

KHẢO SÁT SỰ SUY GIẢM KHẢ NĂNG KHÁNG UỐN KHI CHÁY CỦA DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP THEO TIÊU CHUẨN CHÂU ÂU

Nguyễn Trường Thăng^{a,*}, Nguyễn Tuấn Trung^a

^a*Khoa Xây dựng dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng, số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 15/08/2019, Sửa xong 10/09/2019, Chấp nhận đăng 10/09/2019

Tóm tắt

Bài báo này giới thiệu các nguyên tắc chung và một số phương pháp tính toán được quy định trong tiêu chuẩn châu Âu EN 1992-1-2 về thiết kế kháng cháy cho kết cấu bê tông cốt thép và được áp dụng để xác định hệ số suy giảm khả năng kháng uốn (KNKU) của dầm bê tông cốt thép (BTCT) khi chịu tác động của đường gia nhiệt tiêu chuẩn ISO 834. Các tính chất cơ lý của vật liệu bê tông và cốt thép ở nhiệt độ cao, phương pháp tra bảng và phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C (thuộc các phương pháp đơn giản hóa) được giới thiệu và minh họa thông qua các ví dụ thực hành. Một công cụ bản tính được thiết lập để tính toán và khảo sát KNKU của dầm. Kết quả khảo sát đã minh họa một cách tường minh rằng hệ số suy giảm KNKU của dầm BTCT ở nhiệt độ cao tỷ lệ thuận với kích thước tiết diện và khoảng cách từ mặt ngoài tới trọng tâm cốt thép dọc (khoảng cách trục), nhưng không bị ảnh hưởng đáng kể bởi cường độ chịu nén của bê tông.

Từ khóa: dầm; bê tông cốt thép; kháng uốn; cháy; tiêu chuẩn châu Âu.

INVESTIGATION ON FLEXURAL STRENGTH DETERIORATION OF REINFORCED CONCRETE BEAMS UNDER FIRE EXPOSURE TO THE EUROCODE

Abstract

This paper introduces the general principles and a number of calculation methods specified in the Eurocode EN 1992-1-2 of structural fire design for concrete structures, which can be applied to determine the flexural strength deterioration (FSD) coefficient of reinforced concrete (RC) beams when subjected to fire exposure following ISO 834 curve. Temperature-dependent mechanical properties of concrete and reinforcing steel, tabulated method and 500°C isotherm method (among simplified calculation methods) are introduced and illustrated by design case studies. A calculation sheet is established to investigate the FSD of RC beams. It is explicitly shown that the FSD coefficient of RC beams is proportional to the beam cross-sectional dimensions and the distance from the beam surfaces to the centroid of longitudinal reinforcement (so-called axis distance), but is not significantly affected by concrete compressive strength.

Keywords: beam; reinforced concrete; flexural strength; fire; Eurocode.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(4V\)-03](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(4V)-03) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Ở điều kiện nhiệt độ thường, cấu kiện dầm bê tông cốt thép (BTCT) được thiết kế trên nguyên tắc sao cho tại trạng thái giới hạn, dầm không bị phá hoại trên các tiết diện thẳng góc, tiết diện nghiêng và vênh khi hệ quả tương ứng của tác động là mômen uốn, lực cắt và mômen xoắn đạt tới giá trị tới hạn [1]. Khả năng kháng uốn (KNKU) trên tiết diện thẳng góc của dầm BTCT được xác định thông

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: thangnt2@nuce.edu.vn (Thăng, N. T.)

qua cặp nội ngẫu lực tạo bởi hợp lực của ứng suất trong các thanh cốt thép dọc được bố trí ở vùng kéo và hợp lực của ứng suất nén trong bê tông và cốt thép ở phía đối diện qua trục trung hòa của tiết diện. Khi xảy ra sự cố hỏa hoạn trong công trình, cấu kiện dầm BTCT có tiết diện chữ nhật bị tác động trực tiếp bởi nhiệt độ cao từ mặt dưới và hai mặt bên hoặc từ mặt trên của dầm. Do tính chất truyền nhiệt của bê tông, nhiệt độ tại cốt thép dọc và bê tông đều tăng lên, kết hợp với sự suy giảm của các tính chất cơ lý của vật liệu, làm giảm giá trị của cặp nội ngẫu lực và ảnh hưởng tới cánh tay đòn giữa chúng, dẫn tới giảm dần KNKU của dầm BTCT trong suốt thời gian hỏa hoạn.

Trên thế giới, một số nước và vùng lãnh thổ có nền khoa học công nghệ tiên tiến đã sớm thực hiện nhiều nghiên cứu thực nghiệm về KNKU của dầm BTCT với các thông số được khảo sát bao gồm đường gia nhiệt, loại cốt liệu, sự phân phối lại nội lực ... [2-4]. Một số tác giả sử dụng quan hệ độ cong - mômen và thực hiện mô phỏng số để theo dõi phản ứng của dầm BTCT khi chất tải toàn bộ đến khi sụp đổ dưới tác động của nhiệt độ cao [5, 6]. Các kết quả nghiên cứu đã được cập nhật vào tiêu chuẩn thiết kế, trong đó tiêu chuẩn châu Âu EN 1992-1-1 và 1-2 [7, 8] có tương đối đầy đủ thông tin và được áp dụng khá rộng rãi trong lĩnh vực thiết kế kết cấu BTCT ở nhiệt độ thường và nhiệt độ cao theo đường gia nhiệt ISO 834 [9].

Tại Việt Nam trong thời gian qua đã liên tiếp xảy ra nhiều vụ hỏa hoạn nghiêm trọng trong các công trình xây dựng bằng BTCT, gây thiệt hại nặng nề về người và tài sản. Trong khi đó, quy chuẩn quốc gia về an toàn cháy cho nhà và công trình [10] chỉ quy định cấp chịu lửa của kết cấu BTCT đơn thuần thông qua kích thước nhỏ nhất của tiết diện và bề dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép. Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu hiện hành của Việt Nam [11] chưa cung cấp số liệu về tính chất cơ lý ở nhiệt độ cao của bê tông và cốt thép và cũng chưa hướng dẫn các phương pháp tính toán khả năng chịu lực của cấu kiện BTCT trong điều kiện cháy. Gần đây, một số công trình nghiên cứu đã được công bố ở trong nước theo hướng ứng dụng tiêu chuẩn châu Âu vào điều kiện Việt Nam, nhưng chủ yếu được thực hiện trên cấu kiện cột và sàn BTCT [12-19].

Trong bài báo này, các nguyên tắc chung và một số phương pháp tính toán của tiêu chuẩn châu Âu EN 1992-1-2 (gọi tắt là EC2-1-2) [8] bao gồm phương pháp tra bảng và phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C (thuộc các phương pháp tính toán đơn giản hóa) được giới thiệu để xác định KNKU của dầm BTCT khi chịu tác động của đường gia nhiệt tiêu chuẩn ISO 834 [9]. Thông qua một số ví dụ thực tế, một công cụ bản tính được thiết lập để khảo sát các yếu tố ảnh hưởng tới sự suy giảm KNKU của dầm BTCT là: (i) Kích thước tiết diện dầm; (ii) Khoảng cách từ mặt ngoài đến trọng tâm cốt thép dọc; và (iii) Cường độ chịu nén của bê tông.

