

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

Nguyễn Tuấn Trung^{a,*}, Dương Văn Hai^a, Phạm Mai Phương^a

^aKhoa Xây dựng Dân dụng & Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 22/04/2019, Sửa xong 20/05/2019, Chấp nhận đăng 28/05/2019

Tóm tắt

Bài báo này trình bày các nguyên tắc thiết kế chung và các phương pháp tính toán đơn giản cho cấu kiện sàn bê tông cốt thép, được quy định trong tiêu chuẩn châu Âu EN 1992-1-2 về thiết kế kết cấu bê tông cốt thép trong điều kiện cháy. Quy trình tính toán theo ba phương pháp đơn giản bao gồm tra bảng, đường đẳng nhiệt và phương pháp phân lớp được trình bày cụ thể và minh họa thông qua ví dụ tính toán. Ảnh hưởng của một số thông số quan trọng như lớp bê tông bảo vệ, hàm lượng cốt thép và thời gian cháy được khảo sát. Kết quả cho thấy khi tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ và hàm lượng cốt thép thì khả năng chịu lực khi cháy của sàn tăng lên, tuy nhiên khả năng chịu lực chỉ tăng đến một giá trị nào đó thì lại giảm dần do chiều cao làm việc giảm. Khi thời gian cháy tăng lên thì khả năng chịu lực khi cháy của sàn cũng giảm đi. Nếu vẽ giá trị mô men ngoại lực và khả năng chịu lực trên cùng một biểu đồ thì dễ dàng xác định được khả năng chịu lực khi cháy của sàn bê tông cốt thép.

Từ khóa: dầm; bê tông cốt thép; chịu lửa; khả năng chịu lửa; EC2.

CALCULATION OF FIRE RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE SLABS USING THE SIMPLIFIED METHODS ACCORDING TO EN 1992-1-2

Abstract

This paper presents the general principles and the simplified methods to design reinforced concrete slabs in fire according to the Eurocode EN 1992-1-2 of structural fire design for concrete structures. The detailed design procedures for three simplified methods, namely the tabulated method, the 500°C isotherm method and the zone method are established and illustrated by a design example. The effects of critical parameters including concrete cover, mechanical reinforcement ratio and fire duration are investigated. The results show that fire resistance of concrete slabs increases as concrete cover and reinforcement ratio increase. However, up to a certain value of the concrete cover, the fire resistance will reduce caused by a decrease of the effective depth. If the fire duration is longer, the load-bearing capacity of slabs will also be reduced. It can be easily determined the fire resistance of a concrete slab if the bending moment and the fire resistance are drawn in one figure.

Keywords: beams; reinforced concrete; fire; fire resistance; EC2.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(2V\)-05](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(2V)-05) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Tiêu chuẩn thiết kế của nhiều quốc gia, trong đó có Việt Nam, đã đưa ra các chỉ dẫn kỹ thuật cho kết cấu khi chịu lửa. Tuy nhiên, phần lớn các tiêu chuẩn chỉ đưa ra các quy tắc mang tính mô tả dưới

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: trungnt2@nuce.edu.vn (Trung, N. T.)

dạng bảng biểu, trong đó quy định cấp chịu lửa của kết cấu phụ thuộc vào bề dày lớp bê tông bảo vệ và kích thước nhỏ nhất của tiết diện chịu lực dựa vào các kết quả thí nghiệm.

Quy chuẩn QCVN 06:2010/BXD [1] (quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình) quy định bậc chịu lửa cấp I, II, III và IV cho các công trình xây dựng. Tương ứng với bậc chịu lửa là những khoảng thời gian tương ứng mà các cấu kiện phải đủ khả năng chịu lực. Trong hệ kết cấu nhà và công trình, sàn là cấu kiện quan trọng tiếp nhận và truyền tải trọng đứng xuống dầm và cột, đồng thời đóng vai trò như một vách cứng ngang để phân phối tải trọng ngang cho cột và hệ vách lõi. Khi xảy ra hỏa hoạn, nếu sàn không đủ an toàn chịu lực sẽ gây tổn thất sinh mạng lớn, đồng thời có thể ảnh hưởng đến các cấu kiện chịu lực khác và gây ra sụp đổ dây chuyền. Phụ lục F.12 của QCVN 06:2010/BXD [1] quy định rằng đối với sàn bê tông cốt thép (BTCT) sử dụng bê tông cốt liệu gốc silic hoặc đá vôi, để đảm bảo giới hạn chịu lửa theo các tiêu chí chịu lực R240, R180, R120, R90, R60 và R30, yêu cầu chiều cao nhỏ nhất của sàn tương ứng là 150, 150, 125, 125, 100 và 100 mm, và lớp bê tông bảo vệ tương ứng là 25, 25, 20, 20, 15 và 15.

Tuy nhiên, QCVN 06:2010/BXD cũng như tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép TCVN 5574:2012 [2] không đề cập tới sự ảnh hưởng của các yếu tố khác như đặc trưng cơ lý của bê tông và cốt thép ở nhiệt độ cao, cũng như không có một chỉ dẫn cụ thể nào để thiết kế cấu kiện BTCT chịu lửa. Do vậy, việc tìm hiểu các tiêu chuẩn nước ngoài là cấp bách và cần thiết cho công tác thiết kế kết cấu trong điều kiện cháy tại Việt Nam.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu về thiết kế kết cấu BTCT chịu lửa còn khá ít. Có một số nghiên cứu về cột BTCT chịu lửa, trong đó các phương pháp tính toán đơn giản theo tiêu chuẩn châu Âu EN 1992 phần 1-2 (EC2-1-2) cũng như phương pháp xây dựng biểu đồ tương tác được trình bày khá cụ thể, rõ ràng [3, 4]. Năm 2018, một nghiên cứu về thiết kế sàn BTCT chịu lửa được hướng dẫn bởi tác giả đã tìm hiểu về phương pháp tính toán theo EC2-1-2 [5]. Tuy nhiên, trong nghiên cứu đó phương pháp chia vùng chưa chính xác. Hơn nữa không đề cập đến việc kiểm tra khả năng chịu cắt và những yêu cầu về cấu tạo cốt thép.

