

ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC BIẾN ĐẾN ĐỘ TIN CẬY TRONG ỨNG XỬ CỦA DẦM ĐƠN GIẢN BÊ TÔNG CỐT THÉP CHỊU UỐN

THE EFFECT OF VARIABLES ON THE RELIABILITY OF REINFORCED CONCRETE BEAMS IN BENDING

Ngô Quốc Thanh

Tóm tắt:

Bài báo trình bày ảnh hưởng của các biến đến độ tin cậy (ĐTC) trong ứng xử của dầm đơn giản bê tông cốt thép (BTCT) chịu uốn, cung cấp cái nhìn cụ thể về mức độ ảnh hưởng của độ biến động của một số biến thiết kế đến cường độ chịu uốn của tiết diện dầm BTCT. Phương pháp phân tích bậc nhất (gọi tắt là FORM) và phương pháp Monte Carlo sẽ được sử dụng để đánh giá ĐTC. Kết quả phân tích độ nhạy xác định các biến ảnh hưởng lớn đến dầm là: cường độ bê tông (R_b), tải trọng (P), cường độ thép (R_s), diện tích thép (A_s). Đánh giá ĐTC bằng phương pháp Monte Carlo sẽ cho ra giá trị ĐTC thấp hơn so với phương pháp còn lại. Tác giả đề nghị sử dụng phương pháp Monte Carlo để đánh giá ĐTC cho dầm BTCT do tính an toàn và phản ánh đúng sự làm việc thực tế của cấu kiện.

Từ khóa: Độ tin cậy, phương pháp phân tích bậc nhất, phương pháp Monte Carlo.

Abstract:

This paper is in order to provide a specific view on the effect of some variables on the flexural strength of the reinforced concrete simple beam sections. There are two methods used to evaluate reliability: The first order reliability method and Monte Carlo method. On the basis of the analytical results received, there will be some majors influencing variables including the concrete strength, the loading capacity, the steel strength, the steel area. Evaluating the reliability by Monte Carlo method will give the lower reliability value than the other method. Therefore, the author recommends using this method to evaluate the reliability of reinforced concrete beams due to its safety and true reflection on the working reality of structure.

Keyword: Reliability, the first order reliability method, Monte Carlo method.

ThS. Ngô Quốc Thanh

*Trung tâm Bồi dưỡng Nghiệp vụ xây dựng và Đào tạo thường xuyên-
Trường ĐHXD Miền Tây*

Email: ngoquocthanh@mtu.edu.vn

ĐT: 0984040377

Ngày nhận bài: 31/1/2021

Ngày gửi phản biện: 26/3/2021

Ngày chấp nhận đăng: 16/4/2021

1. Đặt vấn đề

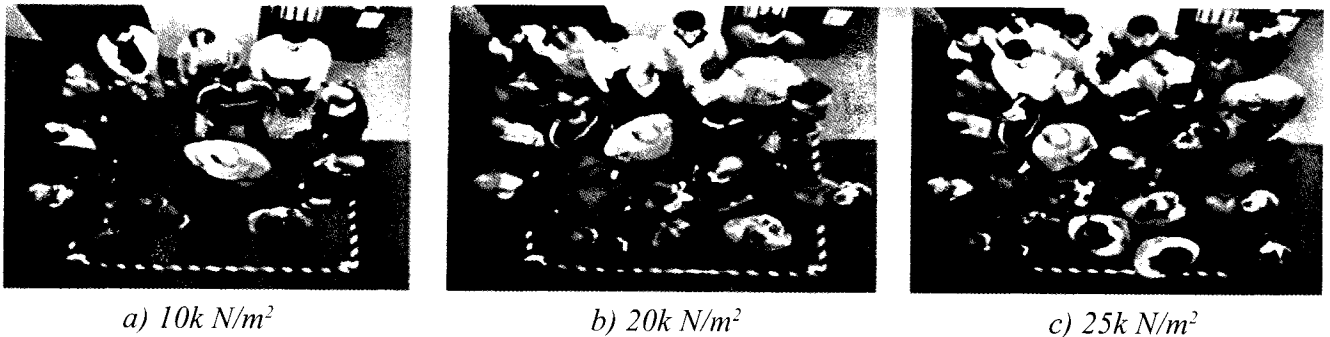
Trong thực tế, kết cấu xây dựng chịu tác động của nhiều yếu tố mang tính ngẫu nhiên như hoạt tải, gió, động đất... Ngoài ra các đặc trưng của kết cấu như kích thước, đặc trưng vật liệu, cường độ... cũng mang tính ngẫu nhiên. Để kể đến tính ngẫu nhiên của các tác động và thuộc tính của kết cấu, các phương pháp thiết kế thường sử dụng các hệ số thành phần như hệ số tải trọng, hệ số điều kiện làm việc... Mặc dù vậy các công trình vẫn có thể xảy ra sự cố do tính ngẫu nhiên, hay sự biến động, của các biến trong thực tế so với các giá trị sử dụng trong thiết kế.