2. Các nguyên tắc chung của tiêu chuẩn EC2-1-2

2.1. Các phương pháp tính toán

Trong tiêu chuẩn EC2-1-2, việc thiết kế tính toán khả năng chịu lửa của kết cấu BTCT được chia thành hai nhóm chính:

- Nhóm 1: Thiết kế theo các nguyên tắc định trước (prescriptive rules): dựa vào các ứng xử về nhiệt học và cơ học của vật liệu và kết cấu thu được từ các thí nghiệm tiêu chuẩn khi mẫu thử chịu tác động của một đường gia nhiệt cho trước trên bề mặt (thường gọi là đường gia nhiệt tiêu chuẩn), từ đó đưa ra phương pháp tra bảng.

- Nhóm 2: Thiết kế theo yêu cầu cụ thể về tính năng của kết cấu (performance-based approaches): dựa vào ứng xử về nhiệt và cơ học của vật liệu và kết cấu khi chịu tác động của một đường gia nhiệt bất kỳ đặt ra trong từng trường hợp cụ thể và các mô hình truyền nhiệt để xác định khả năng làm việc của kết cấu theo những yêu cầu cho trước. Trong nhóm này có hai phương pháp thiết kế là: (i) Phương pháp đơn giản hóa; và (ii) Phương pháp nâng cao.

Các phương pháp tính toán nêu trên có thể được áp dụng cho một hoặc một số trong các dạng kết cấu có độ phức tạp tăng dần là cấu kiện đơn lẻ, một nhóm cấu kiện và toàn bộ hệ kết cấu (Bảng 1).

Bảng 1. Các phương pháp tính toán của Tiêu chuẩn EC2-1-2

	Cấu kiện kết cấu đơn lẻ	Một nhóm cấu kiện	Toàn bộ hệ kết cấu
Phương pháp tra bảng	- Cung cấp số liệu ứng với đường gia nhiệt tiêu chuẩn	- Không đề cập	- Không đề cập
Phương pháp đơn giản hóa	- Trường phân bố nhiệt độ ứng với đường gia nhiệt tiêu chuẩn - Tính chất cơ lý của vật liệu ứng với đường gia nhiệt tiêu chuẩn hoặc tương tự	- Trường phân bố nhiệt độ ứng với đường gia nhiệt tiêu chuẩn - Tính chất cơ lý của vật liệu ứng với đường gia nhiệt tiêu chuẩn hoặc tương tự	- Không đề cập
Phương pháp nâng cao	- Chỉ đề cập nguyên tắc chung	- Chỉ đề cập nguyên tắc chung	- Chỉ đề cập nguyên tắc chung

2.2. Đường gia nhiệt tiêu chuẩn

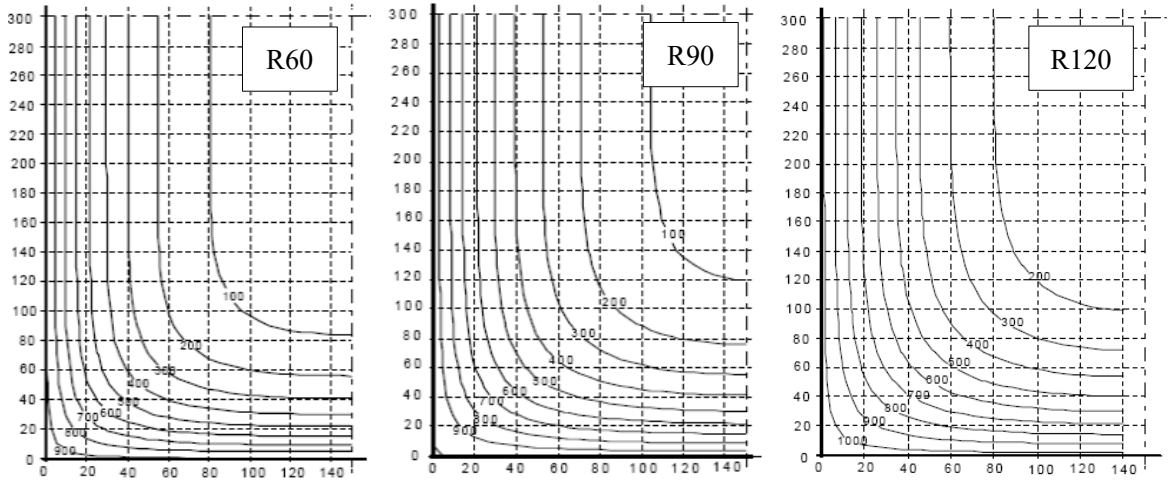
Tiêu chuẩn EC2-1-2 quy định khi chịu tác động cháy, nhiệt độ $T_g(^{\circ}\text{C})$ tại môi trường bên ngoài bề mặt cấu kiện tăng nhanh theo thời gian t (phút) như biểu thức sau:

$$T_g = 20^{\circ}\text{C} + 345\log_{10}(8t + 1) \quad (1)$$

Đây là quan hệ nhiệt độ - thời gian quy định trong tiêu chuẩn ISO 834 [9], được gọi là đường gia nhiệt tiêu chuẩn và được áp dụng thống nhất trong các phòng thí nghiệm để phục vụ công tác nghiên cứu thực nghiệm cũng như kiểm định khả năng kháng cháy cho sản phẩm công nghiệp xây dựng của các nước liên minh châu Âu. Đối với các nước khu vực Bắc Mỹ, đường gia nhiệt tiêu chuẩn tuân theo ASTM E119 [20].

2.3. Sự phân bố nhiệt độ trong dầm BTCT

Khi cấu kiện dầm BTCT có tiết diện chữ nhật bị gia nhiệt từ mặt ngoài theo đường nhiệt độ - thời gian tiêu chuẩn ISO 834 [9], sự truyền nhiệt giữa môi trường ngoài với cấu kiện BTCT diễn ra thông qua các hiện tượng đối lưu (định luật Newton) và bức xạ nhiệt (định luật Stephan-Boltzman). Tiêu chuẩn EC2-1-2 áp dụng hệ số bức xạ nhiệt là $\mu_f = 1,0$ và hệ số truyền nhiệt đối lưu là $\alpha_k = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ [8]. Để đơn giản hóa, giả thiết bỏ qua sự ảnh hưởng của cốt thép và nhiệt độ tại vị trí cốt thép được lấy bằng nhiệt độ của bê tông xung quanh nó. Như vậy, tại một thời điểm nhất định kể từ khi bắt đầu bị gia nhiệt, nhiệt độ tại các điểm bên trong tiết diện dầm là khác nhau và tăng dần từ bên trong ra phía ngoài, các điểm có nhiệt độ bằng nhau tạo nên nhiều họ đường đẳng nhiệt khép kín trong tiết diện. Phụ lục A của Tiêu chuẩn EC2-1-2 cung cấp thông tin về sự phân bố nhiệt độ trên một số dầm BTCT tiết diện chữ nhật tại một số thời điểm nhất định của đám cháy là 30, 60, 90, 120, 180 và 240 phút (ký hiệu tương ứng là R30, R60, R90, R120, R180 và R240). Hình 1 minh họa các đường đẳng nhiệt do EC2-1-2 cung cấp trên 1/4 tiết diện của dầm có $b \times h = 300 \times 600 \text{ mm}$ tại các thời điểm R60, R90 và R120 [8].

