

Nghiên cứu đánh giá khả năng chống cháy của các dầm bê tông cốt thép giản đơn theo Tiêu chuẩn ACI 216.1M-14

Study on evaluating the fire resistance of simple reinforced concrete beams based on the ACI 216.1M-14

> TS ĐÀO SỸ ĐÁN

Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông vận tải
Email: sydandao@utc.edu.vn

TÓM TẮT

Hỏa hoạn là sự đốt cháy nhiên liệu và lan rộng không kiểm soát được theo thời gian và không gian, gây nguy hiểm lớn đến cả tính mạng con người và tài sản vật chất. Có nhiều phương pháp khác nhau để đánh giá khả năng chống cháy của cấu kiện bê tông cốt thép, như phương pháp tra bảng, phương pháp phân tích, phương pháp mô phỏng số và phương pháp thực nghiệm. Mục tiêu của nghiên cứu này là nghiên cứu đánh giá khả năng chống cháy của các dầm bê tông cốt thép giản đơn theo Tiêu chuẩn ACI 216.1M-14, sử dụng phương pháp tra bảng và phương pháp phân tích. Kết quả nghiên cứu cho thấy, việc xác định khả năng chống cháy theo phương pháp phân tích tuy phức tạp hơn phương pháp tra bảng, nhưng cho kết quả tính phù hợp hơn với yêu cầu chịu lực của dầm. Ngược lại, phương pháp tra bảng tuy đơn giản nhưng cho kết quả tính quá thiên về an toàn.

Từ khóa: Khả năng chống cháy, phương pháp phân tích, dầm bê tông cốt thép, ACI 216.1M-14.

ABSTRACT

A fire hazard is the uncontrolled combustion of fuel that spreads over time and space, posing a serious threat to both human life and physical property. There are various methods for evaluating the fire resistance of reinforced concrete elements, including the tabulated method, analytical method, numerical simulation, and experimental method. The objective of this study is to assess the fire resistance of simply supported reinforced concrete beams in accordance with ACI 216.1M-14, using both the tabulated and analytical methods. The research results indicate that although the analytical method is more complex than the tabulated method, it yields results that better align with the structural strength requirements of the beams. Conversely, while the tabulated method is simpler, it tends to produce overly conservative results.

Keywords: Fire resistance, analytical method, reinforced concrete beams, ACI 216.1M-14.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tiếp theo bài báo trước đó của tác giả với tiêu đề "Nghiên cứu đánh giá khả năng chống cháy của các tấm bê tông cốt thép giản đơn theo Tiêu chuẩn ACI 216.1M-14" số 5/2025, Tạp chí Xây dựng [1], nghiên cứu này tập trung trình bày phương pháp đánh giá khả năng chống cháy của các dầm bê tông cốt thép giản đơn theo Tiêu chuẩn ACI 216.1M-14 [2]. Sự cần thiết phải nghiên cứu đánh giá khả năng chống cháy của kết cấu bê tông cốt thép; các khái niệm về chống cháy chủ động và bị động; các khái niệm về đường cong thời gian - nhiệt độ tiêu chuẩn của đám cháy và nội dung của phương pháp đánh giá khả năng chống cháy của các tấm bê tông cốt thép giản đơn, bạn đọc có thể xem trong bài báo trước đó của tác giả [1]. Giống như các tấm, bài báo được hy vọng sẽ hữu

ích cho các nhà nghiên cứu cũng như các kỹ sư quan tâm tới việc tính toán thiết kế chống cháy cho kết cấu bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn Hoa Kỳ.

2. CHIỀU DÀY LỚP BÊ TÔNG BẢO VỆ CỐT THÉP CHO CẤU KIỆN DẦM

Lớp bê tông bảo vệ tối thiểu của cốt thép dọc mặt dưới (cốt thép chịu uốn dương trong dầm nhịp giản đơn) cho các dầm được quy định như Bảng 1 dưới đây. Chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép không được nhỏ hơn yêu cầu về chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép của tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép ACI 318M-11 [3] tương ứng. Sự phân loại các dầm bê tông cốt thép thành loại bị kiểm chế và không bị kiểm chế theo Bảng 2 dưới đây.