Trong tính toán, thiết kế có số liệu, giá trị cụ thể nhưng trong thực tế có nhiều yếu tố ngẫu nhiên không thể lường trước được, biến động gây ra

bất lợi, dẫn đến sự cố công trình. Vì vậy, đánh giá ĐTC, tức là dự đoán xác suất an toàn của công trình, là công việc cần thiết.

Ví dụ: Tải trọng (hoạt tải) có giá trị thay đổi theo

thời gian và không gian, là một đại lượng thay đổi một cách ngẫu nhiên. Tải trọng tác động lên khu vực sàn (hình 1) thay đổi ngẫu nhiên, phụ thuộc vào số lượng người tại thời điểm một nhất định.



Hình 1. Tải trọng tác dụng lên sàn thay đổi theo số lượng người [1]

2. Đánh giá độ tin cậy của dầm đơn giản BTCT chịu uốn

2.1. Mục tiêu đánh giá độ tin cậy của dầm đơn giản

Mục tiêu nghiên cứu nhằm đánh giá, xác định độ nhạy của các biến ảnh hưởng lớn đến độ tin cậy trong ứng xử của dầm đơn giản BTCT chịu uốn dưới sự tác động ngẫu nhiên của các biến. Từ các biến đã được xác định ảnh hưởng lớn đến ứng xử của dầm, tác giả ứng dụng lý thuyết độ tin cậy tiến hành đánh giá độ tin cậy trong ứng xử của dầm đơn giản BTCT khi các biến đầu vào có sự thay đổi ngẫu nhiên.

2.2. Thiết lập phương trình đánh giá ĐTC

Phương pháp xác định độ nhạy của từng biến ảnh hưởng trực tiếp đến ứng xử của dầm BTCT gồm các biến như sau: $R_s, R_b, A_s, b, h, L, p$ (Cường độ thép, cường độ bê tông, diện tích thép, chiều rộng tiết diện, chiều cao tiết diện, chiều dài, tải trọng). Sử dụng công thức xác định moment lớn nhất (do ngoại lực tác động lên cấu kiện) và moment giới hạn (do nội lực tác động) của cấu kiện đang xét (dầm đơn giản BTCT) lần lượt cho các biến dao động ngẫu nhiên trong miền dao động xung quanh kỳ vọng $\pm 3\sigma$ [3]. Với hệ số biến động của từng biến (tra theo TCVN 5574-2018 [2] và một số tài liệu liên quan [2],[7],[11]). Xem giá trị của các biến mà đề bài cho ban đầu là giá trị trung bình μ của từng biến. Từ đó xác định được các biến có ảnh hưởng lớn nhất đến khả năng chịu lực

của cấu kiện đang xét. Sử dụng phần mềm Matlab xác định biểu đồ dao động.

Đánh giá ĐTC theo phương pháp bậc nhất (FORM) [6] là phương pháp chỉ sử dụng đến moment bậc 1, tức là kỳ vọng và hiệp phương sai của các biến cơ bản mà không đòi hỏi các hàm mật độ của chúng. Để xác định ĐTC theo phương pháp này, ta xác định độ lệch chuẩn bằng cách tích phân (lấy đạo hàm) của hàm trạng thái theo biến nhạy đã được xác định có ảnh hưởng lớn đến ĐTC của dầm, từ đó xác định được phương sai, chỉ số ĐTC và cuối cùng là xác định ĐTC của dầm. Trình tự tính được thể hiện như các bước sau:

$$\text{Xác định kỳ vọng } \mu_M = [M] - M_{\text{xét}} \tag{1}$$

Xác định độ lệch chuẩn, lấy đạo hàm theo từng biến nhạy:

$$\sigma_M^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 \sigma_{xi}^2 \tag{2}$$

$$\text{Phương sai: } \sigma_M = \sqrt{\sigma_M^2} \tag{3}$$

$$\text{Chỉ số ĐTC: } \beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} \tag{4}$$

Sau khi đã xác định được chỉ số độ tin cậy, ta tiến hành tra phụ lục bảng 2 [1] nội suy hoặc sử dụng hàm CDF (Cumulative Distribution Function) trong Matlab, xác định ĐTC P_s .

