

Tính toán khả năng chịu lực của kết cấu bê tông cốt thép sau cháy

Calculation of residual load bearing capacity of reinforced concrete structures after exposed to fire

> CHU THỊ BÌNH¹, PHẠM THANH HÙNG²

^{1,2}Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội; ¹Email: chuthibinh@hau.edu.vn

TÓM TẮT:

Kết cấu sau cháy cần được tính toán khả năng chịu lực để đánh giá an toàn kết cấu theo quy định hiện hành. Bài báo trình bày phương pháp tính khả năng chịu lực của kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) sau cháy, sử dụng phần mềm phân tích kết cấu SAFIR. Một số kết quả khảo sát khả năng chịu lực sau cháy của các cấu kiện dầm và cột khung với các thông số thay đổi như thời gian cháy, chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép, độ lệch tâm của cột... được trình bày. Qua đó, một số nhận xét về tính toán khả năng chịu lực của kết cấu bê tông cốt thép sau cháy được đưa ra.

Từ khóa: Cháy; sau cháy; bê tông cốt thép; phân tích kết cấu; khả năng chịu lực

ABSTRACT:

It needs to assess the load resistance of reinforced concrete structures after exposed to fire according to recent safety requirements. This article presents a calculation method for the residual load bearing capacity of reinforced structures after exposed to fire, using SAFIR - a structural analysis software. This study investigates a number of factors affecting the load-bearing capacity of concrete structures after fire including fire duration, the thickness of concrete cover, and the eccentricity of compression load to columns. Based on the results, several comments on the load-bearing capacity of concrete structures after fire are provided.

Keywords: Fire; post-fire; after fire; concrete structures; structural analysis; load resistance

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mặc dù sự cố cháy công trình BTCT không ít song sự sụp đổ kết cấu bê tông do cháy là rất hiếm xảy ra. Xác suất của sụp đổ hoàn toàn kết cấu bê tông do cháy rất thấp là do bê tông có độ dẫn nhiệt thấp, nhiệt dung riêng cao dẫn đến nhiệt độ bê tông kết cấu bê tông tăng chậm theo thời gian cháy. Nhiều công trình BTCT không bị sụp

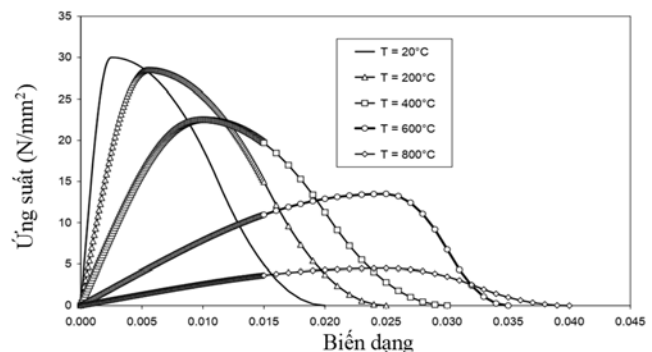
đổ trong quá trình bị cháy cần được kiểm tra đánh giá chất lượng kết cấu sau cháy để có biện pháp sửa chữa hoặc phá bỏ. Trong quy trình đánh giá chất lượng kết cấu bê tông có bước tính toán khả năng chịu lực của kết cấu BTCT. Kết cấu bê tông sau cháy bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ cao làm thay đổi đặc tính cơ lý của vật liệu dẫn đến tính chất cơ lý của vật liệu không đồng đều trên tiết diện. Ngoài ra, nhiệt độ cao trong đám cháy cũng làm kết cấu có biến dạng dư không thể phục hồi khi kết cấu đã trở về nhiệt độ thường sau cháy. Phương pháp tính toán khả năng chịu lực của kết cấu sau cháy có thể dùng các mô hình đơn giản hóa hoặc mô hình tính toán nâng cao có sử dụng phần mềm phân tích kết cấu. Bài báo trình bày phương pháp tính khả năng chịu lực của kết cấu bê tông sau cháy sử dụng mô hình tính toán nâng cao, sử dụng phần mềm phân tích kết cấu có kể đến điều kiện cháy.

2. ỨNG XỬ CỦA KẾT CẤU BÊ TÔNG TRONG ĐÁM CHÁY

2.1 Tính chất cơ lý của vật liệu bê tông và cốt thép trong và sau cháy

2.1.1 Bê tông

Nhiệt độ cao làm cường độ và mô đun đàn hồi của bê tông giảm. Quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông ở nhiệt độ cao đã được nghiên cứu và đưa vào tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép EN 1991-1-2 [1]. **Hình 1.** thể hiện quan hệ ứng suất- biến dạng của bê tông ở các nhiệt độ khác nhau.



Hình 1. Quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông ở các nhiệt độ khác nhau [2]

Sau khi làm nguội đến nhiệt độ môi trường, người ta quan sát thấy rằng cường độ của bê tông có thể bị giảm thêm nữa so với cường độ của nó ở nhiệt độ cao. Trong thời gian sau cháy, sự suy giảm cường độ tiếp tục xảy ra do vi cấu trúc của bê tông tiếp tục bị phân hủy.

Phụ lục C của tiêu chuẩn EN 1994-1-2 đưa ra quan hệ ứng suất- biến dạng của vật liệu bê tông ở giai đoạn giảm nhiệt của đám cháy.