Để thiết kế kết cấu BTCT ở nhiệt độ cao, tiêu chuẩn EC2-1-2 [6] đưa ra các chỉ dẫn khá rõ ràng và cho phép thiết kế theo ba phương pháp: phương pháp tra bảng, phương pháp đơn giản và phương pháp thiết kế theo yêu cầu cụ thể về khả năng làm việc của kết cấu. Bài báo này trình bày các nguyên tắc thiết kế chung và các phương pháp tính toán đơn giản cho cấu kiện sàn bê tông cốt thép, được quy định trong EC2-1-2. Quy trình tính toán theo ba phương pháp đơn giản bao gồm tra bảng, đường đẳng nhiệt và phương pháp phân lớp được trình bày cụ thể và minh họa thông qua ví dụ tính toán. Ảnh hưởng của một số thông số quan trọng như lớp bê tông bảo vệ, hàm lượng cốt thép và thời gian cháy được khảo sát.

2. Nguyên tắc thiết kế cấu kiện bê tông cốt thép chịu lửa theo EC2-1-2

2.1. Các phương pháp tính toán

Tiêu chuẩn EN 1992-1-2 trình bày ba phương pháp tính toán kết cấu chịu lửa là phương pháp tra bảng, phương pháp đơn giản và phương pháp nâng cao. Khái niệm và phạm vi áp dụng của ba phương pháp được liệt kê trong Bảng 1 [6].

Ba phương pháp trên được chia thành hai nhóm chính là *thiết kế theo các nguyên tắc định trước* (phương pháp tra bảng và phương pháp tính toán đơn giản), và *thiết kế theo tính năng kết cấu* (phương pháp nâng cao). Phương pháp thiết kế theo nguyên tắc định trước là xác định khả năng chịu lực của cấu kiện dựa trên các ứng xử nhiệt và ứng xử cơ học của vật liệu và kết cấu khi chịu tác động của một đường gia nhiệt cho trước (thường là đường gia nhiệt tiêu chuẩn). Còn đối với phương pháp thiết kế

Bảng 1. Phạm vi áp dụng của ba phương pháp thiết kế kết cấu chịu lửa

	Phương pháp tra bảng	Các phương pháp tính đơn giản	Phương pháp nâng cao
Phân tích cấu kiện riêng lẻ	Chỉ nêu số liệu áp dụng cho đường gia nhiệt tiêu chuẩn	Chỉ nêu số liệu phân bố nhiệt độ cho đường gia nhiệt tiêu chuẩn	Chỉ đưa ra các nguyên tắc
Phân tích một phần kết cấu	Không đề cập	Chỉ nêu số liệu phân bố nhiệt độ cho đường gia nhiệt tiêu chuẩn	Chỉ đưa ra các nguyên tắc
Phân tích tổng thể cả hệ kết cấu	Không đề cập	Không đề cập	Chỉ đưa ra các nguyên tắc

theo tính năng kết cấu, khả năng chịu lực của kết cấu được xác định theo các mô hình tính toán nâng cao khi chịu tác động của một đường gia nhiệt bất kỳ.

2.2. Đường gia nhiệt tiêu chuẩn

Đường gia nhiệt tiêu chuẩn (hay đường cong ISO-834 [7]) là đường biểu diễn sự tăng nhiệt độ theo thời gian. Đây là đường cong phổ biến được sử dụng để tính toán khả năng chịu lửa của kết cấu và được cho bởi công thức (1), trong đó t là thời gian (phút).

$$\theta_g = 20 + 345 \log(8t + 1) \quad (1)$$

2.3. Tổ hợp hệ quả của các tác động khi chịu lửa

Hệ quả của các tác động khi chịu lửa có thể được xác định theo hai phương pháp là phương pháp tổ hợp trực tiếp, hoặc phương pháp tổ hợp gián tiếp [8].

Theo phương pháp trực tiếp, tổ hợp tải trọng được xác định bao gồm tĩnh tải tiêu chuẩn và hoạt tải tiêu chuẩn nhân với hệ số ψ_2 (hệ số phụ thuộc vào loại công trình lấy theo tiêu chuẩn EN 1990 [9]). Từ tổ hợp tải trọng này, hệ quả các tác động sẽ được xác định dựa theo các phương pháp thông thường của cơ học kết cấu.

Theo phương pháp gián tiếp, hệ quả của các tác động khi chịu lửa có thể được xác định từ hệ quả phân tích kết cấu ở nhiệt độ thường như công thức (2) [6].

$$E_{d,fi,t} = E_{d,fi} = \eta_{fi} E_d \quad (2)$$

trong đó E_d là giá trị nội lực tính toán tương ứng ở nhiệt độ thường, với quy tắc tổ hợp cơ bản của các tác động; $E_{d,fi}$ là giá trị nội lực tính toán tương ứng trong trường hợp cháy; η_{fi} là hệ số giảm tải trọng trong trường hợp cháy, xác định bởi công thức (3) [6].

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \quad (3)$$

$Q_{k,1}$ là giá trị tiêu chuẩn của hoạt tải; G_k là giá trị tiêu chuẩn của tĩnh tải; γ_G là hệ số vượt tải cho tĩnh tải; $\gamma_{Q,1}$ là hệ số vượt tải cho hoạt tải; ψ_{fi} là hệ số tổ hợp cho các giá trị tải trọng thường xuyên hoặc tải trọng gần như thường xuyên được lấy bằng $\psi_{1,1}$ hoặc $\psi_{2,1}$ theo tiêu chuẩn EN 1990 [9].

