều kiện liên kết tốt. Eamon và cộng sự⁷ trình bày quy trình phân tích độ tin cậy của dầm BTCT bị cháy. Quy trình này xác định các tổ hợp tải trọng có liên quan, xác định các biến tải trọng ngẫu nhiên và tải trọng tới hạn đặc biệt, thiết lập mô hình ứng xử ở nhiệt độ cao cho khả năng chịu tải dầm. Xu và cộng sự⁸ nghiên cứu khả năng chống cháy của dầm

Trích dẫn bài báo này: Hào T H D, Vũ N N, Vui C V. Ảnh hưởng của chiều dày lớp bê tông bảo vệ đến độ võng của dầm bê tông cốt thép bị cháy. *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.*; 2022, 5(2):1549-1557.

chữ T liên tục bằng thép cường độ cao. Kết quả cho thấy, dầm được thử nghiệm có hiện tượng hư hỏng do uốn; tuy nhiên, trình tự hình thành khớp dẻo của các dầm bị cháy khác với dầm đối chứng. Gao và cộng sự⁹ đã trình bày một phương pháp thiết kế để dự đoán khả năng chịu lửa của dầm BTCT. Phương pháp thiết kế này dựa trên lý thuyết thời gian tương đương sử dụng năng lượng kết hợp với hệ số hiệu chỉnh được xây dựng dưới dạng hàm gồm các biến số như bề dày lớp bê tông bảo vệ và các đặc tính bề mặt để dự đoán khả năng chịu lửa của dầm BTCT. Song và cộng sự¹⁰ đã nghiên cứu về khả năng chịu lửa của dầm đơn giản bằng BTCT với sự thay đổi về cốt thép. Tác giả kết luận rằng tỷ lệ cốt thép dọc càng cao thì khả năng chịu lửa của dầm càng lớn. Ngoài ra, sự cấu tạo của cốt thép đai cũng có thể làm giảm một cách hiệu quả độ võng của dầm khi bước vào giai đoạn phá hoại. Albuquerque và cộng sự¹¹ nghiên cứu ứng xử của dầm BTCT khi cháy. Kết quả chỉ ra rằng sự cản trở nhiệt theo phương dọc trục làm tăng khả năng chống cháy và độ cứng.

Ở Việt Nam, các nghiên cứu về khả năng chịu lửa của dầm BTCT còn khá ít. Năm 2017, Hoàng Anh Giang¹² đã nghiên cứu dầm BTCT chịu tác động của lửa bằng mô hình nhiệt học sử dụng phần mềm ANSYS. Để làm rõ tác động của nhiệt lên mô hình phân tích bằng phần mềm ANSYS đối với các cấu kiện BTCT bị cháy theo tiêu chuẩn theo ISO 834, tác giả đã thực hiện nghiên cứu so sánh kết quả thí nghiệm với kết quả phân tích theo hai phương pháp tác động của nhiệt khác nhau. Năm 2019, Nguyễn Trường Thắng và cộng sự¹³ đã phân tích sự suy giảm khả năng kháng uốn khi bị cháy của dầm bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn châu Âu. Kết quả phân tích đã cho thấy rằng hệ số suy giảm của dầm BTCT ở nhiệt độ cao tỷ lệ thuận với kích thước tiết diện và khoảng cách từ mặt bê tông tới trọng tâm cốt thép dọc, nhưng không bị ảnh hưởng đáng kể bởi cường độ chịu nén của bê tông.

Các nghiên cứu trên đã có chung mục tiêu là khả năng chịu lửa của dầm BTCT. Tuy nhiên, các tham số dùng để nghiên cứu rất khác nhau, trong đó tham số chiều dày lớp bê tông bảo vệ chưa được phân tích kỹ, đặc biệt là ảnh hưởng của chiều dày lớp bảo vệ đối với độ võng theo thời gian cháy của dầm BTCT. Bài báo này trình bày kết quả phân tích ảnh hưởng của chiều dày lớp bê tông bảo vệ đối với độ võng của dầm BTCT, nhằm xác định các giai đoạn ứng xử của dầm BTCT ở các giai đoạn cháy khác nhau. Để đạt được mục đích này, phần mềm SAFIR¹⁴ được sử dụng để khảo sát ứng xử của dầm BTCT trong quá trình bị cháy. Từ kết quả phân tích thu được, một số kết luận được rút ra về vai trò của chiều dày lớp bê tông bảo vệ đối với độ võng của dầm BTCT bị cháy.

CẤU TẠO DẦM BTCT 250X400X4500 MM

Hình 1 trình bày dầm BTCT dài 4500 mm với kích thước mặt cắt ngang 250 x 400 mm. Khoảng cách hai gối tựa là 4000 mm. Cốt thép dọc của dầm bao gồm 3 thanh thép $\phi 16$ cho cốt thép chịu kéo và 2 thanh thép $\phi 14$ cho cốt thép chịu nén. Cốt đai dầm có đường kính 6 mm với khoảng cách 140 mm. Tiết diện dầm này được mô phỏng lần lượt với các lớp bê tông bảo vệ từ 20 mm đến 45 mm. Tải trọng phân bố đều trên dầm là 25 kN/m.