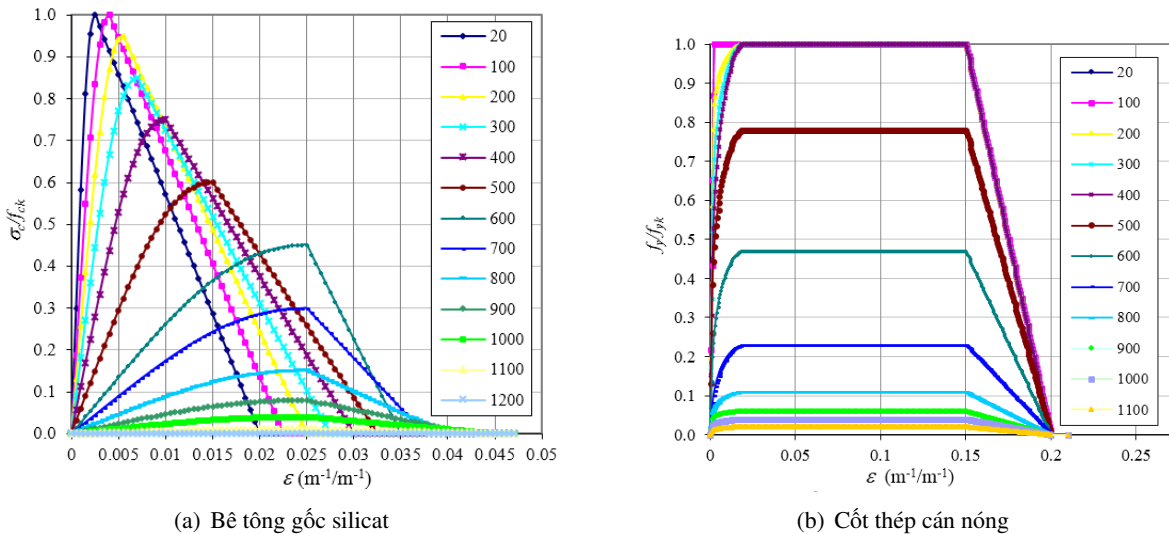


Hình 1. Phân bố nhiệt độ trên 1/4 tiết diện dầm theo EC2-1-2 [8]

2.4. Sự suy giảm tính năng chịu lực của vật liệu ở nhiệt độ cao

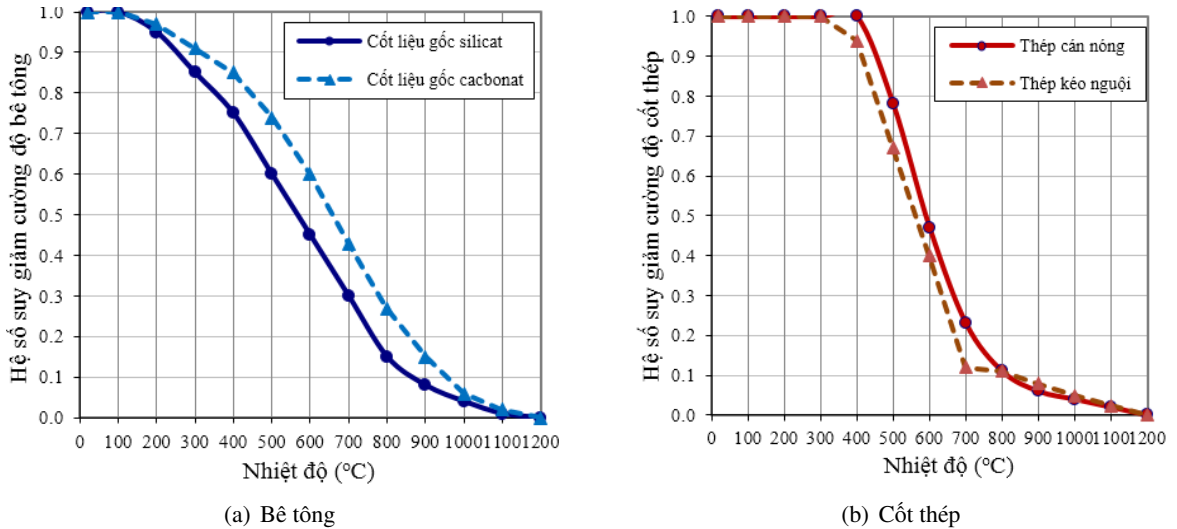
Tại một thời điểm nhất định của đám cháy, mỗi phân tố bê tông hoặc cốt thép trên tiết diện dầm BTCT có nhiệt độ khác nhau (Hình 1) và có ứng xử cơ học khác nhau. Theo thời gian, nhiệt độ càng tăng dẫn tới các đặc tính cơ học của vật liệu suy giảm dần so với ở nhiệt độ thường.

Tiêu chuẩn EC2-1-2 quy định rõ về sự suy giảm tính năng chịu lực ở nhiệt độ cao của bê tông và cốt thép ở cả hai khía cạnh: (i) Quan hệ ứng suất - biến dạng (Hình 2) và (ii) Cường độ (Hình 3).



Hình 2. Quan hệ ứng suất - biến dạng ở nhiệt độ cao theo EC2-1-2 [8]

Các Hình 2 và 3 cho thấy khi nhiệt độ tăng cao, cả cường độ và mô đun đàn hồi của bê tông và cốt thép đều suy giảm. Trong khi đó, biến dạng tương ứng với ứng suất lớn nhất, cũng như biến dạng cực hạn của bê tông đều tăng dần cùng với nhiệt độ.



Hình 3. Sự giảm cường độ ở nhiệt độ cao theo EC2-1-2 [8]

2.5. Nguyên tắc kiểm tra khả năng kháng cháy theo tiêu chí chịu lực R

Khi chịu tác động của đường gia nhiệt tiêu chuẩn ISO 834, tiêu chí về khả năng chịu lực cơ học (R - resistance) của cấu kiện được kiểm tra theo nguyên tắc:

$$E_{d,fi} = \mu_{fi} E_d \leq R_{d,fi} = k_{fi} R_d \quad (2)$$

trong đó $E_{d,fi}$ là giá trị thiết kế của hệ quả tác động trong điều kiện nhiệt độ cao theo EC2-1-2 và có thể được xác định theo biểu thức $E_{d,fi} = \mu_{fi} E_d$; với E_d là giá trị thiết kế của nội lực tại nhiệt độ thường; μ_{fi} là hệ số giảm hệ quả tác động thiết kế trong điều kiện nhiệt độ cao, với giá trị khuyến cáo của EC2 là $\mu_{fi} = 0,7$; $R_{d,fi}$ là giá trị thiết kế của khả năng chịu lực tương ứng của cấu kiện trong điều kiện nhiệt độ cao, với một hệ số suy giảm k_{fi} so với khả năng chịu lực R_d ở nhiệt độ thường xác định theo công thức $k_{fi} = R_{d,fi}/R_d$. Hệ số suy giảm k_{fi} sẽ được khảo sát trong các mục tiếp theo.