2.4. Các tiêu chí về khả năng chịu lửa và nguyên tắc kiểm tra theo tiêu chí chịu lực

Khi cấu kiện bị tác động bởi đường gia nhiệt tiêu chuẩn, cấu kiện cần thỏa mãn ba tiêu chí sau: (i) Tiêu chí về tính toàn vẹn (tiêu chí E): cấu kiện phải đảm bảo không bị vỡ rời; (ii) Tiêu chí về khả năng cách nhiệt (tiêu chí I): cấu kiện phải đảm bảo khả năng cách nhiệt, nghĩa là sự gia tăng nhiệt độ trung bình ở mặt cấu kiện không bị cháy không vượt quá 140K, đồng thời sự gia tăng nhiệt độ lớn nhất ở mặt này không vượt quá 180K; (iii) Tiêu chí về khả năng chịu lực (tiêu chí R): cấu kiện phải đảm bảo khả năng chịu lực trong quá trình bị cháy. Các tiêu chí kết hợp có thể được ký hiệu là REI30, REI60... Một số thời gian chịu lửa thường được sử dụng cho kết cấu BTCT là REI60, REI90, REI120, REI150, REI180 và REI240.

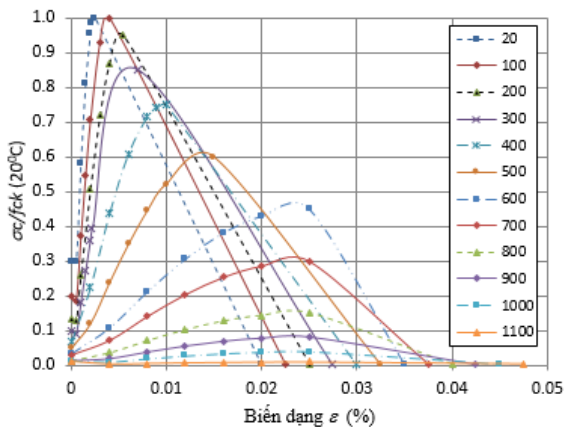
Đối với kết cấu chịu lực thì tiêu chí R là quan trọng nhất. Trong một khoảng thời gian xác định, dưới tác động của đường gia nhiệt tiêu chuẩn ISO 834, khả năng chịu lửa theo tiêu chí R cần được kiểm tra theo điều kiện sau:

$$E_{d,fi} \leq R_{d,fi} \quad (4)$$

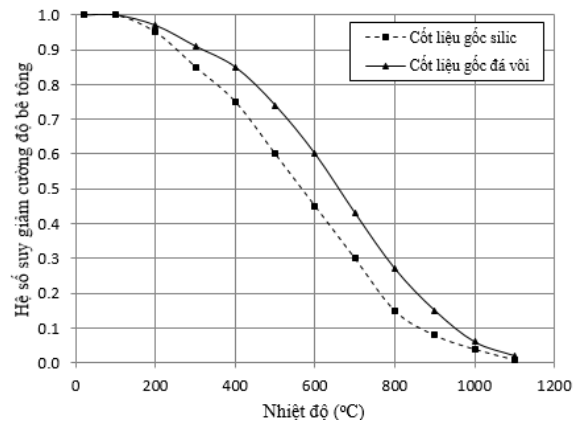
trong đó $E_{d,fi}$ là giá trị thiết kế của tác động trong điều kiện nhiệt độ cao theo EC2-1-2, có kể đến ảnh hưởng của biến dạng nhiệt; $R_{d,fi}$ là khả năng chịu lực thiết kế tương ứng trong điều kiện nhiệt độ cao.

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

Để thiết kế kết cấu BTCT chịu lửa, các thông số quan trọng nhất là quan hệ ứng suất - biến dạng, độ suy giảm cường độ của bê tông và cốt thép. Các thông số này được quy định trong EC2-1-2 và được biểu diễn trên Hình 1 và Hình 2.



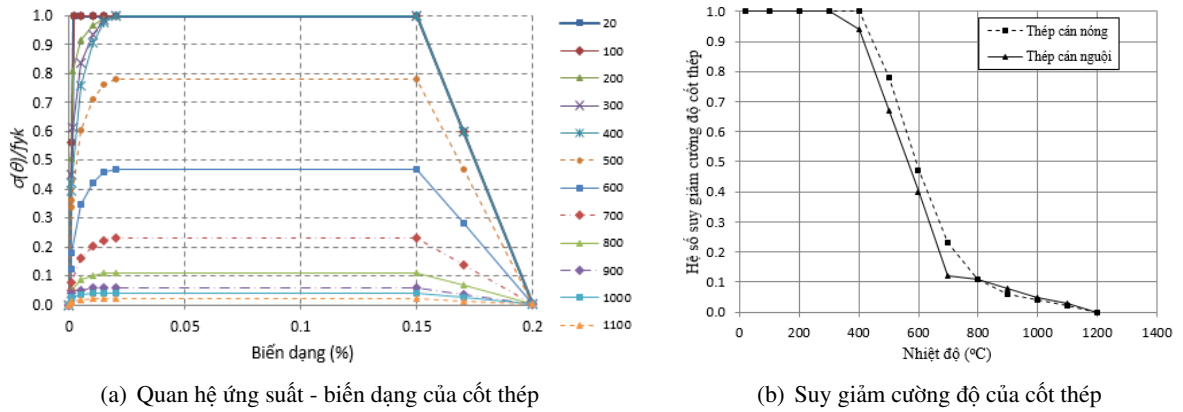
(a) Quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông



(b) Suy giảm cường độ của bê tông

Hình 1. Đặc trưng cơ lý của bê tông ở nhiệt độ cao

Khi nhiệt độ tăng cao, cả cường độ và mô đun đàn hồi của bê tông và cốt thép đều suy giảm, nhưng biến dạng tương ứng với ứng suất lớn nhất, cũng như biến dạng cực hạn của bê tông lại tăng dần cùng với nhiệt độ, nghĩa là bê tông trở nên mềm hơn. Giá trị của các hệ số suy giảm cường độ theo nhiệt độ cho bê tông cốt liệu gốc silic và gốc đá vôi cũng như cho cốt thép cán nóng và kéo nguội được chỉ ra trên Hình 1(b) và 2(b).



Hình 2. Đặc trưng cơ lý của bê tông và cốt thép ở nhiệt độ cao

3. Các phương pháp đơn giản thiết kế sàn bê tông cốt thép chịu lửa theo EC2-1-2

3.1. Phương pháp tra bảng

Phương pháp tra bảng áp dụng được cho sàn BTCT cho trường hợp chịu tác động của đường gia nhiệt tiêu chuẩn ISO-834 với thời gian không quá 240 phút. Quy trình thiết kế sàn BTCT theo phương pháp này như sau.