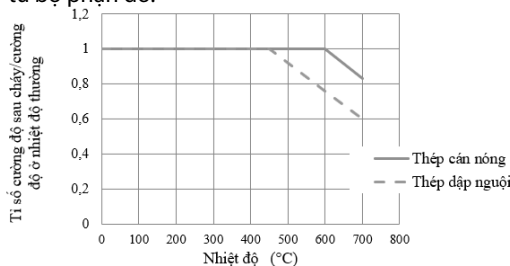
Theo đó, cường độ của bê tông sau cháy (khi kết cấu đã trở về nhiệt độ bình thường) bằng từ 90% đến 95% cường độ của bê tông ở nhiệt độ cao nhất mà vật liệu đã chịu trong đám cháy.

2.1.2 Cốt thép

Sự suy giảm cường độ đáng kể có thể xảy ra khi thép ở nhiệt độ cao và điều này thường là nguyên nhân gây ra bất kỳ độ võng dư quá mức nào. Tuy nhiên, sau cháy việc phục hồi giới hạn chảy của thép thường (không ứng suất trước) là hoàn toàn khi nhiệt độ không quá 450°C đối với thép gia công nguội và 600°C đối với thép cán nóng. Trên những mức nhiệt độ này, sẽ có một sự tổn hao giới hạn chảy sau khi làm nguội.

Sự suy giảm cường độ thực tế phụ thuộc vào điều kiện gia nhiệt (nung nóng) và loại thép nhưng các giá trị thiên về an toàn đã đưa ra trong **Hình 2**.

Trong kết cấu BTCT không bị sụp đổ trong quá trình cháy, hầu hết nhiệt độ trong cốt thép không vượt quá 700°C nên **Hình 2** là đủ để tính toán khả năng chịu lực của kết cấu BTCT sau cháy. Giá trị cường độ trên 700°C không được đưa ra do những biến đổi bổ sung về các đặc tính có thể xảy ra do sự thay đổi pha trong thép. Do đó, nơi nào nhiệt độ của thép đã vượt quá 700°C mà việc xác định cường độ là quan trọng cho sự đánh giá, cần thêm các thử nghiệm trên các mẫu lấy từ bộ phận đó.



Hình 2. Giới hạn chảy của cốt thép sau cháy [2]

2.2 Các hư hỏng do cháy tác động lên kết cấu BTCT

Nhiệt độ cao trong đám cháy làm vật liệu giãn nở gây ra các vết nứt trong kết cấu. Các lớp bê tông tiếp xúc với lửa có thể bị bong tróc, làm lộ các thanh cốt thép. Kết cấu có thể có biến dạng lớn và không phục hồi sau khi kết cấu đã được làm nguội. **Bảng 1** tóm tắt các tác động của cháy lên kết cấu BTCT.

Bảng 1. Tác động của cháy lên kết cấu BTCT

Giai đoạn		Những ảnh hưởng có thể xảy ra
Giai đoạn tăng nhiệt	1. Sự tăng nhiệt độ trên bề mặt	Sự rạn nứt/bong tróc bề mặt kết cấu
	2. Sự truyền nhiệt tới bề mặt bên trong	Tổn hao cường độ bê tông, nứt và vỡ vụn
	3. Sự truyền nhiệt tới cốt thép (được tăng tốc nếu xảy ra hiện tượng nứt vỡ)	Giảm giới hạn chảy của thép Tăng sự cong oằn và/hoặc độ võng
Giai đoạn giảm nhiệt	4. Cốt thép nguội	Phục hồi giới hạn chảy thích hợp với nhiệt độ tối đa đạt tới Những thanh cốt thép bị cong/oằn vẫn còn bị cong/oằn
	5. Bê tông nguội đi	Các vết nứt đóng lại Giảm cường độ Sự phục hồi độ võng không hoàn toàn đối với hỏa hoạn nghiêm trọng Có thể bị biến dạng và nứt thêm do bê tông hút hơi ẩm từ khí quyển.

Cháy làm ảnh hưởng đến các tính chất của vật liệu:

- Giảm cường độ và mô đun đàn hồi của bê tông;
- Thay đổi cấu trúc khoáng chất trong bê tông;
- Hình thành các vết nứt trong bê tông;
- Khiến bê tông rơi rụng (thậm chí cả hiện tượng bê tông nổ vỡ)

làm giảm yếu tiết diện;

- Giảm cường độ của cốt thép và thép ứng suất trước: cường độ của thép sẽ được phục hồi sau khi đám cháy nguội đi nếu nhiệt độ đám cháy không quá 450°C (với thép cán nguội) và 600°C (với thép cán nóng); tuy nhiên nếu nhiệt độ đám cháy vượt quá giá trị trên, cường độ của thép sẽ bị giảm vĩnh viễn kể cả khi đám cháy đã nguội. Ngoài ra trong quá trình cháy, các thanh cốt thép thường bị mất ổn định cục bộ (do sự giãn nở nhiệt bị khống chế) dẫn đến hiện tượng cốt thép bị tách khỏi liên kết với bê tông.

2.3 Giới thiệu một số phương pháp tính khả năng chịu lực của kết cấu bê tông sau cháy

2.3.1 Tính toán theo mô hình đơn giản hóa

Cập nhật tính chất cơ học của vật liệu và đặc trưng hình học của kết cấu khi nhiệt độ tăng cao trong đám cháy rồi giảm xuống nhiệt độ thường sau cháy. Sau đó, tính như kết cấu ở điều kiện nhiệt độ thường với tính chất vật liệu và đặc trưng hình học cập nhật. Phụ lục B tiêu chuẩn EN 1992-1-2 hướng dẫn phương pháp chia lớp tiết diện (zone method). Chi tiết xem tài liệu [1].

2.3.2 Tính toán theo mô hình nâng cao

Dựa trên lịch sử nhiệt độ đo được, phân tích nhiệt độ trong kết cấu rồi phân tích kết cấu với nhiệt độ đã tính. Phương pháp tính theo mô hình tiên tiến cần sử dụng các phần mềm mô phỏng kết cấu. Các phần sau trình bày kết quả tính khả năng chịu lực của kết cấu bê tông sau cháy bằng mô hình nâng cao, sử dụng phần mềm SAFIR.