Bảng 1. Chiều dày lớp bê tông bảo vệ tối thiểu trong các dầm không dự ứng lực

Sự kiểm chế	Bề rộng dầm (mm)	Chiều dày lớp bê tông bảo vệ tối thiểu cho các mức chống cháy (mm)				
		1 giờ	1,5 giờ	2 giờ	3 giờ	4 giờ
Bị kiểm chế	125	20	20	20	25	30
	175	20	20	20	20	20
		20	20	20	20	20
Không bị kiểm chế	125	20	25	30	Not permitted	Not permitted
	175	20	20	20	45	75
		20	20	20	25	45

Chiều dày lớp bê tông bảo vệ lớp cốt thép dọc mặt dưới cho các dầm bị kiểm chế và không bị kiểm chế với chiều rộng khác nhau để có khả năng chống cháy từ 1 đến 4 giờ phải tuân theo quy định trong Bảng 1. Những giá trị trong Bảng 1 cho các dầm bị kiểm chế được áp dụng cho các dầm cách nhau hơn 1,2 m. Cho những dầm bị kiểm chế cách nhau 1,2 m hoặc nhỏ hơn, thì 20 mm chiều dày lớp bê tông bảo vệ là được phép để đảm bảo khả năng chống cháy là 4 giờ hoặc ít hơn. Chiều dày lớp bê tông bảo vệ cho các dầm có bề rộng trung gian giữa các giá trị trong Bảng 1 có thể được xác định bằng phương pháp nội suy tuyến tính. Chiều dày lớp bê tông bảo vệ cho một thanh cốt thép riêng lẻ là chiều dày nhỏ nhất của bê tông từ bề mặt của thanh cốt thép và bề mặt tiếp xúc với lửa của dầm. Với các dầm sử dụng nhiều lớp cốt thép thì chiều dày lớp bê tông bảo vệ là giá trị trung bình của chiều dày lớp bê tông bảo vệ của từng thanh cốt thép riêng lẻ. Cho những thanh cốt thép ở góc (đó là những thanh cốt thép cách đều mặt đáy và mặt bên của dầm) thì chiều dày lớp bê tông bảo vệ nhỏ nhất được sử dụng trong tính toán là một nửa của giá trị thực tế. Chiều dày lớp bê tông bảo vệ thực tế cho bất kỳ thanh cốt thép riêng lẻ nào không được ít hơn một nửa giá trị lớn hơn của giá trị trong Bảng 1 và 20 mm.

Bảng 2. Sự phân loại xây dựng: Bị kiểm chế và không bị kiểm chế

Không bị kiểm chế	
Những cấu kiện chịu lực thuộc mặt phẳng tường	Các nhịp giằng đơn và các nhịp cuối được chống đỡ giằng đơn của kết cấu nhiều nhịp
Bị kiểm chế	
Những cấu kiện chịu lực thuộc mặt phẳng tường	Nhịp trong của kết cấu nhiều nhịp: 1. Hệ thống sàn bê tông đúc tại chỗ. 2. Bê tông đúc sẵn ở nơi mà sự giãn nở nhiệt tiềm năng bị kiểm chế với những cấu kiện khung.
Khung bê tông	1. Các dầm được gắn chặt vào khung. 2. Hệ thống sàn hoặc mái đúc tại chỗ (như hệ thống dầm/sàn, sàn phẳng, sàn tổ ong), nơi mà hệ thống sàn hoặc mái được đúc với những cấu kiện khung. 3. Các nhịp trong và ngoài của hệ thống đúc sẵn với những mối nối đúc tại chỗ. 4. Hệ thống sàn hoặc mái đúc sẵn trong nhà máy nơi mà những cấu kiện kết cấu được kẹp chặt cho hệ thống như vậy và sự giãn nở nhiệt tiềm năng của hệ thống sàn hoặc mái bị kiểm chế bằng hệ thống khung của sự xây dựng sàn hoặc mái lân cận.

3. PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH XÁC ĐỊNH KHẢ NĂNG CHỐNG CHÁY CỦA DẦM GIẢN ĐƠN

Khả năng chống cháy của cấu kiện chịu uốn, không bị kiểm chế, được chống đỡ giằng đơn, được xác định theo công thức (1) dưới đây. Trong đó, M_n - Sức kháng uốn danh định của mặt cắt dầm ở nhiệt độ thông thường; $M_{n\theta}$ - Sức kháng uốn danh định của mặt cắt dầm ở nhiệt độ cao; M - Mô-men uốn do tải trọng khai thác tác động

trên dầm khi có cháy xảy ra. Tổ hợp tải trọng để xác định mô-men uốn do tải trọng khai thác tác động lên dầm khi có cháy xảy ra được xác định theo quy định Tiêu chuẩn ASCE/SEI 7-10 [4], như công thức (2) dưới đây. Trong đó: D - Tĩnh tải; L - Hoạt tải; S - Tải trọng tuyết; A_k - Tải trọng phát sinh khi có cháy xảy ra. Với điều kiện ở Việt Nam và cấu kiện dầm giằng đơn thì tổ hợp tải trọng này được rút gọn thành đơn giản như công thức (3).

Khi có đám cháy xảy ra thì nhiệt độ trong bê tông và cốt thép sẽ tăng cao tùy thuộc vào loại vật liệu, kích thước, hình dạng của dầm, đặc biệt là chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép và thời gian kéo dài của đám cháy. Nhiệt độ tăng cao sẽ làm cho bê tông và cốt thép cùng bị giảm cường độ và do đó kết cấu có thể bị phá hoại khi đám cháy xảy ra sau một thời gian nào đó. Như vậy, có thể sử dụng công thức (1) để xác định khả năng chống cháy của cấu kiện dầm giằng đơn. Việc xác định khả năng chống cháy của dầm bê tông cốt thép theo công thức (1) được gọi là phương pháp phân tích.