3. Phương pháp tra bảng tính toán dầm BTCT ở nhiệt độ cao

Phương pháp tra bảng cho tính toán dầm đơn giản và dầm liên tục được quy định tương ứng trong các Bảng 5.5 và 5.6 của EC2-1-2 [8], trong đó cung cấp giá trị tối thiểu của bề rộng dầm (b_{min}), cùng với giá trị tối thiểu của khoảng cách tính từ mặt dưới và hai mặt bên của dầm tới trọng tâm của các thanh cốt thép dọc chịu lực gần nhất (gọi tắt là khoảng cách trục a), để đảm bảo khả năng kháng cháy từ R30 tới R240. Số liệu trong các bảng trên chỉ có hiệu lực nếu: (i) Các yêu cầu cấu tạo được thỏa mãn; và (ii) Sự phân phối lại mômen uốn thiết kế tại nhiệt độ thường trong dầm liên tục không vượt quá 15%, nếu không dầm phải được coi là dầm đơn giản. Bảng 5.6 cũng có thể được sử dụng cho dầm liên tục có sự phân phối lại mômen lớn hơn 15%, nhưng với điều kiện dầm phải có khả năng xoay tại gối tựa trong điều kiện nhiệt độ cao. Một số ví dụ thực hành sau đây sẽ minh họa cách áp dụng Bảng 5.5 và Bảng 5.6 của EC2-1-2 [8].

3.1. Ví dụ số 1 - Áp dụng Bảng 5.5 của EC2-1-2

Sử dụng Phương pháp tra bảng để xác định khả năng kháng cháy của dầm đơn giản BTCT theo tiêu chí chịu lực là R90 (có khả năng chịu lực trong 90 phút) khi chịu tác động của đường gia nhiệt tiêu chuẩn ISO 834 từ hai mặt bên và mặt dưới dầm.

Kết quả tra Bảng 5.5 cho thấy dầm đơn giản BTCT tiết diện chữ nhật thỏa mãn yêu cầu kháng cháy theo tiêu chí chịu lực là R90 với một số phương án như sau:

- Nếu $b_{\min} = 150$ mm thì khoảng cách trục a tối thiểu phải là 55 mm;
- Nếu $b_{\min} = 200, 300, 400$ mm thì khoảng cách trục a tối thiểu lần lượt là 45, 40 và 35 mm;
- Với dầm tiết diện chữ T: bề rộng bụng dầm $b_{\min} = 110, 100$ và 100 mm cho các lớp WA, WB và WC (áp dụng cho Vương quốc Anh, Thụy Điển và Tây Ban Nha).

Bảng 2. Tra Bảng 5.5 của EC2-1-2 cho Ví dụ số 1 [8]

Khả năng kháng cháy tiêu chuẩn	Kích thước tối thiểu (mm)							
	Tổ hợp có thể của khoảng cách trung bình từ mặt ngoài tới trọng tâm cốt thép a và bề rộng dầm b_{\min}						Bề rộng dầm b_w	
		Lớp WA	Lớp WB	Lớp WC	Lớp WA	Lớp WB	Lớp WC	
R90	$b_{\min} = 150$ $a = 55$	200 45	300 40	400 35	110	100	100	

Giả sử dầm đơn giản đã được thiết kế đủ khả năng chịu lực ở nhiệt độ thường với tiết diện chữ nhật $b \times h = 300 \times 600$ mm, được bố trí thép dọc chịu lực lớp dưới là $3\Phi 25$, với khoảng cách trục $a = 40$ mm. Như vậy dầm đáp ứng được các điều kiện trong Bảng 2 và có khả năng kháng cháy tới R90. Nói cách khác, nếu tại nhiệt độ thường dầm đã được thiết kế sao cho $E_d = R_d$ thì sau 90 phút, hệ số suy giảm KNKU của dầm k_{fi} vẫn lớn hơn hệ số giảm hệ quả của tác động $\mu_{fi} = 0,7$ (công thức (2)).

3.2. Ví dụ số 2 - Áp dụng Bảng 5.6 của EC2-1-2

Sử dụng Phương pháp tra bảng để xác định khả năng kháng cháy của dầm liên tục BTCT theo tiêu chí chịu lực là R120 (có khả năng chịu lực trong 120 phút) khi chịu tác động của đường gia nhiệt tiêu chuẩn ISO 834 từ hai mặt bên và mặt dưới dầm.

Bảng 3. Tra Bảng 5.6 của EC2-1-2 cho Ví dụ số 2 [8]

Khả năng kháng cháy tiêu chuẩn	Kích thước tối thiểu (mm)							
	Tổ hợp có thể của khoảng cách trung bình từ mặt ngoài tới trọng tâm cốt thép a và bề rộng dầm b_{\min}						Bề rộng dầm b_w	
		Lớp WA	Lớp WB	Lớp WC	Lớp WA	Lớp WB	Lớp WC	
R90	$b_{\min} = 200$ $a = 45$	300 35	450 35	500 30	130	120	120	

Kết quả tra Bảng 5.6 cho thấy dầm liên tục tiết diện chữ nhật thỏa mãn yêu cầu kháng cháy theo tiêu chí chịu lực là R120 với một số phương án như sau:

- Nếu $b_{\min} = 200, 300, 400, 500$ mm thì khoảng cách trục a tối thiểu lần lượt là 45, 35, 35 và 30 mm;

- Với dầm tiết diện chữ T: bề rộng bụng dầm $b_{\min} = 130, 120$ và 120 mm cho các lớp WA, WB và WC (áp dụng cho Vương quốc Anh, Thụy Điển và Tây Ban Nha).

Giả sử dầm liên tục BTCT đã được thiết kế đủ khả năng chịu lực ở nhiệt độ thường với tiết diện chữ nhật $b \times h = 300 \times 600$ (mm), bố trí thép dọc $3\Phi 25$ ở lớp trên và $3\Phi 25$ ở lớp dưới, với khoảng cách $a = 40$ mm. Như vậy dầm thỏa mãn các điều kiện trong Bảng 3 và có khả năng kháng cháy tới R120. Nói cách khác, nếu tại nhiệt độ thường dầm đã được thiết kế sao cho $E_d = R_d$ thì sau 120 phút, hệ số suy giảm KNCL k_{fi} của dầm vẫn lớn hơn hệ số giảm hệ quả của tác động $\mu_{fi} = 0,7$ (công thức (2)).

4. Phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C tính toán dầm BTCT ở nhiệt độ cao

Có thể thấy trong Mục 3 rằng phương pháp tra bảng là định tính và không định lượng chính xác được hệ số suy giảm KNKU của dầm tại một thời điểm cụ thể của đám cháy. Nhược điểm này được khắc phục trong các phương pháp tính toán đơn giản mà đại diện là phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C sẽ được trình bày sau đây.

Phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C được áp dụng cho cấu kiện BTCT chịu tác động của đường gia nhiệt tiêu chuẩn ISO 834. Với các tác động nhiệt khác theo thời gian, cần tiến hành các phép phân tích cụ thể liên quan tới cường độ bê tông thay đổi theo nhiệt độ và thời gian. Phương pháp này xem xét một hệ số suy giảm chung cho các kích thước của tiết diện đối với một khu vực bị hư hại do nhiệt ở gần bề mặt bê tông. Độ dày của lớp bê tông bị hư hại, ký hiệu là a_{500} , được lấy bằng độ sâu trung bình của đường đẳng nhiệt 500°C trong vùng nén của tiết diện cấu kiện. Những phần bê tông có nhiệt độ trên 500°C bị coi là đã bị hư hại và không đóng góp vào khả năng chịu tải của cấu kiện, trong khi những phần bê tông còn lại ở phía bên trong của tiết diện vẫn có được những giá trị nhất định về cường độ và mô đun đàn hồi do có nhiệt độ thấp hơn.