3. MÔ PHỎNG KẾT CẤU BTCT SAU CHÁY, SỬ DỤNG PHẦN MỀM SAFIR

3.1 Giới thiệu phần mềm SAFIR và các bước phân tích kết cấu sau cháy sử dụng phần mềm SAFIR

Phần mềm SAFIR được phát triển tại Đại học Liege - Vương quốc Bỉ, dùng phương pháp phần tử hữu hạn tính toán kết cấu trong điều kiện cháy [3,4]. Phạm vi nhiệt độ được xét đến trong quá trình phân tích bằng SAFIR là từ 0°C đến 1200°C, các đặc trưng của vật liệu cũng chỉ được xét đến trong khoảng nhiệt độ này. Kịch bản cháy có thể bao gồm ba giai đoạn, giai đoạn tăng nhiệt, giai đoạn giảm nhiệt và giai đoạn duy trì nhiệt độ bình thường. SAFIR xét đến sự thay đổi các đặc trưng cơ học của vật liệu trong các giai đoạn này.

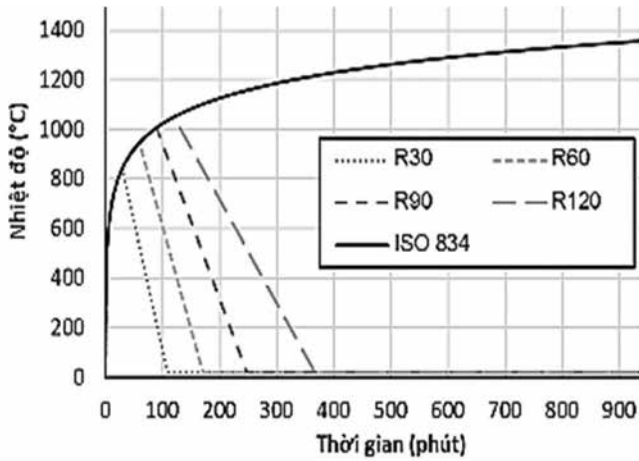
Quá trình phân tích kết cấu trong và sau cháy gồm hai giai đoạn: phân tích nhiệt độ trong tiết diện và phân tích kết cấu. Giai đoạn trong cháy và sau cháy, các cấu kiện trải qua quá trình chịu nhiệt nên các đặc trưng cơ học của vật liệu cũng có sự thay đổi. Do các vị trí khác nhau trong tiết diện ngang trải qua các mức nhiệt độ khác nhau nên sự thay đổi các đặc trưng cơ học vật liệu cũng khác nhau theo vị trí trên tiết diện.

3.1.1 Phân tích nhiệt trong tiết diện dầm và cột

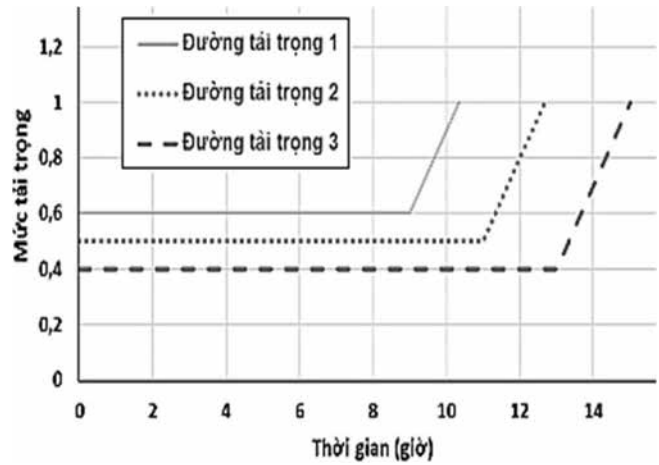
Quá trình phân tích nhiệt phát triển trong tiết diện bắt đầu từ lúc xuất hiện đám cháy đến lúc kết cấu nguội. **Hình 3** giới thiệu một số đường nhiệt độ dùng để phân tích nhiệt trong tiết diện phục vụ cho việc phân tích kết cấu sau cháy, sự phát triển nhiệt độ gồm ba giai đoạn: tăng nhiệt (giai đoạn 1); giảm nhiệt (giai đoạn 2); nhiệt độ giữ ở mức nhiệt độ môi trường (giai đoạn 3).

3.1.2 Phân tích kết cấu sau cháy

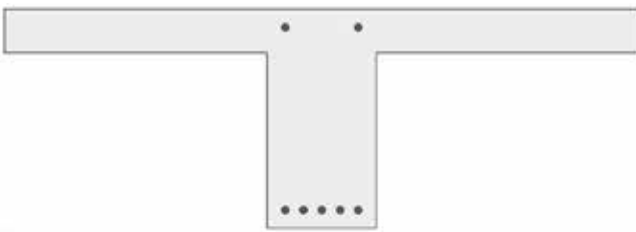
Quá trình phân tích kết cấu bắt đầu từ lúc xuất hiện đám cháy đến lúc kết cấu nguội. Phần mềm SAFIR cho phép nhập hàm tải trọng theo thời gian nên rất thuận tiện cho việc phân tích kết cấu



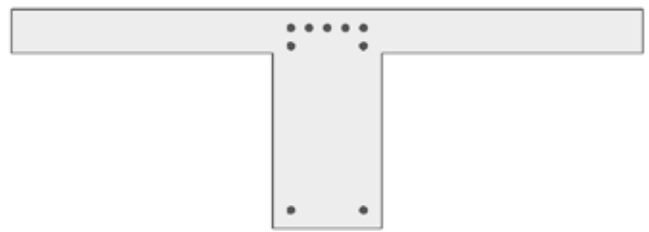
Hình 3. Đường nhiệt độ quá trình phân tích nhiệt trong tiết diện bằng SAFIR