Đánh giá ĐTC bằng phương pháp Monte Carlo [1] là phương pháp đặc biệt có thể sử dụng để tạo ra kết quả số mà không cần thiết phải thực hiện thử nghiệm thật. Ta có thể sử dụng kết quả

từ các thử nghiệm trước đó để thiết lập các phân phối xác suất cho các thông số quan trọng của bài toán. Sau đó ta sử dụng thông tin phân phối này để tạo các mẫu dữ liệu số. Trong mỗi thí nghiệm giá trị của các biến ngẫu nhiên đầu vào $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ được lấy mẫu dựa trên các phân phối của

chúng. Sau đó các biến ngẫu nhiên đầu ra Y được ước lượng qua hàm trạng thái giới hạn $Y=g(X)$ tại các giá trị mẫu ngẫu nhiên đầu vào. Số mẫu càng nhiều thì mô phỏng càng chính xác [1]. Thiết lập phương trình mô phỏng.

$$\text{Hàm trạng thái: } g(X) = \left[R_s A_s \left(h_0 - \frac{R_s A_s}{2bR_b} \right) \right] - \left(\frac{1.1 \times q_{1.1}^{tc} \times L^2}{12} + \frac{1.2 \times q_{1.2}^{tc} \times L^2}{12} \right) \quad (5)$$

Trong đó: R_b : Cường độ bê tông; b : Chiều rộng cầu kiện; h : Chiều cao của cầu kiện; a : Lớp bê tông bảo vệ cốt thép; R_s : Cường độ thép; A_s : Diện tích thép.

Tạo giá trị các biến nhảy, một cách ngẫu nhiên theo phân phối xác suất chuẩn, ta sử dụng hàm Normrnd (Normal random numbers: tạo một số ngẫu nhiên từ phân phối chuẩn với tham số trung bình μ và tham số độ lệch chuẩn σ) trong phần mềm Matlab để xác định biến ngẫu nhiên trong miền dao động xung quanh kỳ vọng $\pm 3\sigma$.

$$\text{Xác định giá trị trung bình: } \mu_M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g_i(X) \quad (6)$$

$$\Rightarrow \text{Chỉ số độ tin cậy: } \beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} \quad (7)$$

Sau khi đã xác định được chỉ số độ tin cậy, ta sử dụng hàm CDF (Cumulative Distribution Function) trong Matlab, xác định ĐTC P_s .

3. Ví dụ tính toán

3.1. Thông số thiết kế và khảo sát

Cho sàn có diện tích 6m x 6m, chức năng sàn là văn phòng làm việc. Chọn sơ bộ chiều dày sàn 120mm. Chọn tiết diện dầm $b \times h = (300 \times 500)$. Bê tông sử dụng B25. Cường độ cốt thép CIII. Giả thiết bỏ qua trọng lượng bản thân của dầm BTCT.

Bảng 1: Tải trọng truyền lên dầm.

Stt	Các lớp cấu tạo	γ (kN/m ³)	h (m)	g_s^{tc} (kN/m ²)	Hệ số vượt tải (n)
1	Gạch Ceramic	20	0.01	0.2	1.1
2	Vữa lót	18	0.03	0.54	1.2
3	Tường xây dày 100			4.0	1.2
4	Sàn BTCT	25	0.12	3.0	1.1
5	Vữa trát trần	18	0.015	0.27	1.2
6	Khung trần + thiết bị			0.300	1.2

Tính toán thép cho dầm BTCT chịu uốn.

$$M_{max} = \frac{1.1 \times 19.2 \times 6^2}{12} + \frac{1.2 \times 42.66 \times 6^2}{12} \Rightarrow M_{max} = 216.936 \text{ (kNm)} \quad (8)$$

$$\text{Giả thiết lớp bê tông bảo vệ là 3.5 cm} \Rightarrow \alpha_m = \frac{21693.6}{1.42 \times 30 \times 46.5^2} = 0.236 \quad (9)$$