- Xác định giá trị của khoảng cách đến trục cốt thép a , chiều dày lớp bê tông tính từ mặt chịu lửa đến trọng tâm cốt thép của bản loại dầm. Trường hợp bản hai phương thì khoảng cách a này tính đến trọng tâm cốt thép lớp dưới;
- Tra Bảng 2 ứng với mỗi loại sàn để xác định chiều dày nhỏ nhất và khoảng cách đến trục cốt thép nhỏ nhất yêu cầu cho mỗi khả năng chịu lực. So sánh giá trị thiết kế với giá trị yêu cầu để xác định cấu kiện có thoả mãn yêu cầu chịu lửa đặt ra hay không.

Bảng 2. Kích thước và khoảng cách trục cho bản một phương và bản hai phương

Khả năng chịu lửa tiêu chuẩn	Các kích thước nhỏ nhất (mm)			
	Chiều dày bản h_s (mm)	Chiều dày lớp bê tông tính đến trọng tâm cốt thép, a		
		Bản một phương	Bản hai phương	
			$l_y/l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y/l_x \leq 2$
REI 30	60	10*	10*	10*
REI 60	80	20	10*	15*
REI 90	100	30	15*	20
REI 120	120	40	20	25
REI 180	150	55	30	40
REI 240	175	65	40	50

3.2. Phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C (theo Phụ lục B1 EC2-1-2 [6])

Phương pháp đường đẳng nhiệt có thể áp dụng được cho cấu kiện dầm, cột, sàn chịu tác động của đường gia nhiệt tiêu chuẩn với chiều dày tối thiểu của sàn thoả mãn điều kiện ở Bảng B1 phụ lục B1

[6]. Phương pháp này dựa trên nguyên tắc bỏ đi phần tiết diện có nhiệt độ lớn hơn 500°C. Kích thước tiết diện suy giảm bằng kích thước tiết diện nguyên trừ đi vùng bê tông có nhiệt độ lớn hơn 500°C. Những vùng có nhiệt độ lớn hơn 500°C thì được giả thiết là bị mất hết khả năng chịu lực, trong khi những vùng bê tông còn lại sẽ duy trì được cường độ và mô đun đàn hồi ban đầu. Cốt thép trong tiết diện suy giảm được tính giảm cường độ dựa theo nhiệt độ trong thanh cốt thép.

Phương pháp này có thể áp dụng để tính toán cho cả vùng chịu mô men dương và chịu mô men âm của sàn. Tuy nhiên, trong trường hợp chịu mô men âm, vùng bê tông chịu nén ở mặt dưới của sàn (là mặt chịu tác động trực tiếp của lửa). Nếu tính theo phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C, kết quả sẽ không chính xác bằng phương pháp phân lớp. Bởi vì đối với những vùng có nhiệt độ lớn hơn 200°C và nhỏ hơn 500°C mà vẫn giữ nguyên cường độ ban đầu của bê tông là không chính xác (xem Hình 1(a)). Do vậy, phương pháp này nên được áp dụng cho sàn BTCT tại những vùng chịu mô men dương, khi đó vùng kéo của bê tông nằm trong vùng có nhiệt độ lớn và có thể bỏ đi hoàn toàn. Quy trình tính toán như sau:

- Xác định tải trọng tính toán w_{fi} và nội lực lớn nhất $M_{Ed,fi}$, $V_{Ed,fi}$ khi cháy;
- Xác định sự phân bố nhiệt độ trong sàn. Dựa vào Hình 3 để xác định nhiệt độ mặt trên, nhiệt độ của cốt thép và nhiệt độ mặt dưới của sàn;
- Xác định hệ số suy giảm cường độ của bê tông k_c và của cốt thép k_s khi cháy (Hình 1(b) và 2(b)). Từ đó xác định được cường độ tính toán khi cháy của vật liệu.

Cường độ tính toán ở nhiệt độ cao của cốt thép:

$$f_{yd,fi} = k_s f_{yk} / 1,15 \quad (5)$$

Cường độ tính toán ở nhiệt độ cao của bê tông:

$$f_{cd,fi} = k_c f_{ck} / 1,5 \quad (6)$$

trong đó f_{yk} là cường độ chảy đặc trưng của cốt thép ở nhiệt độ thường (MPa); f_{ck} là cường độ đặc trưng khi chịu nén của bê tông ở nhiệt độ thường (MPa).

- Xác định khả năng chịu mô men của sàn theo nguyên tắc của cấu kiện chịu uốn;

Chiều cao vùng nén:

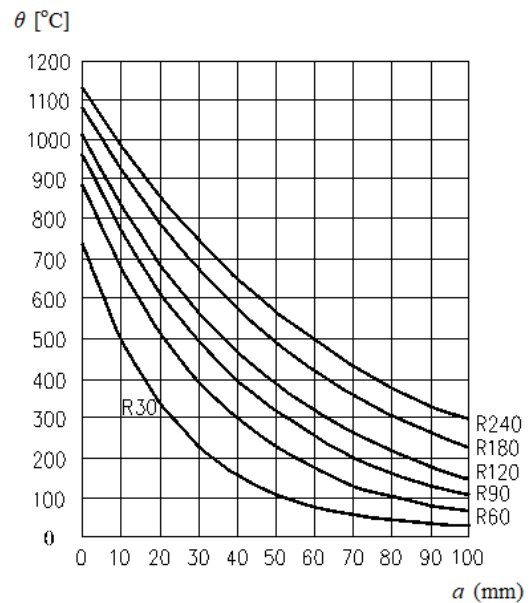
$$x = \frac{A_s f_{yd,fi}}{f_{cd,fi} \lambda b} \quad (\text{mm}) \quad (7)$$

trong đó A_s là diện tích cốt thép chịu kéo; b là bề rộng tiết diện; $\lambda = 0,8$ khi $f_{ck} \geq 50\text{MPa}$.