Trên cơ sở phương pháp suy giảm tiết diện ngang, các bước tính toán khả năng chịu lực của một tiết diện BTCT trong tình huống cháy có thể được thực hiện như sau:

- Xác định các đường đẳng nhiệt 500°C khi tiết diện bị tác động của đường gia nhiệt tiêu chuẩn hoặc tác động nhiệt theo tham số.

- Xác định một bề rộng mới (b_{fi}) và một chiều cao hiệu quả mới (d_{fi}) của tiết diện bằng cách loại trừ các phần bê tông nằm bên ngoài đường đẳng nhiệt 500°C. Các góc tròn của các đường đẳng nhiệt có thể được quy về góc vuông và tiết diện được coi xấp xỉ như một hình chữ nhật (Hình 4).

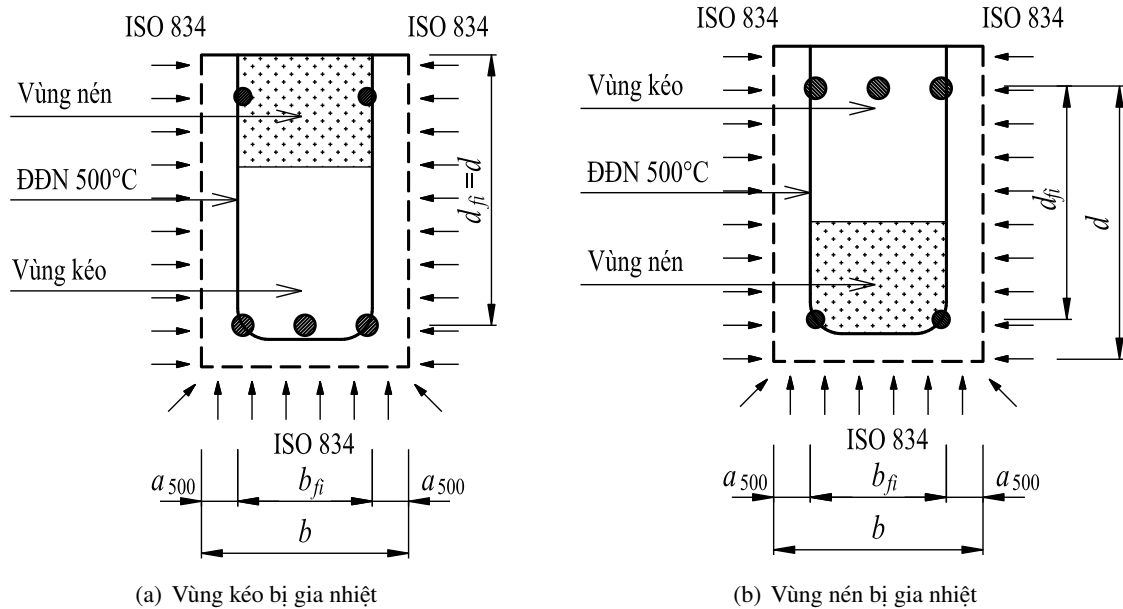
- Xác định nhiệt độ của cốt thép trong vùng nén và vùng kéo từ biểu đồ phân bố nhiệt độ trong Phụ lục A của Tiêu chuẩn EC2-1-2 và được lấy là nhiệt độ tại trọng tâm tiết diện cốt thép. Hình 4 cho thấy một số thanh cốt thép có thể nằm ngoài tiết diện ngang suy giảm. Mặc dù vậy, các thanh thép này vẫn có thể được kể tới trong tính toán khả năng chịu lực cuối cùng của tiết diện BTCT khi bị tác động nhiệt.

- Xác định cường độ suy giảm theo nhiệt độ của cốt thép.

- Sử dụng các phương pháp tính toán thông thường cho tiết diện ngang suy giảm để xác định khả năng chịu lực tối hạn của tiết diện với cường độ của các thanh cốt thép thu được từ bước (d).

- So sánh khả năng chịu lực của tiết diện với nội lực gây bởi tải trọng thiết kế theo biểu thức (2).

Trong phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C, bê tông vùng nén trong phạm vi bên trong đường 500°C được giả thiết là có cường độ không đổi ở 20°C, chỉ có chiều cao vùng nén là bị thay đổi để cân bằng với lực kéo trong cốt thép ở nhiệt độ cao. Hình 4 cho thấy khi chịu tác động nhiệt từ hai mặt bên và mặt đáy tiết diện, do có vùng nén nằm phía trên (ở khu vực nguội hơn của tiết diện), dầm chịu mô men dương sẽ làm việc gần với giả thiết trên hơn so với dầm chịu mô men âm (vùng nén nằm phía dưới).



Hình 4. Tiết diện ngang suy giảm của dầm BTCT [8]

Ví dụ thực hành sau đây sẽ minh họa cách áp dụng phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C để xác định hệ số suy giảm KNKU của dầm khi bị gia nhiệt theo ISO 834.

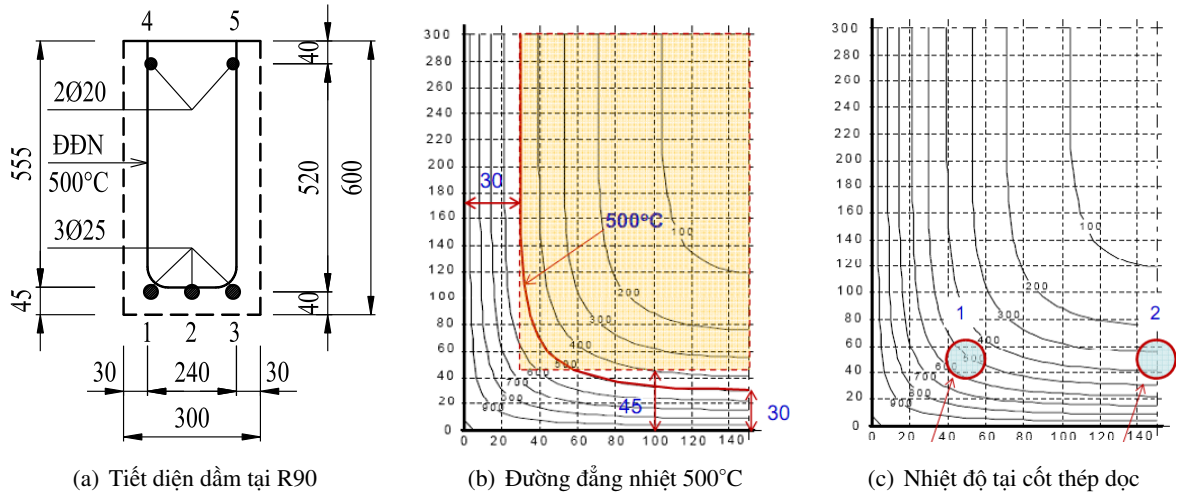
4.1. Ví dụ số 3 - Áp dụng phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C

Xét một dầm đơn giản BTCT được thiết kế với tiết diện chữ nhật $b \times h = 300 \times 600$ mm, tại giữa nhịp bố trí thép dọc chịu lực lớp dưới $3\Phi 25$ ($A_s = 1472$ mm², hàm lượng 0,9%) và cấu tạo thép dọc lớp trên là $2\Phi 20$ ($A'_s = 628$ mm²). Khoảng cách trục $a = 40$ mm. Bê tông có cường độ chịu nén tính toán ở 20°C là $f_{cd} = 20$ MPa, cốt thép cán nóng có cường độ chịu kéo tính toán ở 20°C là $f_{yd} = 460$ MPa. Xác định mức độ suy giảm khả năng chịu uốn của dầm sau khi bị tác động của đường gia nhiệt tiêu chuẩn ISO 834 sau 90 phút (R90) bằng phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C.