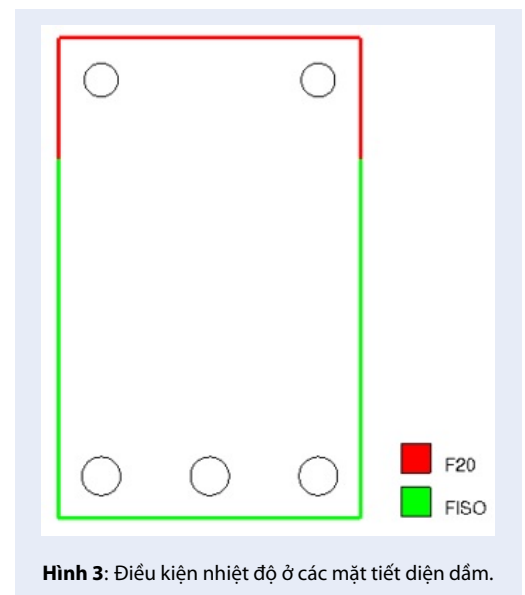
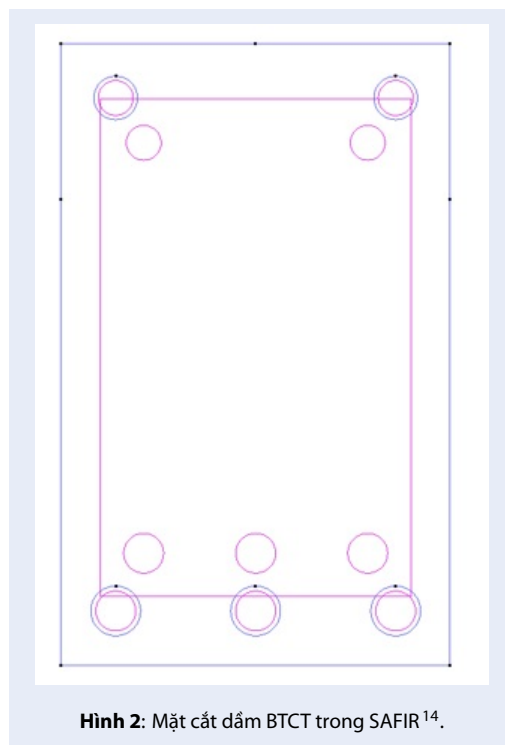
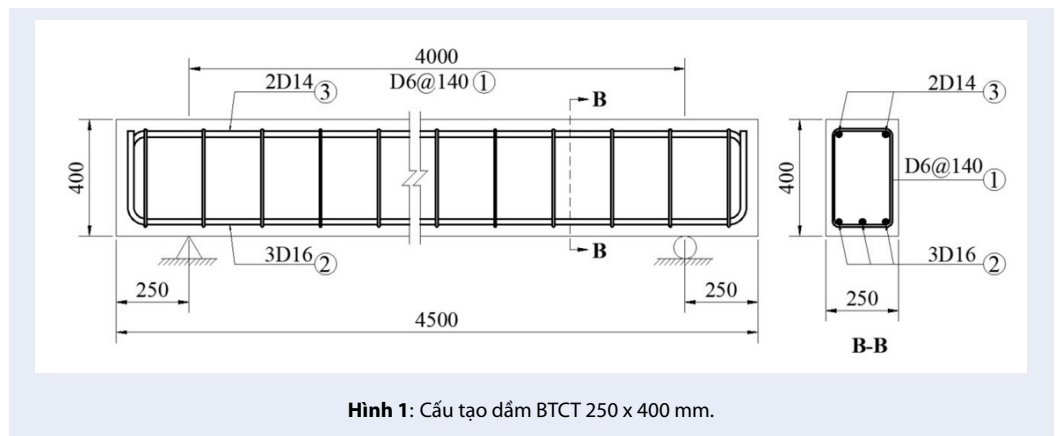
PHƯƠNG PHÁP VÀ KẾT QUẢ PHÂN TÍCH NHIỆT

Trong bài báo này, phần mềm SAFIR¹⁴ được sử dụng để phân tích dầm BTCT bị cháy. SAFIR¹⁴ là một phần mềm đặc biệt chuyên dùng để phân tích các kết cấu trong điều kiện nhiệt độ khác nhau. Phần mềm dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn phân tích ứng xử của cả kết cấu 2D và 3D. Việc phân tích kết cấu nói chung hay cấu kiện dầm nói riêng bị cháy được chia thành hai bước. Bước đầu tiên là phân tích nhiệt, để xác định sự phân bố nhiệt độ trong mặt cắt kết cấu thay đổi theo thời gian cháy. Tiếp theo, kết quả phân tích nhiệt được sử dụng cho quá trình phân tích cơ học để xác định sự phân bố ứng suất, biến dạng trong cấu kiện tại từng thời điểm cháy liên quan đến sự thay đổi tính chất cơ lý của vật liệu khi nhiệt độ tăng.