Cánh tay đòn:

$$z = d - \lambda x / 2 \quad (\text{mm}) \quad (8)$$

trong đó d là chiều cao làm việc của tiết diện.



Hình 3. Các đường phân bố nhiệt độ áp dụng cho sàn chịu lửa từ R30 đến R240

Khả năng chịu mô-men khi cháy:

$$M_{Rd,fi} = A_s f_{yd,fi} z \quad (\text{kNm}) \quad (9)$$

- So sánh $M_{Ed,fi}$ và $M_{Rd,fi}$. Kiểm tra khả năng chịu cắt của sàn và kết luận.

3.3. Phương pháp phân lớp [6]

Phương pháp này có thể áp dụng cho các kết cấu chịu tác động của đường gia nhiệt tiêu chuẩn. Phương pháp này chia tiết diện thành các lớp có chiều dày bằng nhau (tối thiểu bằng 3), sau đó xác định nhiệt độ trung bình, hệ số suy giảm cường độ bê tông và mô đun đàn hồi tương ứng của từng lớp. Từ đó, xác định được hệ số suy giảm cường độ trung bình $k_{c,m}$ và chiều dày của lớp bê tông bị hỏng do cháy a_z . Cốt thép được tính giảm cường độ dựa theo nhiệt độ trong thanh cốt thép. Như đã phân tích ở mục 3.2, phương pháp này nên sử dụng tại vùng có mô men âm, vì bê tông vùng nén nằm ở thứ bị suy giảm cường độ do cháy. Quy trình tính toán như sau.

- Xác định tải trọng tính toán w_{fi} và nội lực lớn nhất $M_{Ed,fi}$, $V_{Ed,fi}$ khi cháy;

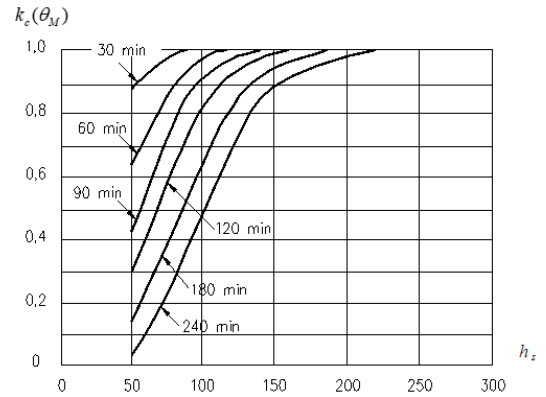
- Xác định khả năng chịu mô men của sàn:

+ Chia tiết diện thành n lớp có chiều dày bằng nhau ($n \geq 3$). Xác định nhiệt độ tại tâm của mỗi lớp và hệ số suy giảm cường độ bê tông tương ứng $k_c(\theta_i)$.

+ Xác định hệ số suy giảm cường độ trung bình:

$$k_{c,m} = \frac{1 - \frac{0,2}{n}}{n} \sum_{i=1}^n k_c(\theta_i) \quad (10)$$

+ Chiều dày của lớp bê tông bị hỏng do cháy được xác định bởi công thức (11):



Hình 4. Hệ số giảm cường độ chịu nén của tiết diện giảm yếu

$$a_z = h_s \left[1 - \frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right] \quad (\text{mm}) \quad (11)$$

trong đó $k_c(\theta_M)$ là hệ số suy giảm cường độ bê tông tham khảo (Hình 4).

+ Xác định chiều dày sàn giảm yếu và chiều cao làm việc hiệu quả giảm yếu:

$$h'_s = h_s - a_z \quad (\text{mm}) \quad (12)$$

$$d' = h'_s - a \quad (\text{mm}) \quad (13)$$

+ Lực kéo cốt thép:

$$F_s = f_{yd,fi} A'_s \quad (\text{kN}) \quad (14)$$

+ Lực nén bê tông:

$$F_c = f_{cl,f} \lambda x b \quad (\text{kN}) \quad (15)$$

+ Chiều cao vùng nén x sẽ được xác định bằng cách cân bằng tổng các lực nén trong từng phân lớp F_{ci} với lực kéo của cốt thép F_s .

+ Cánh tay đòn:

$$z = d' - 0,5 \lambda x \quad (\text{mm}) \quad (16)$$

+ Khả năng chịu mô-men khi cháy:

$$M_{Rd,fi} = A'_s f_{yd,fi} z \quad (\text{kNm}) \quad (17)$$

- So sánh $M_{Ed,fi}$ và $M_{Rd,fi}$. Kiểm tra khả năng chịu cắt của sàn và kết luận.

3.4. Kiểm tra khả năng chịu cắt của sàn

Việc kiểm tra khả năng chịu cắt của sàn khi cháy được dựa trên các nguyên tắc thiết kế của tiêu chuẩn EN 1992-1-1 [10] và EN 1992-1-2 [6]. Lực cắt trong bản thường là nhỏ nên bê tông đã đủ khả năng chịu cắt. Khả năng chịu cắt tính toán của sàn bê tông khi cháy được xác định bằng công thức (18).

$$V_{Rd,c,fi} = C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck,fi})^{1/3} b_w d' \quad (\text{kN}) \quad (18)$$

và không nhỏ hơn giá trị sau:

$$V_{Rd,c,fi} = v_{\min} b_w d' \quad (\text{kN}) \quad C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c; v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck,fi}^{1/2} \quad (\text{MPa}) \quad (19)$$

trong đó $k = 1 + \sqrt{200/d'} \leq 2,0$ với d' là chiều cao làm việc giảm yếu của tiết diện (mm); $\rho_1 = A_{sl}/b_w d' \leq 0,02$; A_{sl} là diện tích cốt thép chịu kéo (mm^2); b_w là bề rộng nhỏ nhất của mặt cắt tiết diện vùng kéo (mm).