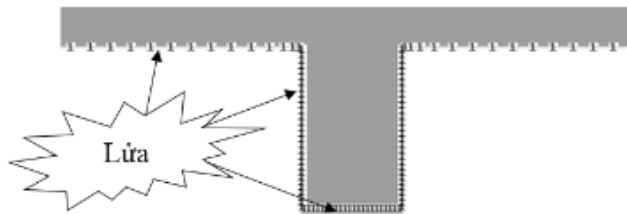
Hình 4. Đường tải trọng sử dụng phân tích kết cấu sau cháy bằng SAFIR



a) Dầm 1: 30x60 (cm) bố trí 2φ20 trên và 5φ20 dưới



b) Dầm 2: 30x60 (cm) bố trí 7φ20 trên và 2φ20 dưới



c) Các mặt tiếp xúc với lửa của dầm

Hình 5. Tiết diện ngang dầm

sau cháy. Hình 4. giới thiệu một số đường tải trọng phân tích kết cấu sau cháy, ví dụ đường tải trọng số 1 biểu diễn mức tải trọng tác động lên kết cấu là 60% từ khi bắt đầu cháy đến 8 giờ sau cháy (với giả thiết dầm cháy được dập tắt sau 60 phút), sau đó mức tải trọng tăng dần đều đến 100%.

3.2 Khả năng chịu lực của dầm BTCT sau cháy theo thời gian cháy

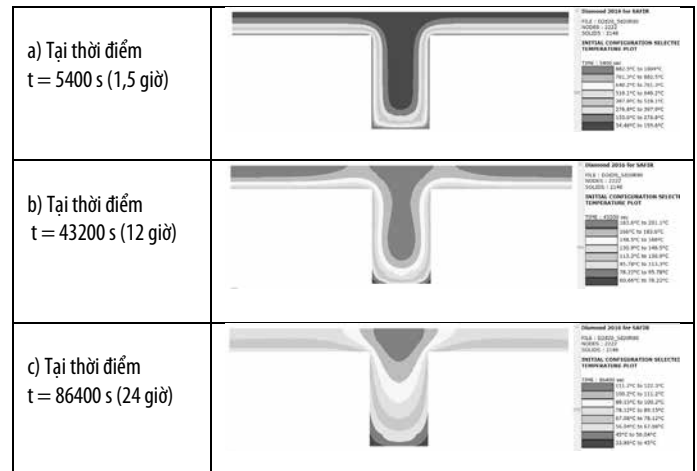
Xác định khả năng chịu lực còn lại của dầm BTCT sau cháy với dầm cháy theo tiêu chuẩn ISO 834 tương ứng 60 phút và 90 phút. Dầm tiết diện chữ T có kích thước 30x60 cm, bề rộng cánh 72 cm, chiều dày cánh 12 cm (Hình 5a,b.), dầm 1 bố trí 2φ20 ở phía trên và 5φ20 ở phía dưới và dầm 2 bố trí 7φ20 ở phía trên và 2φ20 ở phía dưới với chiều dày lớp bê tông bảo vệ bằng 4 cm. Biết, giới hạn chảy của thép $f_y = 500$ MPa, cường độ chịu nén tiêu chuẩn của bê tông $f_c = 30$ MPa, dầm có 3 mặt tiếp xúc với lửa như Hình 5c.

Quá trình phân tích xác định khả năng chịu lực của dầm sau cháy gồm hai bước:

- Bước 1: Phân tích nhiệt trong tiết diện

Sử dụng đường nhiệt độ gồm 3 giai đoạn như trên Hình 3. với giai đoạn tăng nhiệt theo ISO 834., kết quả phân tích nhiệt của hai tiết diện dầm 1 và dầm 2 là tương tự nhau. Sự phát triển nhiệt độ

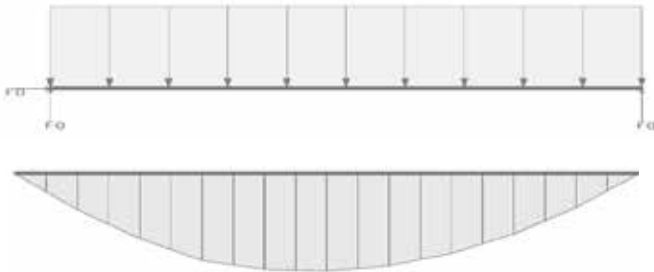
của dầm chịu cháy 90 phút được giới thiệu trên Hình 6., là kết quả phân tích bằng SAFIR được biểu diễn dưới dạng chỉ thị màu.