Mô phỏng

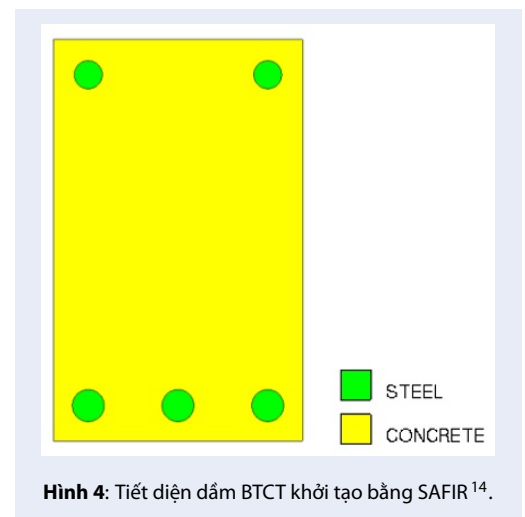
Chương trình Safir_Thermal_2d của SAFIR¹⁴ được sử dụng để tiến hành mô phỏng 2D mặt cắt dầm như đã nêu ở phần trước. Hình 2 thể hiện mặt cắt dầm BTCT trong SAFIR¹⁴. Các đường màu xanh đại diện cho đường bao của mặt cắt. Các đường màu hồng đại diện cho bề mặt được giới hạn bởi các đường màu xanh. Vì vậy, 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.

Khi bị cháy, lửa thường tiếp xúc với hai mặt bên và mặt dưới. Khi có sự hiện diện của bản sàn BTCT, hai mặt bên trong phạm vi bản sàn cũng không chịu tác động của lửa. Đây là trường hợp được chọn để phân tích trong bài báo này. Do đó, hai mặt bên (trừ phần bản sàn) và mặt dưới được gán điều kiện cháy theo đường chuẩn ISO 834. Mặt trên và hai mặt bên trong phạm vi bản sàn của dầm 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. Mặt trên không tiếp xúc với lửa nên được gán điều

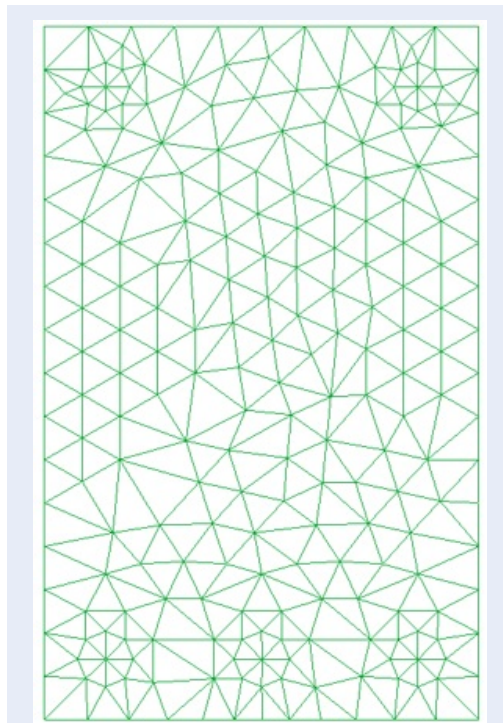


kiện nhiệt độ thường F20. Hai mặt bên và mặt dưới tiếp xúc với lửa và được gắn điều kiện cháy FISO theo ISO 834.

Hình 4 trình bày mặt cắt ngang dầm BTCT bằng phần mềm SAFIR¹⁴. Phần mềm SAFIR¹⁴ có sẵn mô hình vật liệu thép và bê tông mà các tính chất vật liệu lấy theo quy định trong tiêu chuẩn Eurocode 2¹⁵. Ví dụ vật liệu thép có mô hình STEELEC2EN, 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 SAFIR¹⁴, lấy bê tông và thép theo tiêu chuẩn Eurocode 2¹⁵.



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 chảy dẻo là 300 MPa. Bê tông có thông số nhiệt học gồm 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. Tiết diện được chia lưới thành các phần tử tam giác như Hình 5. 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 5: Rời rạc hóa kết cấu thành các phần tử con trong phân tích nhiệt.

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 2¹⁵. Trong tiêu chuẩn này, dầm BTCT có tiết diện 300 x 300 mm bị cháy đã có đường đẳng nhiệt; do đó, tiết diện này được chọn để mô phỏng để kiểm chứng. Cốt thép dọc của dầm bao gồm 2 thanh thép lớp trên và 2 thanh thép lớp dưới, mỗi thanh thép có đường kính 20 mm. Chiều dày lớp bê tông bảo vệ là 30 mm tính từ mép ngoài của lớp bê tông đến trọng

tâm lớp thép dọc. Trình tự mô phỏng như được trình bày trong mục Mô phỏng. Hình 6a trình bày đường đẳng nhiệt theo tiêu chuẩn Eurocode 2¹⁵ cho 1/4 tiết diện dầm ở thời gian cháy 60 phút. Kết quả mô phỏng tiết diện bị cháy trong 60 phút được trình bày trên Hình 6b. Kết quả đường đẳng nhiệt theo tiêu chuẩn Eurocode 2¹⁵ cũng được trình bày trên Hình 6b để tiện so sánh. Hình 6b cho thấy kết quả mô phỏng khá phù hợp với kết quả được sử dụng trong tiêu chuẩn Eurocode 2¹⁵.