3.5. Một số vấn đề về cấu tạo cốt thép

Ngoài các quy định như đối với sàn BTCT ở nhiệt độ thường, trong trường hợp sử dụng phương pháp tra bảng để kiểm tra khả năng chịu lực của sàn khi cháy, lớp bê tông bảo vệ phải được chọn sao cho đảm bảo khoảng cách đến trục cốt thép như yêu cầu trong Bảng 2. Nếu lựa chọn nhỏ hơn khoảng cách này thì phải sử dụng các phương pháp phức tạp hơn, như phương pháp đường đẳng nhiệt, phương pháp phân lớp hay phương pháp nâng cao để kiểm tra.

Các yêu cầu về khoảng cách cốt thép đối với sàn BTCT khi chịu lửa tương tự như đối với sàn BTCT ở nhiệt độ thường. Trừ phi cốt thép thường được tính toán để đảm bảo khả năng chịu lực khi cháy, các yêu cầu về hàm lượng cốt thép tối thiểu và tối đa cũng tương tự. Hàm lượng cốt thép tối thiểu theo tiêu chuẩn EN 1992-1-1 [10] là 0,13% và hàm lượng tối đa là 4% tại vùng không nổi cốt thép.

4. Ví dụ tính toán và khảo sát tham số

4.1. Ví dụ tính toán

Ví dụ 1: Cho một sàn làm việc một phương, có sơ đồ tính là một dầm liên tục hai nhịp với chiều dài tính toán mỗi nhịp $l = 6$ m. Chiều dày bản là $h_s = 180$ mm. Bê tông cốt liệu gốc silic có $f_{ck} = 25$ MPa, cốt thép có giới hạn chảy $f_y = 500$ MPa. Sàn được bố trí cốt thép tại nhịp là $\phi 14a150$ ($A_{s,span} = 1077 \text{ mm}^2$), cốt thép trên gối là $\phi 14a125$ ($A_{s,sup} = 1232 \text{ mm}^2$). Chiều dày lớp bê tông bảo vệ $a_0 = 20$ mm. Tĩnh tải phụ thêm là $1,5 \text{ kN/m}^2$, hoạt tải là $5,0 \text{ kN/m}^2$. Sàn có chức năng là khu mua sắm nên hệ số $\psi_2 = 0,6$. Kiểm tra khả năng chịu lực của sàn khi cháy với đường gia nhiệt tiêu chuẩn trong 90 phút (R90).

Tổng trọng lượng bản thân sàn và tải trọng phụ thêm là $6,0 \text{ kN/m}^2$. Tổ hợp tải trọng khi cháy w_{fi} là $9,0 \text{ kN/m}^2$. Tiết diện tính toán $b \times h_s = 1000 \times 180$ (mm). Khoảng cách trục cốt thép $a = 27$ mm. Chiều cao làm việc: $d = 153$ mm.

- Phương pháp tra bảng

Theo Bảng 2, với R90 ta có $h_{\min} = 100$ mm, $a_{\min} = 30$ mm. Sàn thỏa mãn điều kiện về chiều dày nhưng không thỏa mãn điều kiện khoảng cách trục cốt thép ($a = 27$ mm < 30 mm). Vậy theo phương pháp tra bảng thì sàn không đủ khả năng chịu lực khi xảy ra cháy 90 phút (không đạt R90).

- Phương pháp miền đẳng nhiệt 500°C (vùng chịu mô men dương)

Mô men dương lớn nhất tại giữa nhịp là: $M_{Ed,fi} = 0,07w_{fi}l^2 = 22,68$ kNm. Khi chịu lửa 90 phút, từ Hình 4 xác định được nhiệt độ tại mặt dưới của sàn là 963°C, nhiệt độ tại vị trí cốt thép là 525°C, nhiệt độ tại vị trí $h_s/2$ là 143°C, nhiệt độ tại vị trí $3/4h_s$ là 30°C. Theo Hình 2(b) hoặc Bảng 3 EC2-1-2, hệ số suy giảm cường độ của cốt thép $k_s(\theta) = 0,703$.

Bảng 3. Phân bố nhiệt độ và hệ số giảm cường độ bê tông của các phân lớp

Lớp	x (mm)	θ (°C)	$k_c(\theta)$
1	15	695	0,308
2	45	360	0,79
3	75	190	0,955
4	105	110	0,995
5	135	100	1,0
6	165	95	1,0
$\sum k_c(\theta_i)$			5,048

Vì nhiệt độ tại vị trí $3h/4 < 100^\circ\text{C}$ nên hệ số suy giảm cường độ bê tông $k_c = 1,0$. Cường độ tính toán của cốt thép: $f_{yd,fi} = 305,6$ MPa. Cường độ chịu nén tính toán của bê tông: $f_{cd,fi} = 16,67$ MPa. Tổng lực kéo $F_s = f_{yd,fi} \times A_{s,span} = 328959$ N. Tổng lực nén $F_c = \eta f_{cd,fi} \lambda x b = 13333,3x$. Cân bằng được chiều cao vùng nén $x = 24,7$ mm. Khả năng chịu lực khi cháy: $M_{u1} = F_s(d - 0,5\lambda x) = 47,1$ kNm > $M_{Ed,fi} = 22,68$ kNm. Như vậy, theo phương pháp miền đẳng nhiệt thì sàn đủ khả năng chịu mô men tại giữa nhịp khi chịu lửa trong 90 phút.

- Phương pháp chia vùng (vùng chịu mô men âm)

Mô men âm lớn nhất tại gối giữa là: $M_{Ed,fi} = 0,125w_{fi}l^2 = 40,5$ kNm. Chia sàn thành 6 lớp có chiều dày bằng nhau $\Delta x = 30$ mm. Nhiệt độ và hệ số suy giảm cường độ của từng lớp tại điểm chính giữa của mỗi lớp được cho trong Bảng 4.