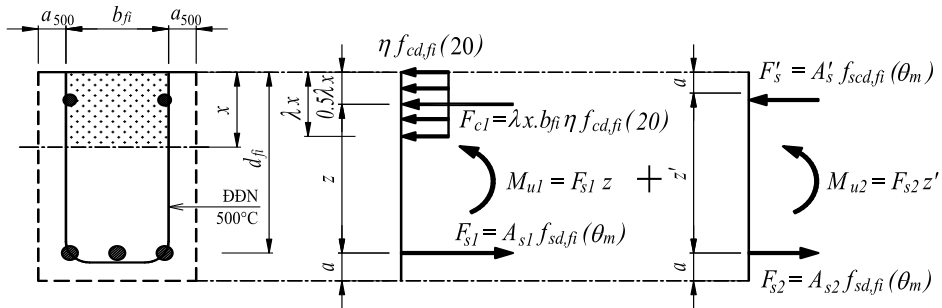
Từ đường đẳng nhiệt 500°C ở Hình 4, có thể xác định được rằng sau 90 phút bị tác động bởi đường gia nhiệt tiêu chuẩn ISO 834, tiết diện dầm bị giảm đi 30 mm từ hai mặt bên và 45 mm từ mặt đáy (Hình 5(a) và 5(b)). Như vậy kích thước hiệu dụng của tiết diện dầm sau khi bị suy giảm là $b_{fi} = 300 - 2 \times 30 = 240$ mm và $d_{fi} = 600 - 45 = 555$ mm.

Hình 5(c) cho thấy tại R90, nhiệt độ tại hai cốt thép chịu lực số 1 và 3 (ở hai góc) là 600°C, tại cốt thép số 2 (nằm giữa) là 450°C. Theo Hình 3(b), hệ số suy giảm cường độ cốt thép tại các mức nhiệt độ này lần lượt là 0,48 và 0,9. Do vậy, hệ số suy giảm trung bình của cả ba cốt thép chịu kéo này là 0,62, cường độ trung bình của chúng là $f_{sd,fi}(\theta_m) = 0,62 \times 460 = 285,2$ MPa. Tương tự, hai thanh cốt thép chịu nén (số 4 và 5) có nhiệt độ 500°C, với mức suy giảm cường độ 0,78 thì cường độ trung bình của chúng là $f_{sdc,fi}(\theta_m) = 0,78 \times 460 = 359$ MPa.

Hình 6 biểu diễn nguyên tắc xác định các cặp nội ngẫu lực trên tiết diện thẳng góc để tính toán KNKU tới hạn $M_{u,fi}$ của dầm, trong đó λx là chiều cao cùng nén hiệu quả, $\eta = 1,0$ là hệ số xác định cường độ bê tông chịu nén hiệu quả, cường độ chịu nén tính toán $f_{cd,fi}(20)$ của bê tông ở 20°C và cường độ chịu kéo tính toán $f_{cd,fi}(\theta_m)$ của cốt thép tại nhiệt độ θ_m đều xác định với hệ số an toàn riêng phần trong điều kiện có cháy.



Hình 5. Sự suy giảm tiết diện ngang của dầm tại R90



Hình 6. Tính toán khả năng chịu uốn của dầm BTCT ở nhiệt độ cao [8]

Hợp lực của cốt thép chịu nén bằng một phần của tổng hợp lực của cốt thép chịu kéo: $F'_s = A'_s f_{sd,fi}(\theta_m) = 225,452 \text{ kNm}$. Do $F'_s = F_{s2} = A_{s2} f_{sd,fi}(\theta_m)$, nên lượng cốt thép dọc chịu kéo dùng để cân bằng với cốt thép dọc chịu nén là $A_{s2} = \frac{A'_s f_{sd,fi}(\theta_m)}{f_{sd,fi}(\theta_m)} = 790 \text{ mm}^2$. Lượng cốt thép dọc chịu kéo còn lại được sử dụng để cân bằng với hợp lực của bê tông vùng nén là: $A_{s1} = A_s - A_{s2} = 682 \text{ mm}^2$.

Chiều cao danh định của vùng bê tông chịu nén: $\lambda x = \frac{A_{s1} f_{sd,fi}(\theta_m)}{\eta b_{fi} f_{cd,fi}(20)} = 48 \text{ mm}$.

Cánh tay đòn nội ngẫu lực: $z = d_{fi} - 0,5\lambda x = 536 \text{ mm}$.

KNKU do cặp nội ngẫu lực của cốt thép chịu kéo và bê tông vùng nén là: $M_{u1} = A_{s1} f_{sd,fi}(\theta_m) z = 104,310 \text{ kNm}$.

KNKU do cặp nội ngẫu lực của cốt thép A'_s và A_{s2} là: $M_{u2} = A_{s2} f_{sd,fi}(\theta_m) z' = 117,229 \text{ kNm}$.

KNKU tổng cộng của dầm tại R90 là: $M_{u,fi} = M_{u1} + M_{u2} = 221,539 \text{ kNm}$.

Tại nhiệt độ thường (20°C), khi các hệ số suy giảm vật liệu lấy bằng 1,0 và giữ nguyên tiết diện dầm, KNKU của dầm (ký hiệu R0) là $M_{u,20} = 343,219 \text{ kNm}$. Như vậy, sau 90 phút chịu tác động bởi đường gia nhiệt tiêu chuẩn ISO 834 trên cả ba mặt, KNKU của dầm suy giảm so với tại nhiệt độ thường là $k_{fi} = 221,539/343,219 = 0,628$. Như vậy, khác với kết quả từ phương pháp tra bảng trong Ví dụ số 1, dầm đang xét không thỏa mãn điều kiện nếu lấy hệ số suy giảm hệ quả của tác động là $\mu_{fi} =$

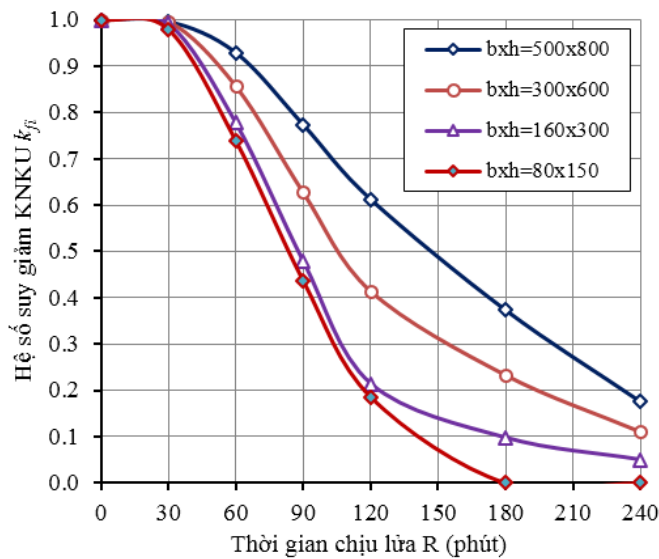
0,7 như công thức (2).