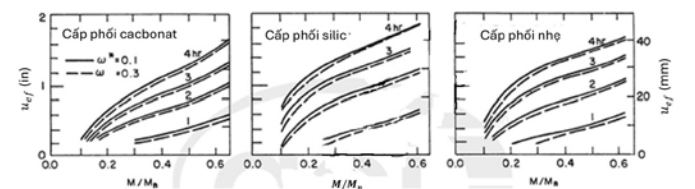
$$M_n \geq M_{n\theta} \geq M \tag{1}$$

$$(0,9 \text{ hoặc } 1,2)D + A_k + 0,5L + 0,2S \tag{2}$$

$$1,2D + 0,5L \tag{3}$$

$$\omega = A_s f_y / b d f'_c \tag{4}$$

Với các cấu kiện dầm giằng đơn thì phương pháp phân tích được đơn giản hóa bằng phương pháp đồ họa để xác định khả năng chống cháy của chúng. Với các dầm bê tông cốt thép giằng đơn thì Hình 1 dưới đây có thể được sử dụng để xác định khả năng chống cháy hoặc chiều dày lớp bê tông có hiệu tính từ tim cốt thép đến bề mặt tiếp xúc với lửa (u_{ef}). Chiều dày lớp bê tông có hiệu tính từ tim cốt thép đến bề mặt tiếp xúc với lửa cho một thanh cốt thép riêng lẻ là chiều dày nhỏ nhất của bê tông từ tim của thanh cốt thép và bề mặt tiếp xúc với lửa của dầm. Với các dầm sử dụng nhiều lớp cốt thép thì chiều dày lớp bê tông có hiệu tính từ tim cốt thép đến bề mặt tiếp xúc với lửa của dầm là giá trị trung bình của từng thanh cốt thép riêng lẻ. Cho những thanh cốt thép ở góc (đó là những thanh cốt thép cách đều mặt đáy và mặt bên của dầm) thì chiều dày lớp bê tông có hiệu tính từ tim cốt thép đến bề mặt tiếp xúc với lửa của dầm được quy định tương đương với một nửa giá trị thực tế của chúng. Chỉ số cốt thép dọc chịu kéo của tiết diện dầm (w) được xác định theo công thức (4). Trong đó: A_s - Diện tích cốt thép dọc chịu kéo; f_y - Giới hạn chảy của cốt thép dọc chịu kéo; b - Bề rộng của dầm; d - Chiều cao hữu hiệu chịu uốn của tiết diện hay khoảng cách từ trọng tâm cốt thép chịu kéo đến thớ bê tông chịu nén ngoài cùng (ở đây là thớ bê tông chịu nén trên cùng); f'_c - Cường độ chịu nén quy định của bê tông.



Hình 1. Khả năng chống cháy của dầm bê tông cốt thép tùy thuộc vào loại cấp phối, cường độ mô-men và u_{ef}

4. TRÌNH TỰ ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG CHỐNG CHÁY CỦA DẦM BÊ TÔNG CỐT THÉP GIẢN ĐƠN

Có nhiều phương pháp khác nhau để đánh giá khả năng chống cháy của cấu kiện bê tông cốt thép được chấp nhận bởi Tiêu chuẩn ACI 216.1M-14 [1], như phương pháp tra bảng, phương pháp phân tích, phương pháp mô phỏng số và phương pháp thử nghiệm. Tuy nhiên, ở đây chỉ trình bày nội dung của phương pháp tra bảng và phương pháp phân tích; là hai phương pháp được quy định chi tiết trong Tiêu chuẩn ACI 216.1M-14. Nội dung các phương pháp được trình bày ở đây được áp dụng cho các cấu kiện dầm bê tông cốt thép nhịp giằng đơn. Các dạng cấu kiện khác như cấu kiện dầm

có nhịp liên tục, sẽ được trình bày trong các nghiên cứu tiếp theo.

4.1. Phương pháp tra bảng

Phương pháp tra bảng được áp dụng cho các dầm bê tông cốt thép chịu tác động của đường gia nhiệt tiêu chuẩn theo ASTM E119-12a [5] với thời gian không quá 240 phút (4 giờ). Các bước thực hiện như sau:

- Bước 1: Xác định chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép dọc chịu kéo (mặt dưới dầm, mặt tiếp xúc với lửa) của dầm. Với các dầm sử dụng nhiều lớp cốt thép thì chiều dày lớp bê tông bảo vệ là giá trị trung bình của từng thanh cốt thép riêng lẻ. Chú ý, đối với những thanh cốt thép ở góc (gắn với cả mặt đáy và mặt bên dầm) thì chiều dày lớp bê tông bảo vệ chỉ được lấy bằng một nửa giá trị thực tế.

- Bước 2: Xác định khả năng chống cháy của dầm theo điều kiện chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép dọc chịu kéo, từ Bảng 1 ở trên.

4.2. Phương pháp phân tích

Phương pháp phân tích có thể được áp dụng cho các cấu kiện dầm bê tông cốt thép, nhịp giản đơn hoặc nhịp liên tục, bị kiểm chế hoặc không bị kiểm chế. Các bước thực hiện như sau:

- Bước 1: Xác định mô-men uốn lớn nhất tác dụng lên dầm do tổ hợp tải trọng khai thác tác động lên dầm khi có cháy xảy ra, theo công thức (3) ở trên.