Hình 6. Nhiệt độ trong tiết diện dầm trong và sau dầm cháy chuẩn ISO 834 với thời gian cháy 90 phút, tính bằng phần mềm SAFIR

- Bước 2: Phân tích kết cấu dầm sau cháy

Để xác định khả năng chịu lực sau cháy của dầm, tiến hành phân tích dầm đơn giản chịu tải trọng phân bố đều như **Hình 7.**, dầm sử dụng tiết diện đã được phân tích nhiệt ở bước 1. Quá trình phân tích bắt đầu từ lúc cháy đến khi dầm bị phá hoại với mức tải trọng có dạng như trên **Hình 4.** Kết quả tính toán khả năng chịu lực sau cháy của dầm trình bày trong **Bảng 2.**



Hình 7. Sơ đồ chịu lực của dầm

Bảng 2. Khả năng chịu lực của dầm sau cháy

	R0		R60		R90	
	M ₀ (kNm)	M ₆₀ (kNm)	M ₆₀ /M ₀	M ₉₀ (kNm)	M ₉₀ /M ₀	
Dầm 1: 2φ20 trên, 5φ20 dưới	416,38	396,86	0,953	396,78	0,953	
Dầm 2: 7φ20 trên, 2φ20 dưới	517,17	478,80	0,926	459,64	0,889	

3.3 Khả năng chịu lực của cột BTCT sau cháy theo thời gian cháy

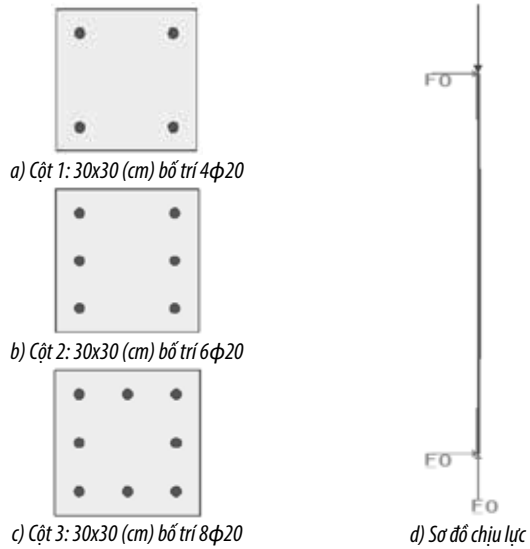
3.3.1 Tính khả năng chịu lực của cột sau cháy

Xác định khả năng chịu lực còn lại của cột BTCT chịu nén đúng tâm sau cháy với đám cháy theo tiêu chuẩn ISO 834 tương ứng 30 phút, 60 phút và 90 phút. Cột tiết diện vuông có kích thước 30x30 cm bố trí cốt thép như sau : cột 1 bố trí 4φ20, cột 2 bố trí 6φ20 và cột 3 bố trí 8φ20 với chiều dày lớp bê tông bảo vệ bằng 4 cm. Biết, cột cao 3,3 m, cột có sơ đồ tính hai đầu khớp như hình 8c. Cột có độ lệch tâm ban đầu là e = b/30 = 1 cm. Giới hạn chảy của thép f_y = 500 MPa, cường độ chịu nén tiêu chuẩn của bê tông f_c = 30 MPa, cột có 4 mặt tiếp xúc với lửa.

Dùng phần mềm SAFIR để hai bước tính tương tự như cấu kiện dầm, có kết quả tính toán khả năng chịu lực sau cháy của cột trình bày trong **Bảng 3.** Thấy rằng, sau cháy khả năng chịu lực của cột giảm nhiều: sau cháy 30 phút thì khả năng chịu lực của cột còn khoảng 57 % - 62 %, sau cháy 60 phút thì khả năng chịu lực của cột còn khoảng 42 % - 49 %, sau cháy 90 phút thì khả năng chịu lực của cột còn khoảng 33 % - 44 %.

Bảng 3. Khả năng chịu lực của cột chịu nén đúng tâm sau cháy

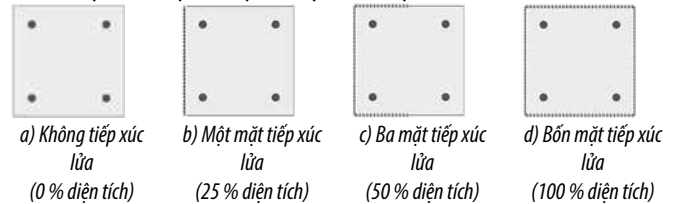
	R0		R30		R60		R90	
	N ₀ (kN)	N ₃₀ (kN)	N ₃₀ /N ₀	N ₆₀ (kN)	N ₆₀ /N ₀	N ₉₀ (kN)	N ₉₀ /N ₀	
Cột 1: 4φ20	2411,7	1379,1	0,572	1003,1	0,416	803,42	0,333	
Cột 2: 6φ20	2589,7	1545,7	0,597	1171,1	0,452	999,83	0,386	
Cột 3: 8φ20	2859,6	1765,7	0,617	1403,5	0,491	1259,8	0,441	



Hình 8. Tiết diện ngang và sơ đồ chịu lực cột

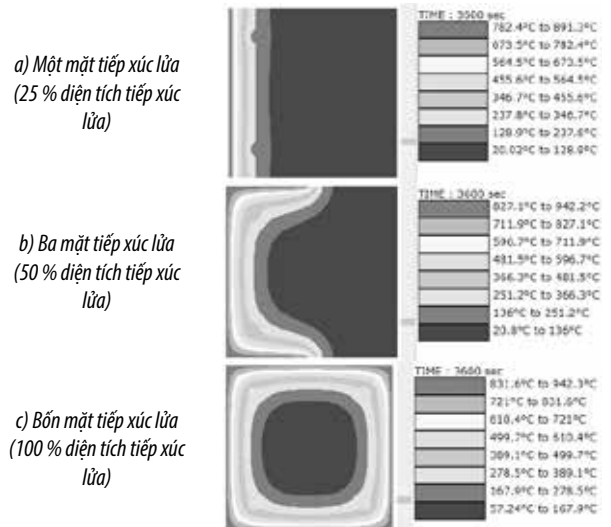
3.3.2 Ảnh hưởng của diện tích tiếp xúc với lửa đến khả năng chịu lực của cột chịu nén đúng tâm sau cháy