Ta có: $\alpha_m = 0.236 \leq \alpha_R = 0.405$. Thỏa điều kiện xảy ra phá hoại dẻo:

$$\text{Từ công thức ta tính: } \zeta = 0.5 \left(1 + \sqrt{1 - 2 \times 0.236} \right) = 0.864 \quad (10)$$

NGHIÊN CỨU TRAO ĐỔI

$$\text{Diện tích thép tính toán: } A_s = \frac{21693.6}{0.864 \times 36.5 \times 46.5} = 14.80 \text{ (cm}^2\text{)} \quad (11)$$

Theo mục 4.1.5 TCVN 4453:1995 [11], các thanh thép bị hẹp, bị giảm tiết diện do làm sạch hoặc do các nguyên nhân khác không vượt quá giới hạn cho phép 2% đường kính (d). Ta có diện tích thép $A_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$, từ đó ta xác định được độ lệch chuẩn tối đa cho phép so với giá trị trung bình, theo qui luật 3 σ . Ta thiết lập được công thức sau:

$$0,04 \times A_s = 3\sigma_{A_s} \Leftrightarrow v_{A_s} = \frac{\sigma_{A_s}}{A_s} \approx \frac{0.04}{3} = 0.0133 \quad (12)$$

$$\text{Độ lệch chuẩn của diện tích thép là: } \sigma_{A_s} = v_{A_s} \times A_s = 0.0133 \times 14.80 = 0.1968 \text{ cm}^2 \quad (13)$$

3.2. Xác định biến nhay của Dầm BTCT

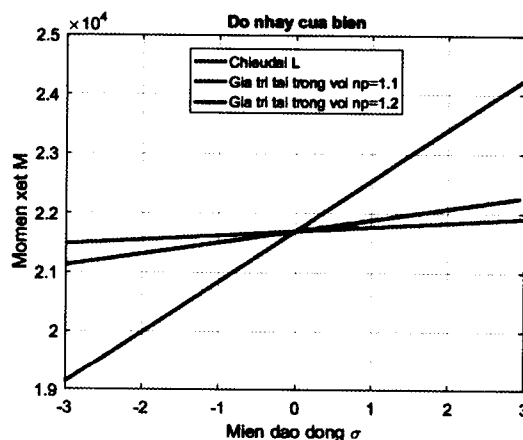
Khảo sát độ nhay của các biến khi tính $M_{\text{xét}}$.

$$M_{\text{xét}} = \frac{1.1 \times q_{1.1}^{tc} \times L^2}{12} + \frac{1.2 \times q_{1.2}^{tc} \times L^2}{12} \quad (14)$$

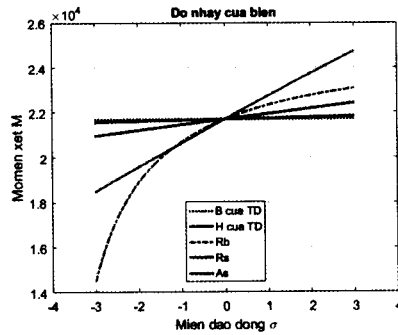
Bảng 2: Hệ số biến động và độ lệch chuẩn các biến.

Thông số	Hệ số biến động (v)	Độ lệch chuẩn (σ)
Tải trọng với $n_p=1.1$	0.000333	0.0064 kN/cm
Tải trọng với $n_p=1.2$	0.0667	0.02844 kN/cm
Cường độ bê tông B25	0.135	0.3208 kN/cm ²
Cường độ thép CIII	0.05	2.09 kN/cm ²
Chiều rộng Dầm BTCT	0.00167	0.0501 cm
Chiều cao Dầm BTCT	0.00167	0.0835 cm
Chiều dài Dầm BTCT	0.00167	1.0 cm
Diện tích thép	0.0133	0.1968 cm ²

Với các hệ số biến động đã tính toán ta tiến hành mô phỏng sự biến động của moment xét và moment giới hạn, trong miền dao động $\pm 3\sigma$. Xác định độ nhay của các biến ảnh hưởng đến moment xét và moment giới hạn của dầm BTCT, với các hệ số biến động trong bảng 2:



Hình 2. Ảnh hưởng của các biến đến Moment xét



Hình 3. Ảnh hưởng các biến đến Moment giới hạn

Từ biểu đồ hình 2, cho ta thấy tải trọng (q_{11}^{tc}), tải trọng (q_{12}^{tc}), chiều dài (L) của dầm đều ảnh hưởng lớn đến moment của dầm. Ta có thể kết luận biến có độ nhạy ảnh hưởng lớn đến khả năng làm việc của dầm BTCT là tải trọng (q_{11}^{tc}), tải trọng (q_{12}^{tc}), chiều dài (L).