- Bước 2: Xác định sức kháng uốn danh định của tiết diện dầm ở nhiệt độ thông thường và ở các mức nhiệt độ cao khác nhau theo Tiêu chuẩn ACI 318M-11 tương ứng khi thay đổi thời gian chịu tác động của đường gia nhiệt tiêu chuẩn theo ASTM E119-12a.

- Bước 3: Sử dụng công thức (1) để xác định khả năng chống cháy của cấu kiện ứng với các mức thời gian khác nhau.

Với các dầm bê tông cốt thép nhịp giản đơn thì phương pháp phân tích có thể tiến hành đơn giản bằng phương pháp đồ họa theo các bước sau:

- Bước 1: Xác định mô-men uốn lớn nhất tác dụng lên dầm do tổ hợp tải trọng khai thác tác động lên dầm khi có cháy xảy ra, theo công thức (3) ở trên.

- Bước 2: Xác định sức kháng uốn danh định của tiết diện dầm ở nhiệt độ thông thường theo Tiêu chuẩn ACI 318M-11 tương ứng.

- Bước 3: Xác định chiều dày lớp bê tông có hiệu tính từ tìm cốt thép chịu kéo đến bề mặt tiếp xúc với lửa và chỉ số cốt thép dọc chịu kéo theo công thức (4). Với các dầm sử dụng nhiều lớp cốt thép thì chiều dày lớp bê tông có hiệu là giá trị trung bình của từng thanh cốt thép riêng lẻ. Chú ý, đối với những thanh cốt thép ở góc (gắn với cả mặt đáy và mặt bên dầm) thì chiều dày lớp bê tông có hiệu chỉ được lấy bằng một nửa giá trị thực tế.

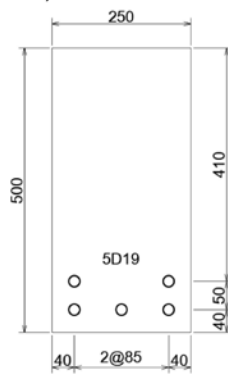
- Bước 4: Tra Hình 1 để xác định khả năng chống cháy tương ứng với các trường hợp khác nhau.

5. VÍ DỤ TÍNH TOÁN VÀ THẢO LUẬN

Trong phần này, việc xác định khả năng chống cháy của một dầm bê tông cốt thép, nhịp giản đơn, chịu tác dụng của tải trọng phân bố đều sẽ được thực hiện bằng cả hai phương pháp là phương pháp tra bảng và phương pháp phân tích đơn giản (tra hình), để so sánh kết quả với với nhau.

5.1. Yêu cầu của bài toán

Xác định khả năng chống cháy cho một dầm bê tông cốt thép, nhịp giản đơn, dài 5 m. Dầm có mặt cắt ngang hình chữ nhật kích thước $b \times h = (250 \times 500) \text{mm}$, được làm bằng bê tông cacbonat, có cường độ chịu nén quy định. Cốt thép dọc chịu kéo sử dụng



Hình 2. Mặt cắt ngang bố trí cốt thép dầm

5D19, theo ASTM A615M cấp 420, bố trí thành hai lớp ở vùng bê tông chịu kéo như Hình 2 dưới đây. Dầm chịu tác dụng của trọng lượng bản thân và hoạt tải phân bố đều có trị số bằng 80.

5.2. Phương pháp tra bảng

- Bước 1: Xác định chiều dày lớp bê tông bảo vệ cho từng thanh cốt thép riêng lẻ: $c_c = (40 - 19/2) = 30,5 \text{ mm}$.

Xác định chiều dày lớp bê tông bảo vệ đảm cốt thép chịu kéo trung bình: $c_{ef} = (3.30,5 + 2.30,5/2)/5 = 24,4 \text{ mm}$.

- Bước 2: Tra Bảng 1, ta xác định được khả năng chống cháy của dầm là $R = 2 + (3 - 2) \cdot (24,4 - 20) / (25 - 20) = 2,88 \text{ giờ}$.