Xác định khả năng chịu lực sau cháy của cột BTCT chịu nén đúng tâm. Cột chịu đám cháy theo tiêu chuẩn ISO 834 sau 60 phút. Cột tiết diện vuông có kích thước 30x30 cm bố trí cốt thép 4φ20 với chiều dày lớp bê tông bảo vệ bằng 4 cm. Biết, cột cao 3,3 m, cột có sơ đồ tính hai đầu khớp như hình 8d. Cột có độ lệch tâm ban đầu là e = b/30 = 1 cm. Giới hạn chảy của thép f_y = 500 MPa, cường độ chịu nén tiêu chuẩn của bê tông f_c = 30 MPa, cột có số mặt tiếp xúc với lửa lần lượt là 0 mặt, 1 mặt, 3 mặt và 4 mặt như trên **Hình 9.**

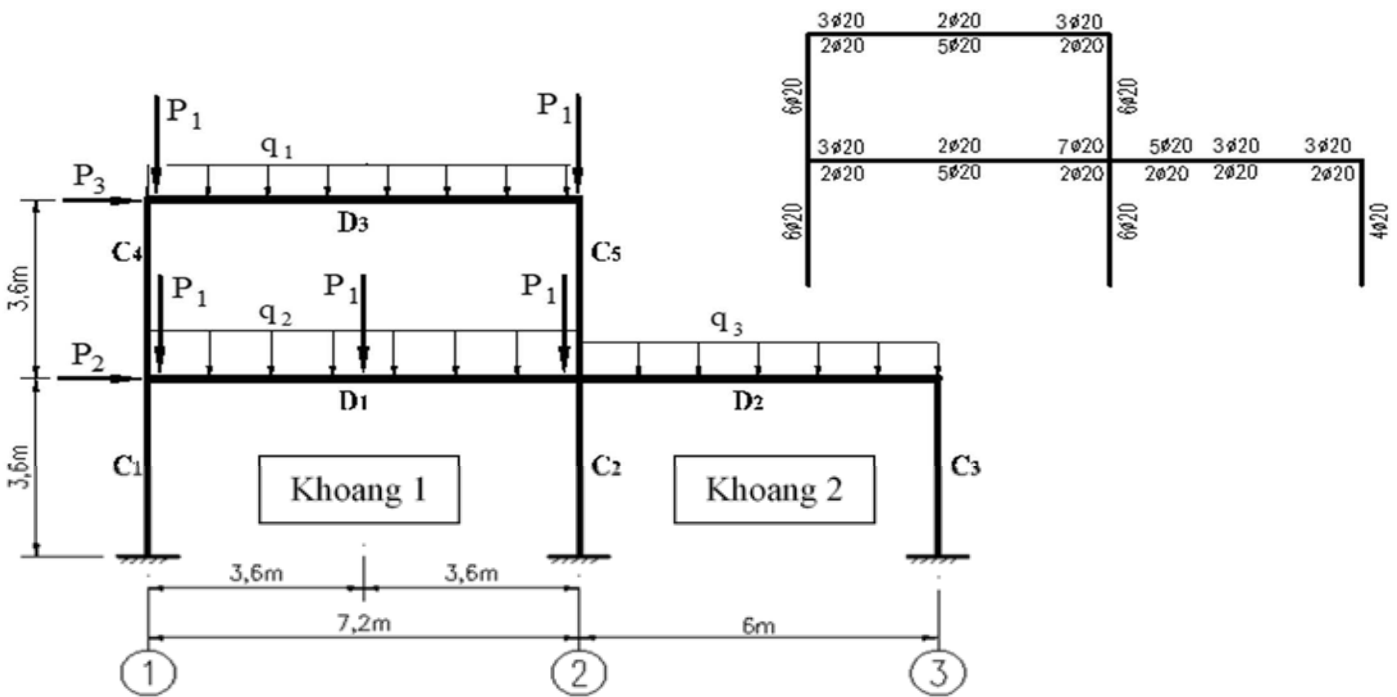


Hình 9. Các mặt tiếp xúc với lửa của cột

Sử dụng SAFIR để phân tích sự phát triển nhiệt độ trong các tiết diện, kết quả phân tích tại thời điểm 60 phút cháy được giới thiệu trên **Hình 10.**



Hình 10. Nhiệt độ trên các tiết diện có diện tích bề mặt tiếp xúc với lửa khác nhau sau 60 phút chịu cháy



Hình 11. Sơ đồ tải trọng và bố trí cốt thép khung

Sử dụng SAFIR để phân tích xác định khả năng chịu lực của cột. Kết quả tính toán cho trong Bảng 4. Thấy rằng, khi diện tích tiếp xúc với lửa tăng từ 0% đến 100% thì khả năng chịu lực còn lại của cột giảm từ 100% xuống còn 42%.

Bảng 4. Khả năng chịu lực của cột chịu nén đúng tâm có diện tích tiếp xúc với lửa khác nhau

	R0		R60		N ₆₀ /N ₀
	N ₀ (kN)	M ₀ (kNm)	N ₆₀ (kN)	M ₆₀ (kNm)	
Cột 1: 0 % diện tích tiếp xúc lửa	2411,7	2411,7	2411,7	2411,7	1,00
Cột 2: 25 % diện tích tiếp xúc lửa	2411,7	1907,5	1907,5	1907,5	0,79
Cột 3: 50 % diện tích tiếp xúc lửa	2411,7	1619,5	1619,5	1619,5	0,67
Cột 4: 100 % diện tích tiếp xúc lửa	2411,7	1003,1	1003,1	1003,1	0,42

3.3.3 Xác định khả năng chịu lực của cột chịu nén lệch tâm sau cháy

Xác định khả năng chịu lực còn lại của cột BTCT chịu nén lệch tâm sau cháy với đám cháy theo tiêu chuẩn ISO 834 sau 60 phút. Cột tiết diện vuông có kích thước 30x30 cm bố trí cốt thép 4φ20 với chiều dày lớp bê tông bảo vệ bằng 4 cm. Độ lệch tâm của cột lần lượt bằng e = b/5 = 6 cm; e = b/3 = 10 cm; e = b/2 = 15 cm; e = b = 30 cm. Biết, cột cao 3,3 m, cột có sơ đồ tĩnh hai đầu khớp như hình 8d. Giới hạn chảy của thép f_y = 500 MPa, cường độ chịu nén tiêu chuẩn của bê tông f_c = 30 MPa, cột có 4 mặt tiếp xúc với lửa.