Kết quả phân tích

Hình 7a-d trình bày kết quả phân tích nhiệt của mặt cắt ngang dầm lần lượt ở các thời điểm 3600 s, 7200 s, 10800 s, và 14400 s. Các mặt cắt ngang này có thể chia làm hai miền bởi nhiệt độ 500°C. Đây là nhiệt độ được sử dụng để xác định đường đẳng nhiệt trong tính toán khả năng chịu lực của cấu kiện. Diện tích phần mặt cắt ngang có nhiệt độ cao hơn 500°C bao gồm bốn màu nhiệt độ tính từ ngoài vào. Khi thời gian cháy tăng, phần diện tích mặt cắt ngang có nhiệt độ cao hơn 500°C tăng lên đáng kể. Tuy vùng bê tông chịu nén hầu như không bị ảnh hưởng nhưng phần cốt thép chịu kéo bị ảnh hưởng rất nhiều. Nhiệt độ của cốt thép chịu kéo tăng lên làm giảm khả năng chịu tải của dầm.

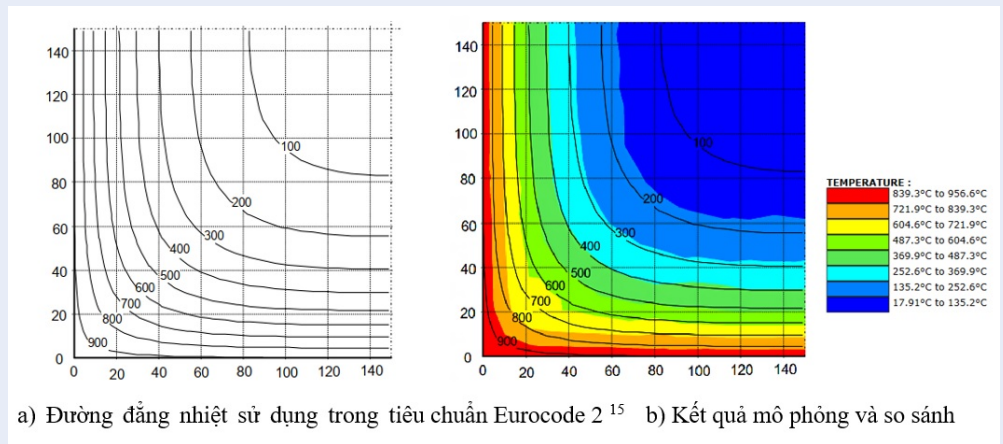
KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN CHUYỂN VỊ THEO THỜI GIAN CHÁY

Dữ liệu thu được từ phân tích nhiệt trong Mục 3 được sử dụng để phân tích chuyển vị của dầm BTCT giản đơn với kích thước 250 x 400 mm và chiều dài nhịp 4 m. Hình 8 thể hiện chương trình phân tích Safir_Structural_3d được sử dụng để mô phỏng cơ học dầm BTCT này.

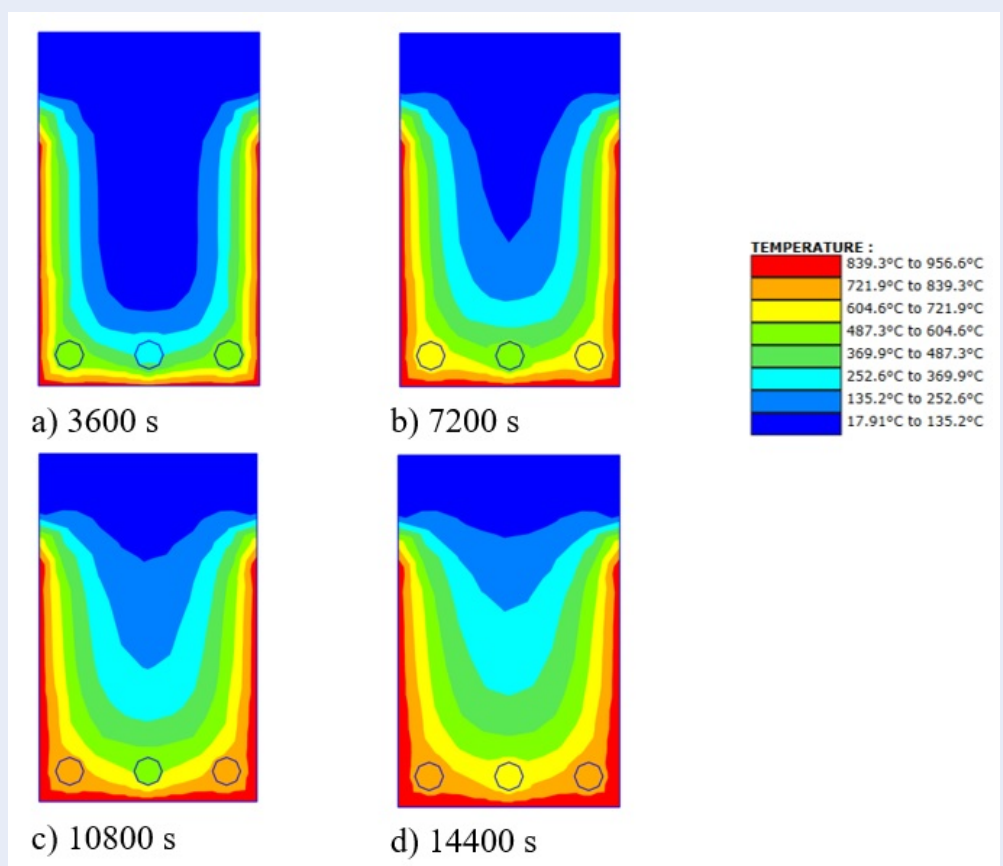
Trong bước phân tích cơ học, cấu kiện dầm thường được chia thành nhiều phần tử. Trong mô phỏng này, dầm BTCT được chia bởi 10 nút và 9 phần tử như Hình 9. Dầm được mô phỏng là phần tử thanh thẳng. Mỗi phần tử có tiết diện ngang chính là tiết diện đã mô phỏng ở bước phân tích nhiệt trình bày trong Mục Mô phỏng.