Bảng 4. Khảo sát ảnh hưởng của lớp bê tông bảo vệ

c (mm)	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$R_{Ed,fi}$ (kNm)	29,89	41,93	50,46	51,67	52,22	55,7	53,36	51,02	48,07	46,34

Hệ số suy giảm cường độ trung bình theo công thức (10) là $k_{c,m} = 0,812$. Chiều dày lớp bê tông bị hỏng là $a_z = 33,8$ mm. Chiều dày của sàn sau khi giảm yếu là $h'_s = 146,2$ mm. Chiều cao làm việc hiệu quả của tiết diện sau khi giảm yếu: $d' = 119,2$ mm. Vì cốt thép nằm ở thớ trên của sàn, vùng có nhiệt độ nhỏ hơn 100°C nên không bị suy giảm cường độ. Lực kéo của cốt thép: $F_s = 535437$ N. Do vùng nén của bê tông nằm ở thớ dưới (mặt chịu lửa) nên cần thử dần để tìm x với điều kiện $F_s = F_c$, với $F_c = k_c(\theta) \times 25/1,5 \times 1,0 \times 0,8 \times x \times 1000$ (N). Thử dần tìm được chiều cao vùng nén $x = 46,5$ mm. Tính được khả năng chịu mô men là $M_{u2} = 53,9$ kNm > $M_{Ed,fi} = 22,68$ kNm. Như vậy, tính theo phương pháp chia vùng thì sàn đủ khả năng chịu mô men tại gối khi chịu lửa trong 90 phút.

- Kiểm tra khả năng chịu cắt

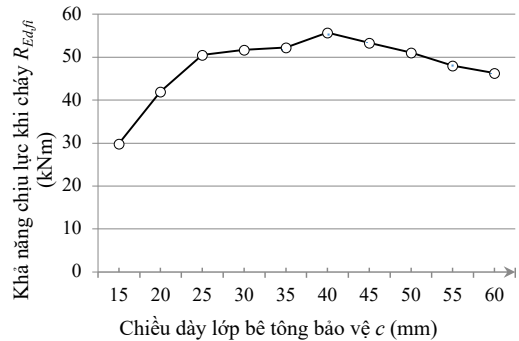
Giá trị lực cắt lớn nhất: $V_{Ed} = 0,625w_{fi}l = 33,75 \text{ kN}$. Khả năng chịu cắt thiết kế của bê tông được xác định theo công thức (18), tính được $V_{Rd,c} = 78,9 \text{ kN} > V_{Ed} = 33,75 \text{ kN}$. Do vậy, sàn đủ khả năng chịu cắt. Kết quả kiểm tra khả năng chịu lực trong 90 phút của sàn theo phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C và chia vùng đều thỏa mãn. Tuy nhiên, theo phương pháp tra bảng thì lại cho kết quả chưa đủ khả năng chịu lực. Lý do là phương pháp tra bảng được xây dựng ở mức đơn giản hóa, thiên về an toàn, còn phương pháp đường đẳng nhiệt và phân lớp sử dụng cường độ suy giảm của bê tông, cốt thép và sẽ cho kết quả tính toán chính xác hơn. Do đó, có thể kết luận rằng phương pháp tra bảng cho kết quả có độ an toàn khá cao.

4.2. Khảo sát một số thông số

a. Ảnh hưởng của lớp bê tông bảo vệ

Để khảo sát ảnh hưởng của lớp bê tông bảo vệ tới khả năng chịu lực khi cháy của sàn BTCT, sử dụng các thông số thiết kế như Ví dụ 1, chỉ thay đổi chiều dày lớp bê tông bảo vệ. Các bài toán khảo sát và kết quả được thể hiện trong Bảng 4 và Hình 5.

Có thể thấy rằng khi tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ thì khả năng chịu lực khi cháy cũng tăng theo dạng phi tuyến tính. Tuy nhiên, đến một giá trị nào đó của c thì khả năng chịu lực khi cháy lại giảm dần. Lý do là khi đó chiều cao làm việc giảm sẽ làm giảm khả năng chịu lực của sàn.

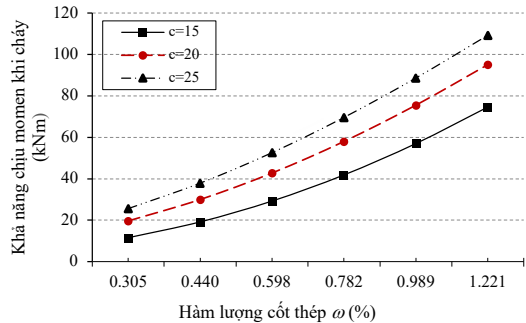


Hình 5. Ảnh hưởng của lớp bê tông bảo vệ

b. Ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép

Để khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép chịu kéo tới khả năng chịu lực của sàn ở nhiệt độ cao, thay đổi hàm lượng của cốt thép chịu kéo ứng với ba lớp bê tông bảo vệ khác nhau với các thông số thiết kế như Ví dụ 1. Với một lớp bảo vệ, đường kính cốt thép được giữ nguyên để không ảnh hưởng tới khoảng cách trục. Kết quả được cho trong Bảng 5 và Hình 6.

Kết quả cho thấy với cùng một lớp bê tông bảo vệ, khi tăng hàm lượng cốt thép dọc thì momen kháng cháy của sàn tăng nhanh. Khi hàm lượng cốt thép tăng 1,44 lần (từ 0,31% lên 0,44%) thì khả năng kháng cháy tăng từ 1,7 đến 1,5 (tương ứng với c bằng 15 mm và 25 mm). Khi hàm lượng cốt thép tăng gấp đôi (từ 0,31% lên 0,6%) thì mô men kháng cháy tăng lên lần lượt là 2,53, 2,18 và 2,05 lần tương ứng với c lần lượt bằng 15, 20, 25 mm. Mức độ tăng mô men kháng cháy sẽ giảm đi khi tăng lớp bê tông bảo vệ.