Sử dụng SAFIR để phân tích xác định khả năng chịu lực của cột. Kết quả tính toán cho trong Bảng 5. Thấy rằng khi độ lệch tâm tăng từ e = 6 cm đến 30 cm thì khả năng chịu lực còn lại của cột tăng từ 46,7% lên 78,3%. Lý do là trong cột chịu nén lệch tâm, khi độ lệch tâm càng lớn, vai trò của cốt thép càng quan trọng, mà sau cháy cốt thép phục hồi hầu như toàn bộ cường độ.

Bảng 5. Khả năng chịu lực của cột chịu nén lệch tâm sau cháy 60 phút

	R0		R60		N ₆₀ /N ₀
	N ₀ (kN)	M ₀ (kNm)	N ₆₀ (kN)	M ₆₀ (kNm)	
Cột 1: e = b/5 = 6 cm	1728,3	103,5	807,8	50,4	0,467
Cột 2: e = b/3 = 10 cm	1306,5	129,9	664,2	67,4	0,508
Cột 3: e = b/2 = 15 cm	944,7	140,2	568,5	86,0	0,602
Cột 4: e = b = 30 cm	358,5	105,7	280,7	83,0	0,783

3.4 Tính toán, khảo sát khả năng chịu lực của kết cấu khung phẳng BTCT sau cháy

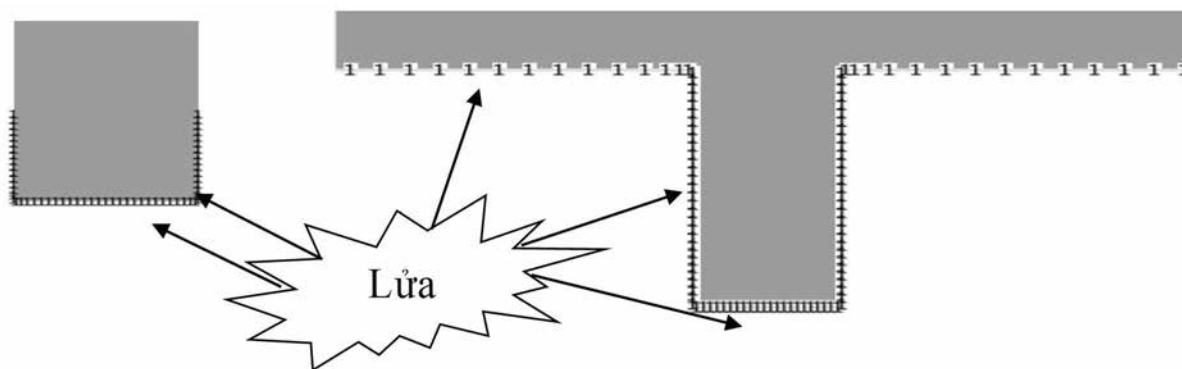
3.4.1 Mô tả sơ đồ khung và hình thức tiếp xúc với đám cháy

Xác định khả năng chịu tải của kết cấu khung BTCT như trên hình 11 sau cháy 60 phút, khung được thiết kế dựa trên các giá trị nội lực tính theo giả thiết vật liệu đàn hồi. Dầm tiết diện chữ T có kích thước 30x60 cm, bề rộng cánh 72 cm, chiều dày cánh 12 cm. Cột có kích thước tiết diện ngang là 30x30 cm. Số lượng và đường kính cốt thép trong mỗi đoạn dầm, cột thiết kế như hình 11, chiều dày lớp bê tông bảo vệ a_{bv} = 4 cm. Giới hạn chảy của thép f_y = 500 MPa, cường độ chịu nén tiêu chuẩn của bê tông f_c = 30 MPa.

Bảng 6. Tải trọng tác dụng lên khung

Tải trọng	P ₁ (kN)	P ₂ (kN)	P ₃ (kN)	q ₁ (kN/m)	q ₂ (kN/m)	q ₃ (kN/m)
Giá trị	50k	20k	10k	14k	32k	26k

Để đánh giá khả năng chịu lực của khung sau cháy, nghiên cứu tiến hành xác định các hệ số tải trọng k trong 2 trường hợp, k₁ là hệ số tải trọng giới hạn của khung ở điều kiện nhiệt độ thường và k₂ là



a) Tiết diện cột C₁, C₂
 Hình 12. Mặt tiếp xúc với lửa của tiết diện cột và dầm

b) Tiết diện dầm D₁

hệ số tải trọng giới hạn của khung sau cháy (khung chịu cháy 60 phút). Tỷ số k_2/k_1 cho biết khả năng chịu lực còn lại của khung sau cháy.