4.2. Khảo sát sự suy giảm khả năng chịu uốn của dầm BTCT ở nhiệt độ cao

Các tác giả đã lập bảng tính theo phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C bằng phần mềm Microsoft Excel Spread Sheet và tiến hành nghiên cứu thông số nhằm khảo sát sự ảnh hưởng của các yếu tố: (i) Kích thước tiết diện dầm $b \times h$; (ii) Khoảng cách từ mặt ngoài tới trọng tâm cốt thép dọc (khoảng cách trục a); và (iii) Cường độ chịu nén của bê tông f_{ck} tới sự suy giảm KNKU của dầm BTCT.

a. Ảnh hưởng của kích thước tiết diện dầm

Thay đổi dầm với các tiết diện $b \times h = 80 \times 150, 160 \times 300, 300 \times 600$ và 500×800 mm. Kết quả tính toán hệ số suy giảm KNKU của các dầm tại các thời điểm từ R30 đến R240 được thể hiện trên Hình 7.



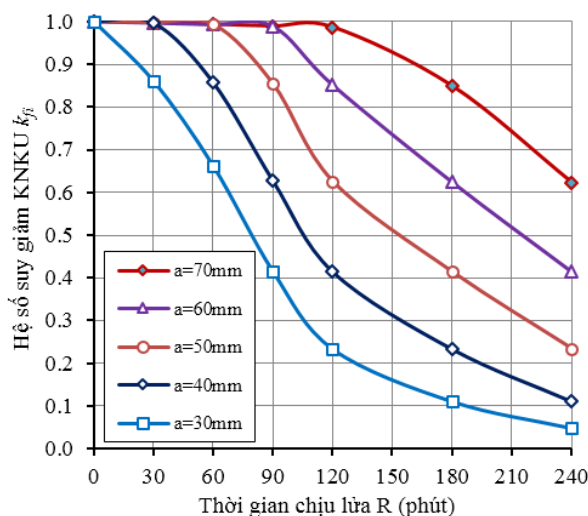
Hình 7. Ảnh hưởng của kích thước tiết diện dầm

Đây là những tiết diện dầm được EC2-1-2 cung cấp thông tin về phân bố nhiệt độ. Các dầm này đều giữ nguyên hàm lượng cốt thép chịu kéo trong khoảng 0,9 ÷ 1,1% và hàm lượng cốt thép chịu nén là 0,4%, có cùng khoảng cách trục $a = 40$ mm. Cường độ đặc trưng của bê tông và cốt thép tương ứng là 30 MPa và 500 MPa.

Từ Hình 7, có thể rút ra những nhận xét sau: (i) Hầu hết các dầm đều giảm KNKU không đáng kể trong 30 phút đầu của đám cháy; (ii) Độ dốc đường suy giảm của dầm tiết diện $b \times h = 500 \times 800$ mm là nhỏ nhất, của dầm tiết diện $b \times h = 80 \times 150$ mm là lớn nhất. Do vậy, dầm có tiết diện càng lớn thì tốc độ suy giảm KNKU theo thời gian càng giảm; và (iii) Các dầm có tiết diện $80 \times 150, 160 \times 300, 300 \times 600$ và 500×800 cần những khoảng thời gian tương ứng là 65, 70, 80 và 105 phút để đạt tới hệ số $k_{fi} = 0,7$.

b. Ảnh hưởng của khoảng cách trục a

Xét dầm có tiết diện $b \times h = 300 \times 600$ mm, giả thiết giữ nguyên vật liệu và cốt thép như trong ví dụ 3. Tăng dần khoảng cách trục a theo các giá trị từ 30 tới 70 mm, với số gia 10 mm. Kết quả tính toán sự suy giảm KNKU của dầm tại các thời điểm từ R30 đến R240 được thể hiện trên Hình 8.

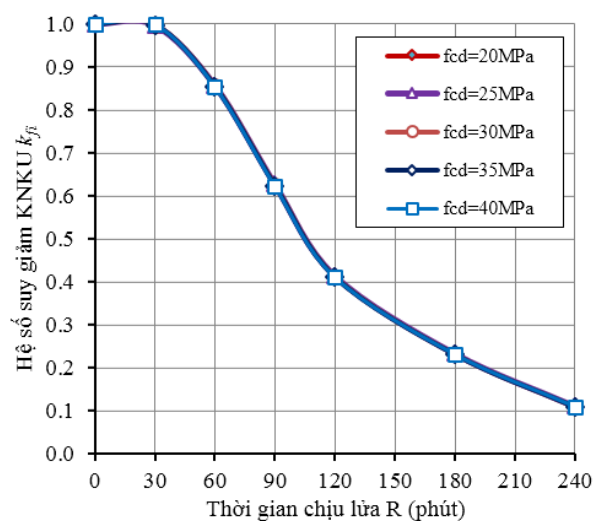


Hình 8. Ảnh hưởng của khoảng cách trực a

Từ Hình 8, có thể rút ra những nhận xét sau: (i) Khi tăng khoảng cách trực a , hệ số suy giảm KNKU của dầm khi bị tác động của đường gia nhiệt tiêu chuẩn ISO 834 sẽ giảm đi. Nói cách khác, khoảng cách trực đóng vai trò tích cực trong việc duy trì KNKU của dầm khi chịu tác động cháy; (ii) Các dầm có khoảng cách trực $a = 30, 40, 50, 60$ và 70 mm cần những khoảng thời gian tương ứng là 55, 80, 105, 160 và 220 phút để đạt tới hệ số $k_{fi} = 0,7$; và (iii) Với khoảng cách trực a lớn hơn 60 mm, KNKU của dầm giảm không đáng kể trong 90 phút đầu tiên kể từ khi bắt đầu cháy.

c. Ảnh hưởng của cường độ chịu nén của bê tông

Xét dầm có tiết diện $b \times h = 300 \times 600$ mm, cường độ chịu nén tính toán của bê tông được thay đổi từ 20, 25, 30, 35 và 40 MPa, hàm lượng cốt thép dọc chịu kéo và nén tương ứng là 1,0% và 0,4%, khoảng cách trực $a = 40$ mm. Kết quả tính toán hệ số suy giảm KNKU của dầm tại các thời điểm từ R30 đến R240 được thể hiện trên Hình 9.



Hình 9. Ảnh hưởng của cường độ chịu nén của bê tông

Có thể quan sát trên Hình 9 rằng các đường cong gần như hoàn toàn trùng nhau. Do vậy, cường độ chịu nén của bê tông ảnh hưởng không đáng kể tới sự suy giảm KNKU của dầm khi chịu tác động của đường gia nhiệt tiêu chuẩn ISO 834.

5. Thảo luận

Các nội dung trình bày trong Mục 3 và 4 cho thấy phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C là một phương pháp tính toán đơn giản hóa đã khắc phục được hạn chế của phương pháp tra bảng do có thể biểu thị được sự suy giảm KNKU của dầm BTCT ở nhiệt độ cao, do vậy có thể đem lại một phương án thiết kế tường minh hơn.