Tại một thời điểm xác định, nhiệt độ tại mỗi nút của cấu kiện đã xác định ở bước phân tích nhiệt nên quan hệ ứng suất - biến dạng của từng thớ (fibre) cũng được xác định. Nội lực trong cấu kiện được tính toán dựa vào ứng suất các thớ trên tiết diện. Các thông số được ghi nhận trong quá trình mô phỏng là độ võng của dầm theo thời gian. Dầm đơn giản có chiều dài nhịp là 4m và chịu tải trọng 25 kN/m.

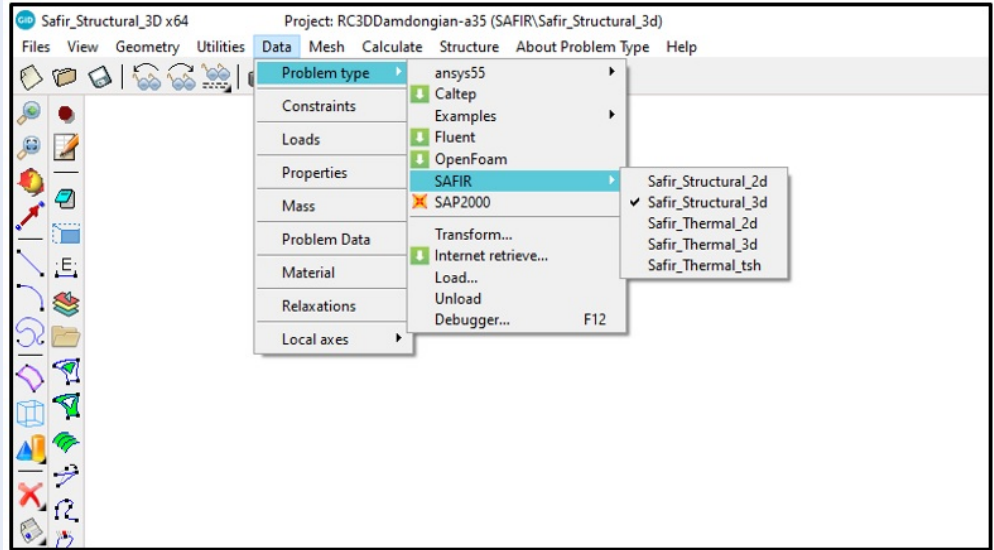
Hình 10 trình bày kết quả phân tích độ võng của các dầm BTCT theo thời gian cháy. Các dầm này giống



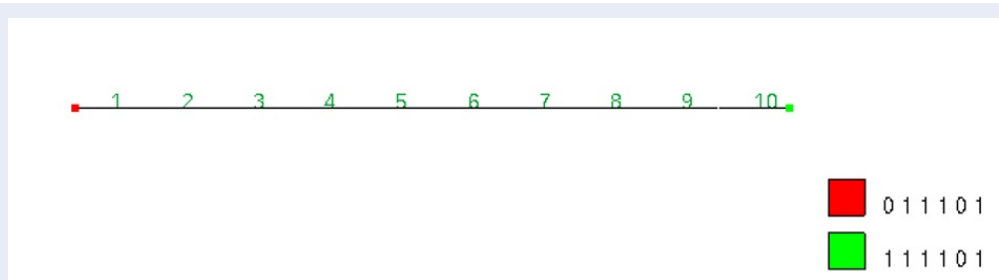
Hình 6: So sánh kết quả mô phỏng với kết quả trong tiêu chuẩn Eurocode 2¹⁵



Hình 7: Nhiệt độ mặt cắt đầm BTCT 250 x 400 mm tại các thời điểm khác nhau.



Hình 8: Chương trình phân tích cơ học 3D



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

nhau về kích thước nhưng có sự khác nhau về chiều dày lớp bê tông bảo vệ. Mục đích như đã nêu trong tựa đề của bài báo là để xét ảnh hưởng của chiều dày lớp bảo vệ đến độ võng theo thời gian cháy của dầm BTCT. Có 6 trường hợp chiều dày lớp bảo vệ (tính đến mép ngoài của cốt đai) được sử dụng để khảo sát ảnh hưởng của chúng đến độ võng của dầm gồm 20 mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm và 45 mm. Các đường cong độ võng-chuyển vị 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 dầm BTCT.