5.3. Phương pháp phân tích

- Bước 1:

Xác định tải trọng phân bố đều tác dụng lên dầm do tổ hợp tải trọng khai thác tác dụng khi có cháy:

$$w = 1,2(0,25.0,5.24) + 0,5,80 = 43,6 \text{ kN/m}$$

Xác định mô-men uốn lớn nhất tác dụng lên dầm:

$$M = 43,6.5^2/8 = 136,2 \text{ kNm}$$

- Bước 2: Giả sử chảy dẻo, ta tính được chiều cao khối ứng nén hình chữ nhật tương đương:

$$a = A_s f_y / 0,85 f'_c b = 1420.420 / 0,85.25.250 = 112,3 \text{ mm}$$

Xác định khoảng cách từ trọng tâm của cốt thép chịu kéo đến thớ bê tông chịu nén ngoài cùng:

$$d = (A_{s1} d_1 + A_{s2} \cdot d_2) / A_s = (852.460 + 568.410) / 1420 = 440 \text{ mm}$$

Xác định biến dạng trung của cốt thép chịu kéo: $\epsilon_s = \epsilon_{cu} (d - c) / c = 0,003(440 - 112,3/0,85) / (112,3/0,85) = 0,007 > \epsilon_y = 0,0021$.

Vậy, giả sử cốt thép chịu kéo đã chảy dẻo là hợp lý. Xác định sức kháng uốn danh định của tiết diện dầm ở nhiệt độ thông thường:

$$M_n = 0,85 f'_c b a (d - a/2) = 0,85.25.250.112,3 \cdot (440 - 112,3/2) = 229 \text{ kNm}$$

- Bước 3: Xác định chiều dày lớp bê tông có hiệu trung bình tính từ tìm cốt thép chịu kéo đến mặt tiếp xúc với lửa..

$$u_{ef} = (3.40 + 2.40/2) / 5 = 32 \text{ mm}$$

Xác định chỉ số cốt thép dọc chịu kéo:

$$\omega = A_s f_y / b d f'_c = 1420.420 / (250.440.25) = 0,217$$

- Bước 4: Với các thông số $u_{ef} = 32 \text{ mm}$, $w = 0,217$ và $M/M_n = 136,2/229 = 0,595$. Tra Hình 1, ta tìm được khả năng chống cháy là $R = 3,05 \text{ giờ}$.

Như vậy, ta thấy phương pháp phân tích cho kết quả sát với yêu cầu chịu lực hơn. Phương pháp tra bảng cho kết quả quá thiên về an toàn.

6. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, khả năng chống cháy của dầm bê tông cốt thép giản đơn đã được đánh giá theo tiêu chuẩn Hoa Kỳ ACI 216.1M-14. Hai phương pháp đánh giá khả năng chống cháy của dầm bê tông cốt thép là phương pháp tra bảng và phương pháp phân tích được trình bày. Một ví dụ tính toán cụ thể để minh họa cách đánh giá khả năng chống cháy của dầm bê tông cốt thép nhịp giản đơn cũng được trình bày chi tiết. Kết quả cho thấy, phương pháp phân tích tuy phức tạp hơn nhưng cho kết quả sát với yêu cầu chịu lực của dầm hơn. Ngược lại, phương pháp tra bảng đơn giản, nhanh chóng, nhưng cho kết quả quá bảo thủ so với phương pháp phân tích.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Đào Sỹ Đán (2025), Nghiên cứu đánh giá khả năng chống cháy của các tấm bê tông cốt thép giản đơn theo Tiêu chuẩn ACI 216.1M-14, Tạp chí Xây dựng, số 5.
 [2]. ACI 216.1M-14 (2014), Code requirements for determining fire resistance of concrete and masonry construction assemblies, American Concrete Institute, USA.
 [3]. ACI 318M-11 (2011), Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, USA.
 [4]. ASCE/SEI 7-10 (2010), Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE, USA.