Tuy nhiên, phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C còn tồn tại một số vấn đề, đó là: (i) Việc giả thiết bê tông vẫn giữ được cường độ $f_{cd,fi}(20)$ ở 20°C trong quá trình tính toán (Hình 6) là chưa chính xác, đặc biệt khi vùng nén nằm gần ba mặt tiết diện dầm bị tác động nhiệt, mặc dù giá trị này không ảnh hưởng nhiều tới kết quả; (ii) Trong trường hợp vùng bê tông chịu nén bị tác động nhiệt (Hình 4), hệ số k_{fi} có thể giảm xuống hơn nữa do hợp lực của bê tông vùng nén không đủ cân bằng với hợp lực của cốt thép A_{s2} tại vùng kéo; (iii) Quan hệ ứng suất - biến dạng tại nhiệt độ cao của các phân tử bê tông và cốt thép trên tiết diện dầm chưa được xét tới; (iv) Các thành phần cốt thép chịu kéo, cốt thép chịu nén và bê tông có thể không cùng đạt được tới cường độ thiết kế của chúng ở nhiệt độ cao tại thời điểm dầm bị phá hoại; và (v) Tiêu chuẩn EC2-1-2 chỉ cung cấp sự phân bố nhiệt trên một số loại tiết diện dầm nhất định khi chịu tác động của đường gia nhiệt tiêu chuẩn ISO 834.

Phương pháp tính toán nâng cao có thể khắc phục các hạn chế nói trên. Tiêu chuẩn EC2-1-2 đưa ra các nguyên tắc chung chỉ dẫn cho các phương pháp nâng cao để phân tích một cách gần đúng sự làm việc trong điều kiện nhiệt độ cao và khả năng kháng cháy theo tiêu chí chịu lực của kết cấu BTCT theo các bước: (i) Phân tích sự phát triển và phân bố của nhiệt độ tại các điểm trên tiết diện cấu kiện (bằng các mô hình truyền nhiệt); và (ii) Phân tích ứng xử cơ học của một bộ phận hoặc của toàn bộ kết cấu. Các bước phân tích này có thể được thực hiện với tác động cháy theo một đường gia nhiệt bất kỳ, với các đặc trưng cơ lý của vật liệu đã biết tại một dải nhiệt độ và một tốc độ gia nhiệt nào đó có thể được kiểm nghiệm qua thực nghiệm.

6. Kết luận

Kết quả nghiên cứu của bài báo cho thấy sự làm việc của dầm bê tông cốt thép (BTCT) ở nhiệt độ cao liên quan chặt chẽ tới đặc điểm của cấu kiện chịu uốn và đặc trưng cơ lý của vật liệu ở nhiệt độ cao. Trong khi phương pháp tra bảng chỉ cho kết quả định tính thì phương pháp đường đẳng nhiệt 500°C theo có thể xác định một cách hiệu quả khả năng kháng uốn (KNKU) của dầm BTCT bị tác động bởi đường gia nhiệt tiêu chuẩn ISO 834 lên đến 4 giờ (R240). Các ví dụ và phép khảo sát được thực hiện đã minh họa một cách tường minh rằng KNKU của dầm BTCT ở nhiệt độ cao chịu ảnh hưởng tích cực của kích thước tiết diện dầm và khoảng cách từ mặt ngoài tiết diện dầm tới trọng tâm cốt thép dọc (khoảng cách trục), nhưng không bị ảnh hưởng đáng kể bởi cường độ chịu nén của bê tông.

Trong thời gian tới, các phương pháp của tiêu chuẩn EC2-1-2 để xác định khả năng kháng cháy của kết cấu BTCT cần được nghiên cứu áp dụng vào điều kiện Việt Nam. Bên cạnh các phương pháp tra bảng và đơn giản hóa, cần nghiên cứu và phát triển phương pháp tính toán nâng cao để xác định chính xác được khả năng chịu lực của kết cấu khi chịu tác động của các đường gia nhiệt khác nhau. Cần tiến hành các thí nghiệm về KNKU của dầm BTCT khi chịu tác động cháy trong điều kiện Việt Nam để kiểm chứng các phương pháp tính toán được đề xuất. Trong tương lai, các nghiên cứu tiếp

theo cả về thực nghiệm lẫn mô hình số bằng phương pháp phần tử hữu hạn cần được tiến hành để dự báo chính xác được khả năng chịu lực của kết cấu BTCT khi kể tới hiện tượng nứt vỡ bề mặt bê tông cũng như sự có mặt của các thành phần biến dạng nhiệt và biến dạng tức thời trong tổng biến dạng của bê tông ở nhiệt độ cao.

Tài liệu tham khảo

- [1] Minh, P. Q., Phong, N. T., Công, N. n. (2013). *Kết cấu bê tông cốt thép - Phần cấu kiện cơ bản*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [2] Lin, T. D., Gustaferoo, A. H., Abrams, M. S. (1981). *Fire endurance of continuous reinforced concrete beams*. PCA R&D Bulletin 1981;RD072.01B.
- [3] Dotreppe, J.-C., Franssen, J.-M. (1985). [The use of numerical models for the fire analysis of reinforced concrete and composite structures](#). *Engineering analysis*, 2(2):67–74.
- [4] Ellingwood, B., Lin, T. D. (1991). [Flexure and shear behavior of concrete beams during fires](#). *Journal of Structural Engineering*, 117(2):440–458.
- [5] Dwaikat, M. B., Kodur, V. K. R. (2008). [A numerical approach for modeling the fire induced restraint effects in reinforced concrete beams](#). *Fire Safety Journal*, 43(4):291–307.
- [6] Kodur, V. K. R., Dwaikat, M. (2008). [A numerical model for predicting the fire resistance of reinforced concrete beams](#). *Cement and Concrete Composites*, 30(5):431–443.
- [7] EN 1992-1-1:2004. *Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings*.
- [8] EN 1992-1-2:2004. *Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-2: General rules - structural fire design*.
- [9] ISO 834 (1975). *Fire resistance tests - elements of building construction*. International Organization for Standardization.
- [10] QCVN 06:2010/BXD (2010). *Quy chuẩn kỹ thuật về an toàn cháy cho nhà và công trình*.
- [11] TCVN 5574:2018. *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam.
- [12] 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 (TCKHCN XD)-ĐHXD*, 10(2):55–61.
- [13] Thang, N. T. (2016). [Effect of concrete cover on axial load resistance of reinforced concrete columns in fire](#). *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE)-NUCE*, 10(5):29–36.
- [14] Thắng, N. T. (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. *Tạp chí Xây dựng Việt Nam, Bộ Xây dựng*, 588:141–144.
- [15] Thắng, N. T. (2017). Khả năng kháng cháy của cột trong kết cấu khung bê tông cốt thép. *Tạp chí Xây dựng Việt Nam, Bộ Xây dựng*, 589:53–57.
- [16] Thắng, N. T. (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.
- [17] Thang, N. T., Tam, T. V., Ninh, N. T. (2018). Investigation of strength degradation of concrete encased steel composite columns at elevated temperatures. *Proceedings of the International Conference on the 55th Anniversary of Establishing of Vietnam Institute for Building Science and Technology (IBST55)*, 213–221.
- [18] Tâm, T. V., Ninh, N. T., Thắng, N. T. (2018). Biểu đồ tương tác của cột liên hợp bê tông cốt cứng ở nhiệt độ cao theo tiêu chuẩn châu Âu. *Tạp chí Xây dựng, Bộ Xây dựng*, (12-2018):85–92.
- [19] Trung, N. T., Hai, D. V., Phương, P. M. (2019). [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 (KHCN XD)-ĐHXD*, 13(2V):41–52.
- [20] ASTM E119-E201 (2001). *Standard methods of fire test of building construction and materials. Test Method*. West Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.