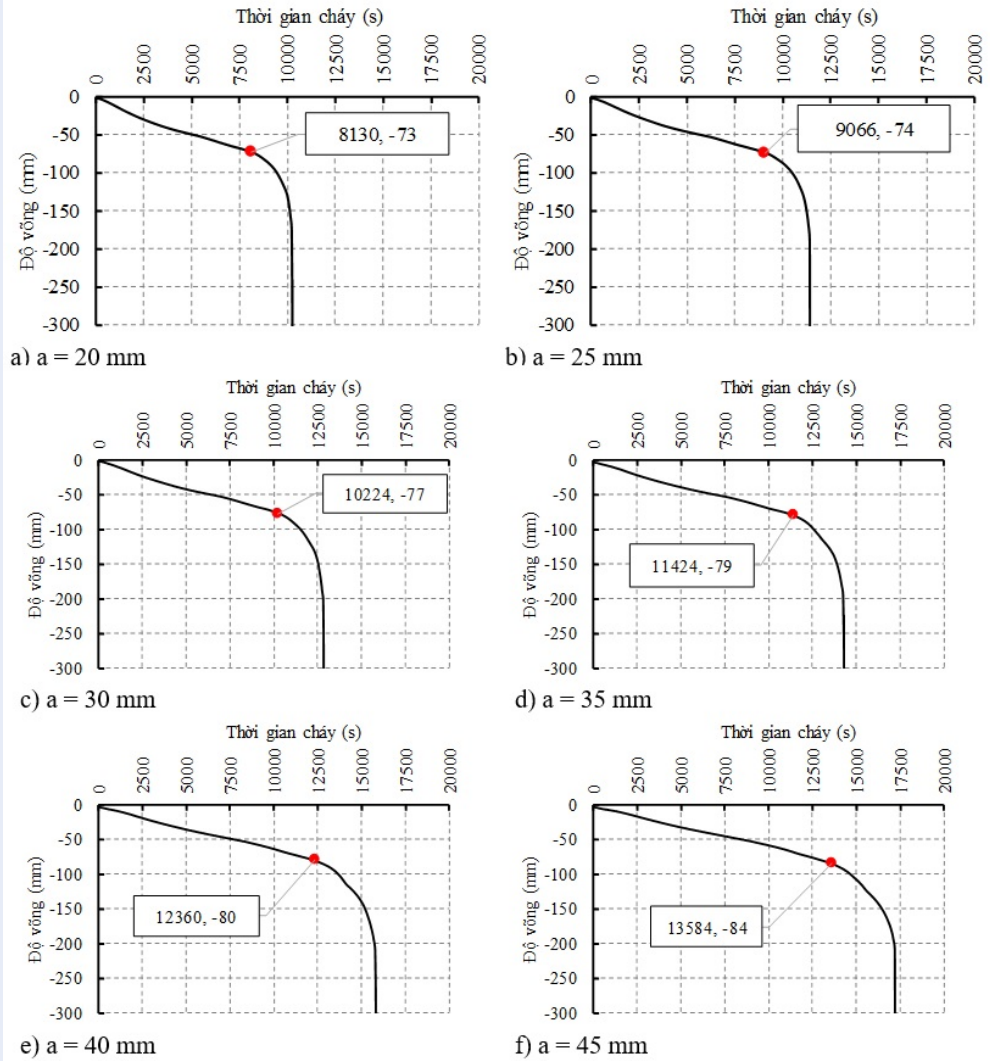
Về chi tiết, các đường cong trên Hình 10 có đặc điểm chung là có thể chia làm 3 giai đoạn:

Giai đoạn 1: đường cong gần như tuyến tính.

Giai đoạn 2: giai đoạn phi tuyến, quan hệ độ võng và thời gian cháy là đường cong.

Giai đoạn 3: giai đoạn sụp đổ, độ võng tăng rất nhanh.

Sự phi tuyến (giai đoạn 2 và giai đoạn 3) xảy ra trong khoảng thời gian cháy tương đối ngắn. Do đó, có thể gộp hai giai đoạn này thành giai đoạn phá hoại. Thời điểm cuối giai đoạn 1 có ý nghĩa cho công tác thiết kế dầm BTCT bị cháy. Điểm này có thể được định nghĩa là điểm biểu diễn trạng thái giới hạn sụp đổ của dầm. Thời gian ứng với điểm này thể hiện thời gian sụp đổ của dầm BTCT. Các thời gian sụp đổ được thể hiện trên Hình 11. Rõ ràng, khi chiều dày lớp bảo vệ tăng, thời gian sụp đổ tăng lên đáng kể. Cụ thể, khi chiều dày lớp bảo vệ là 35 mm, thời gian sụp đổ là 3,2 giờ. Khi chiều dày lớp bảo vệ là 20 mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm và 45 mm, thời gian sụp đổ lần lượt là 2,3 giờ, 2,5 giờ, 2,8 giờ, 3,2 giờ, 3,4 giờ và 3,8 giờ. So với thời gian sụp đổ của dầm với lớp bảo vệ 20 mm, thời gian sụp đổ lần lượt tăng 11,5%, 25,8%, 40,5%, 52,0% và 67,1% khi chiều dày lớp bảo vệ lần lượt là 20 mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm và 45 mm. Như vậy, chiều dày lớp bảo vệ tăng làm tăng đáng kể thời gian



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

sụp đổ và điều này được giải thích bởi yếu tố nhiệt độ của cốt thép. Chiều dày lớp bảo vệ tăng đã làm chậm sự gia tăng nhiệt độ của cốt thép; do đó, sự suy giảm các đặc trưng cơ học của thép sẽ chậm hơn.