Hình 6. Ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép chịu kéo

c. Thời gian cháy

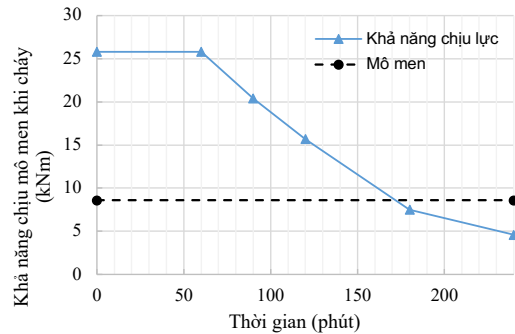
Bảng 5. Ảnh hưởng của hàm lượng cốt thép chịu kéo (đơn vị: kNm)

Cốt thép	$\phi 14a280$	$\phi 14a200$	$\phi 14a140$	$\phi 14a110$	$\phi 14a90$	$\phi 14a70$
μ (%)	0,31	0,44	0,60	0,78	0,99	1,22
$c = 15$ mm	11,54	19,17	29,24	41,85	57,00	74,60
$c = 20$ mm	19,65	29,97	42,77	58,00	75,53	95,08
$c = 25$ mm	25,60	37,88	52,60	69,61	88,63	109,26

Ví dụ 2: Cho một bản loại dầm một nhịp $L = 3,0$ m có $h_s = 150$ mm, khoảng cách trục cốt thép $a = 25$ mm, $\phi 10a150$, $\mu = 0,31\%$. Tĩnh tải $G = 1,5$ kNm², hoạt tải $Q = 4,0$ kN/m². Bê tông có $f_{ck} = 25$ MPa, cốt thép có $f_y = 500$ MPa. Khảo sát quan hệ giữa khả năng chịu lực và thời gian cháy.

Kết quả khảo sát được cho trong Bảng 6 và Hình 7. Rõ ràng rằng khi thời gian cháy tăng lên thì khả năng chịu lực giảm đi. Khi tăng thời gian cháy từ 60 phút lên 120 phút, khả năng kháng cháy giảm 39%, còn khi tăng thời gian cháy lên 180 phút thì khả năng kháng cháy giảm khá nhiều, khoảng 71%.

Nếu vẽ giá trị mô men ngoại lực và khả năng chịu cháy trên cùng một biểu đồ, ta dễ dàng xác định được khả năng chịu lửa của cấu kiện. Trong trường hợp này, sàn chịu lửa được 170 phút.



Hình 7. Quan hệ giữa khả năng kháng cháy và thời gian chịu lửa

Bảng 6. Khảo sát ảnh hưởng của thời gian cháy

t (phút)	0	60	90	120	180	240
θ_s (°C)	25	400	500	560	680	750
θ_d (°C)	25	890	960	1050	1090	1130
θ_t (°C)	25	25	25	25	25	25
$M_{Rd,fi}$ (kNm)	25,8	25,8	20,4	15,7	7,5	4,6
% giảm	-	0%	21%	39%	71%	82%

5. Kết luận

Bài báo đã trình bày các quy tắc thiết kế và quy trình tính toán cụ thể cho ba phương pháp tính toán đơn giản để xác định khả năng chịu lực của sàn BTCT khi cháy, mà trong các tiêu chuẩn cũng như quy chuẩn của Việt Nam chưa đề cập đến. Phương pháp tra bảng, phương pháp đường đẳng nhiệt và phương pháp phân lớp theo tiêu chuẩn EC2-1-2 có thể dùng để thiết kế sàn BTCT chịu tác động bởi đường gia nhiệt tiêu chuẩn lên đến 4 giờ (R240). Phương pháp tra bảng được xây dựng ở mức đơn giản hóa, thiên về an toàn, còn phương pháp đường đẳng nhiệt và phương pháp phân lớp sẽ cho kết quả chính xác hơn nhưng đòi hỏi nhiều tính toán phức tạp hơn.

Khi chiều dày lớp bê tông bảo vệ tăng lên thì khả năng chịu lửa theo tiêu chí R cũng tăng lên theo dạng phi tuyến. Tuy nhiên, đến một giá trị nào đó của lớp bê tông bảo vệ thì khả năng kháng cháy lại giảm dần do chiều cao làm việc giảm. Việc chọn lớp bê tông bảo vệ cho sàn là khá quan trọng để cân đối giữa khả năng chịu lực ở nhiệt độ thường và khả năng kháng cháy.

Với cùng một lớp bê tông bảo vệ, khi tăng hàm lượng cốt thép dọc thì mô men kháng cháy của sàn tăng nhanh. Mức độ tăng mô men kháng cháy sẽ tùy thuộc vào chiều dày của lớp bê tông bảo vệ. Khi thời gian cháy tăng lên thì khả năng kháng cháy của sàn cũng giảm đi. Nếu vẽ giá trị mô men ngoại lực và khả năng chịu lực trên cùng một biểu đồ thì dễ dàng xác định được khả năng chịu lực khi cháy của sàn bê tông cốt thép.

Lời cảm ơn

Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Trường Đại học Xây dựng (NUCE) cho đề tài khoa học cấp trường, mã số 101-2018/KH XD. Tác giả cảm ơn Thạc sỹ Phan Thành Đồng đã góp ý cho bài báo.

Tài liệu tham khảo

- [1] QCVN 06:2010/BXD. *Quy chuẩn kỹ thuật về an toàn cháy cho nhà và công trình*.
- [2] TCVN 5574:2012. *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [3] Thắng, N. T., Ninh, N. T. (2016). Biểu đồ tương tác của cột bê tông cốt thép ở nhiệt độ cao theo tiêu chuẩn châu Âu EC2. *Tạp chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng (KHCNXD) - Đại học Xây dựng*, 10(2):55–61.
- [4] Thắng, N. (2017). Xác định khả năng chịu lửa của cột bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn EC2-1-2. *Tạp chí Xây dựng Việt Nam, Bộ Xây dựng*, (590):71–75.
- [5] Đồng, P. T. (2018). *Thiết kế sàn bê tông cốt thép chịu lửa theo Tiêu chuẩn EN 1992-1-2*. Luận văn Thạc sĩ, Trường Đại học Xây dựng.
- [6] EN 1992-1-2 (2004). *Design of concrete structures. Part 1-2: General rules — Structural fire design*. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- [7] ISO 834:1975. *Fire resistance tests - Elements of building construction*.
- [8] EN 1991-1-2 (2002). *Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.
- [9] EN 1990 (2002). *Basis of structural design*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.
- [10] EN 1992-1-1 (2004). *Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*. European Committee for Standardization (CEN).