Giả sử đám cháy xảy ra tại tầng một của nhịp 1-2 (khoảng 1). Như vậy cột C₁, C₂ và dầm D₁ tiếp xúc với lửa. Trên Hình 12, giới thiệu các tiết diện dầm và cột với các mặt tiếp xúc với lửa. Tiết diện cột có một mặt tiếp xúc hoàn toàn với lửa, hai mặt bên tiếp xúc một phần do phần còn lại được che bởi tường xây. Tiết diện dầm có ba mặt tiếp xúc với lửa. Quá trình phân tích nhiệt phát triển trên tiết diện trong điều kiện đám cháy sử dụng đường nhiệt độ lấy theo đường R60 của biểu đồ Hình 3. Các kết quả tính nhiệt độ cho tiết diện và thông tin tiết diện được lưu vào tệp, các tệp này có đầy đủ thông tin đầu vào cho phần tiết diện trong phân tích kết cấu.

3.4.2 Khả năng chịu tải của khung phẳng BTCT sau cháy

Xác định khả năng chịu tải còn lại của khung sau cháy như mô tả ở mục 0.

Để xác định tải trọng giới hạn tác động lên khung, sử dụng phần mềm SAFIR phân tích khung ở nhiệt độ thường (20 °C), tải trọng tác dụng lên khung tăng dần cho đến khi khung bị phá hoại. Lúc này xác định được hệ số tải trọng là $k_1 = 2,775$. Phân tích kết cấu sau cháy (bao gồm cả quá trình tăng nhiệt, giảm nhiệt và sau cháy 24 giờ để dầm bảo nhiệt độ trong kết cấu trở về nhiệt độ thông thường), tải trọng thẳng đứng giữ ở mức 60% tải cực hạn và tải ngang bằng 0 từ khi kết cấu bị cháy đến thời điểm sau cháy 24 giờ rồi tăng tải thẳng đứng và tải ngang cho đến khi kết cấu bị phá hoại. Lúc này xác định được hệ số tải trọng $k_2 = 2,579$. Vậy, sau khi khoảng 1 bị cháy 60 phút, kết cấu sau khi cháy còn lại khả năng chịu lực: $k_2/k_1 = 92,9\%$.

3.4.3 Khả năng chịu tải của khung phẳng BTCT sau cháy khi thay đổi quy mô đám cháy

Xét khung BTCT đã mô tả ở mục 0, song tính với bốn kịch bản cháy như trong Bảng 7.

Bảng 7. Các tình huống cháy

Quy mô cháy	Thời gian cháy	
	60 phút (R60)	90 phút (R90)
Cháy khoang 1	60 phút (R60)	90 phút (R90)
Cháy khoang 1 + 2	60 phút (R60)	90 phút (R90)

Tải trọng thẳng đứng giữ ở mức 60% tải cực hạn đến thời điểm sau cháy 24 giờ rồi tăng tải thẳng đứng và tải ngang cho đến khi kết cấu bị phá hoại. Sử dụng SAFIR phân tích kết cấu sau cháy, kết quả tính khả năng chịu tải của khung cho trong Bảng 8.

Bảng 8. Khả năng chịu tải của khung BTCT sau cháy với các thời gian cháy khác nhau

Quy mô cháy	R60		R90	
	Hệ số tải trọng k	Khả năng chịu tải	Hệ số tải trọng k	Khả năng chịu tải còn lại
Cháy khoang 1	2,579	92,9 %	2,485	89,5 %
Cháy khoang 1 + 2	2,445	88,1 %	2,195	79,1 %

Từ kết quả Bảng 8, thấy rằng, khi tăng thời gian cháy từ 60 phút lên 90 phút thì khả năng chịu tải còn lại của khung giảm nhẹ khi cháy khoang 1 (từ 92,9% giảm còn 89,5%) và giảm mạnh khi cháy khoang 1 + 2 (từ 88,1% giảm còn 79,1%).

4. KẾT LUẬN

Sử dụng phần mềm SAFIR khảo sát phân tích một số kết cấu sau cháy xét đến sự thay đổi các đặc trưng cơ học của vật liệu trong các giai đoạn cháy và sau cháy, thấy rằng:

- Khả năng chịu lực còn lại sau cháy của dầm khá lớn trong khi đó khả năng chịu lực còn lại của cột giảm mạnh. Có thể lý giải như sau: cường độ của bê tông sau cháy giảm đáng kể trong khi cường độ của cốt thép hầu như được phục hồi hoàn toàn. Cường độ của bê tông ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chịu lực của cột và ít ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của dầm;
- Cột có độ lệch tâm càng lớn thì khả năng chịu lực còn lại sau cháy càng cao. Lý do là trong cột chịu nén lệch tâm, khi độ lệch tâm càng lớn, vai trò của cốt thép càng quan trọng, mà sau cháy cốt thép phục hồi hầu như toàn bộ cường độ;
- Khảo sát khung chịu cháy 60 phút, khả năng chịu tải còn lại của khung khá lớn (≈ 90 %). Lý do là khung có bậc siêu tĩnh lớn nên có khả năng phân phối lại nội lực thích nghi với khả năng chịu lực của từng tiết diện trong khung;
- Quy mô đám cháy và thời gian cháy cũng tác động đến khả năng chịu tải còn lại của khung sau cháy, đặc biệt là khi quy mô đám cháy lớn và thời gian cháy lâu.

TÀI LIỆU TRÍCH DẪN

1. EN 1992-1-2 Eurocode 2: Design of concrete structures, Part 1.2: General rules – Structural fire design. European committee for Standardization, 2004
2. Concrete Society, 2008. Assessment, Design and Repair of Fire-Damaged Concrete Structures, Technical Report, The Concrete Society, UK. National Codes and Standards Council
3. Franssen J.M. (2005), SAFIR. A Thermal/Structural Program Modelling Structures under Fire. Engineering Journal. A.I.S.C., 42. (3). 2005
4. Franssen J.M (2016), Gemay T., User manual of SAFIR 2016. University of Liege, Belgium. 2016.