KẾT LUẬN

Trong bài báo này, dầm BTCT bị cháy được phân tích bằng phần mềm SAFIR¹⁴ để có được sự phân bố của nhiệt độ trong tiết diện. Kết quả này được sử dụng để phân tích độ võng của dầm theo thời gian cháy. Các phân tích được thực hiện cho dầm BTCT có chiều dày lớp bê tông bảo vệ thay đổi từ 20 mm đến 45 mm. Từ kết quả phân tích, một số kết luận được rút ra như sau:

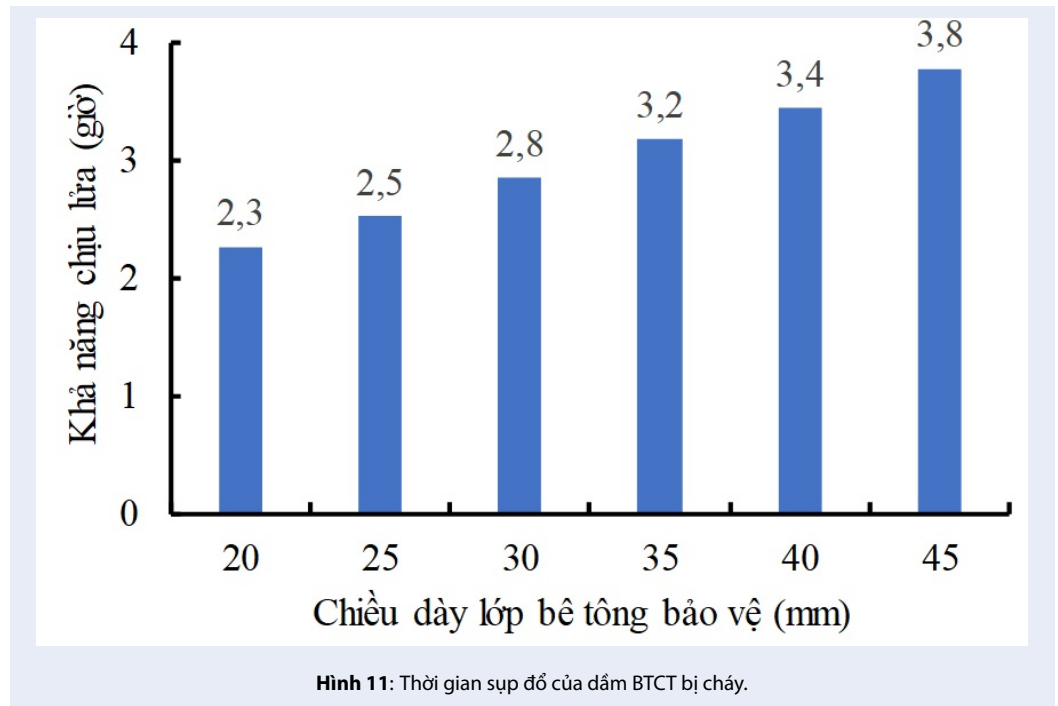
- Độ võng tăng gần như tuyến tính với thời gian cháy trong giai đoạn đầu. Khi thời gian cháy

tiến gần đến thời gian sụp đổ của dầm, mức độ phi tuyến bắt đầu tăng. Khi thời gian cháy lớn hơn thời gian sụp đổ của dầm, độ võng tăng rất nhanh và dầm bị sụp đổ.

- Chiều dày lớp bảo vệ có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chịu lửa của dầm BTCT. Khi chiều dày lớp bảo vệ tăng từ 20 mm lên 45 mm thì khả năng chịu lửa của dầm tăng 67%. Điều này được giải thích là chiều dày lớp bảo vệ tăng sẽ làm chậm quá trình tăng nhiệt độ của cốt thép chịu kéo, từ đó làm tăng khả năng chịu lửa của dầm BTCT.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả không có xung đột lợi ích.



ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Tạ Hoàng Duy Hào: mô phỏng, viết bản thảo, kiểm tra bài báo; Nguyễn Nguyễn Vũ: mô phỏng, phân tích, viết bản thảo, kiểm tra bài báo; Cao Văn Vui: phát thảo ý tưởng, phân tích và kiểm tra bài báo.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số B2021-20-07.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Dotreppe JC, Franssen JM. The use of numerical models for the fire analysis of reinforced concrete and composite structures. *Engineering Analysis*. 1985;2(2):67-74; Available from: [https://doi.org/10.1016/0264-682X\(85\)90056-5](https://doi.org/10.1016/0264-682X(85)90056-5).
2. El-Hawary MM, Ragab AM, El-Azim AA, Elibiari S. Effect of fire on flexural behaviour of RC beams. *Construction and Building Materials*. 1996;10(2):147-50; Available from: [https://doi.org/10.1016/0950-0618\(95\)00041-0](https://doi.org/10.1016/0950-0618(95)00041-0).
3. El-Hawary MM, Ragab AM, El-Azim AA, Elibiari S. Effect of fire on shear behaviour of R.C. beams. *Computers and Structures*. 1997;65(2):281-7; Available from: [https://doi.org/10.1016/S0045-7949\(95\)00356-8](https://doi.org/10.1016/S0045-7949(95)00356-8).
4. Desai SB. Design of reinforced concrete beams under fire exposure conditions. *Magazine of Concrete Research*. 1998;50(1):75-83. doi: 10.1680/mac.1998.50.1.75; Available from: <https://doi.org/10.1680/mac.1998.50.1.75>.
5. Saafi M. Effect of fire on FRP reinforced concrete members. *Composite Structures*. 2002;58(1):11-20; Available from: [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(02\)00045-4](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(02)00045-4).
6. Ahmed A, Kodur V. The experimental behavior of FRP-strengthened RC beams subjected to design fire exposure. *Engineering Structures*. 2011;33(7):2201-11; Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2011.03.010>.
7. Eamon CD, Jensen E. Reliability analysis of reinforced concrete columns exposed to fire. *Fire Safety Journal*. 2013;62:221-9; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2013.10.002>.
8. Xu Q, Han C, Wang YC, Li X, Chen L, Liu Q. Experimental and numerical investigations of fire resistance of continuous high strength steel reinforced concrete T-beams. *Fire Safety Journal*. 2015;78:142-54; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2015.09.001>.
9. Gao W-Y, Dai J-G, Teng J-G. Fire resistance of RC beams under design fire exposure. *Magazine of Concrete Research*. 2017;69(8):402-23; Available from: <https://doi.org/10.1680/jmacr.15.00329>.
10. Song Y, Fu C, Liang S, Yin A, Dang L. Fire resistance investigation of simple supported RC beams with varying reinforcement configurations. *Advances in Civil Engineering*. 2019;2019:8625360; Available from: <https://doi.org/10.1155/2019/8625360>.
11. Albuquerque GL, Silva AB, Rodrigues JPC, Silva VP. Behavior of thermally restrained RC beams in case of fire. *Engineering Structures*. 2018;174:407-17; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.07.075>.
12. Giang HA. Dầm bê tông cốt thép chịu tác động của lửa - lựa chọn phần tử cho mô hình nhiệt học trong ANSYS. *Kết Cấu - Công Nghệ Xây Dựng*. 2017;4:9-17.
13. Thăng NT, Trung NT. Khảo sát sự suy giảm khả năng kháng uốn khi cháy của dầm bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn châu Âu. *Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng (KHCNXD) - ĐHXDHN*. 2019;13(4V):22-34; Available from: [https://doi.org/10.31814/stce.nuce.2019-13\(4V\)-03](https://doi.org/10.31814/stce.nuce.2019-13(4V)-03).
14. SAFIR. 2019; Available from: https://www.uee.uliege.be/cms/c_6331644/en/safir.
15. CEN. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. EN 1992-1-2:2004. E. Brussels, Belgium 2004.

Effect of concrete cover thickness on deflection of reinforced concrete beams exposed to fire

Hao Duy Hoang Ta^{1,2}, Vu Nguyen Nguyen^{1,2,*}, Vui Van Cao^{1,2}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

Fire is one of the extreme loads acting on constructional structures. When a fire occurs, fire causes negative effects on reinforced concrete (RC) structures. Specifically, fire increases the deformation demand and reduces the load-carrying capacity of RC structures. When these changes approach a certain extent, failure of structures occurs. RC beams, a part of structures, is directly affected by fire, in which the concrete cover plays an important role in the temperature of steel reinforcement. This paper presents the simulation results on the effects of concrete cover thickness on the deflection of RC beams exposed to fire. To achieve this aim, RC beams simultaneously subjected to loads and exposed to ISO 834 fire were analyzed. The simulations were performed using SAFIR software. The thermal analysis results were used to analyze the deflections of fire-exposed RC beams with respect to fire time. The analytical results show that the deflection increases almost linearly with the fire time in the first stage and then the nonlinearity increases rapidly until complete collapse. The thickness of concrete cover plays an important role on the relationship between the deflection and the fire time of RC beams. When the thickness of concrete cover increases from 20 mm to 45 mm, the fire resistance of RC beams increases by 67%.

Key words: Reinforced concrete beam, Concrete cover, Deflection, Fire

¹Faculty of Civil Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

Correspondence

Vu Nguyen Nguyen, Faculty of Civil Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: nnvu.sdh19@hcmut.edu.vn

History

- Received: 17-5-2022
- Accepted: 16-7-2022
- Published: 20-8-2022

DOI : 10.32508/stdjet.v5i2.1006



Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Ta H D H, Nguyen V N, Cao V V. **Effect of concrete cover thickness on deflection of reinforced concrete beams exposed to fire.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology*; 2022, 5(2):1549-1557.