Từ biểu đồ hình 3 cho ta thấy cường độ bê tông (R_b), cường độ thép (R_s), diện tích thép (A_s), của dầm ảnh hưởng lớn nhất đến moment của dầm. Ta có thể kết luận biến có độ nhạy ảnh hưởng lớn nhất đến khả năng làm việc của dầm BTCT là: cường độ bê tông (R_b), cường độ thép (R_s), diện tích thép (A_s).

3.3. Đánh giá ĐTC của dầm đơn giản

3.3.1. Đánh giá ĐTC theo phương pháp bậc nhất

Xác định moment theo tải trọng trung bình của dầm:

$$M_{xét} = \frac{19.2 \times 6^2}{12} + \frac{42.66 \times 6^2}{12} \Rightarrow M_{xét} = 185.58 \text{ kN.m} = 18558 \text{ kN.cm} \quad (15)$$

Với các giá trung bình của cường độ bê tông (R_b), cường độ thép (R_s) và diện tích thép (A_s).
Ta tiến hành xác định giá trị moment giới hạn của dầm

$$[M] = 41.75 \times 14.8 \times (46,5) - 0.5 \times \frac{41.75^2 \times 14.8^2}{30 \times 2.376} \Rightarrow [M] = 26054.177 \text{ kNcm} \quad (16)$$

$$\text{Xác định kỳ vọng: } \mu_M = [M] - M_{xét} = 26054.177 - 18558 \Rightarrow \mu_M = 7496.177 \text{ kNcm} \quad (17)$$

Tính giá trị của phương sai, ta lấy đạo hàm theo công thức (2), theo những biến có độ nhạy lớn hình 3 và hình 4, cụ thể là các biến q_{11}^{tc} , q_{12}^{tc} , L, R_b , R_s , A_s .

$$\sigma_M^2 = \left(\frac{\partial M}{\partial R_b}\right) \sigma_{R_b}^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial R_s}\right) \sigma_{R_s}^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial A_s}\right) \sigma_{A_s}^2 - \left(\frac{\partial M}{\partial p}\right) \sigma_{q_{11}^{tc}}^2 - \left(\frac{\partial M}{\partial g}\right) \sigma_{q_{12}^{tc}}^2 - \left(\frac{\partial M}{\partial L}\right) \sigma_L^2 \quad (18)$$

$$\Rightarrow \sigma_M^2 = 943333.0745$$

Giá trị phương sai (độ lệch chuẩn), dựa vào công thức (3), ta có:

$$\sigma_M = \sqrt{\sigma_M^2} = \sqrt{943333.0745} = 971.253 \text{ kNcm} \quad (19)$$

$$\text{Chỉ số độ tin cậy, ta có: } \beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} = \frac{7496.177}{971.253} \approx 7.718 \quad (20)$$

Sau khi xác định được chỉ số độ tin cậy, sử dụng hàm CDF (Cumulative Distribution Function) trong Matlab, xác định được ĐTC $P_s = 0.9999999999999994$

3.3.2. Đánh giá ĐTC của dầm theo phương pháp Monte Carlo

Sử dụng mô phỏng Monte Carlo để xác định giá trị trung bình và sai lệch bình phương trung bình. Các biến nhảy đã được xác định trong mục 3.2. Hàm trạng thái của dầm BTCT chịu uốn được xác định:

$$g(X) = \left[R_m A_s \left(h_0 - \frac{\sigma_y^m A_s}{2bR_b} \right) \right] - \left(\frac{q_{1,1}^{lc} \times L^2}{12} + \frac{q_{1,2}^{lc} \times L^2}{12} \right) \quad (21)$$

Giá trị các hệ số biến động và độ lệch chuẩn của các biến đã được xác định trong bảng 2. Kết quả được thể hiện trong bảng 3, với số biến ngẫu nhiên N=10.

Bảng 3: Kết quả tính theo phân phối cho N=10 tại nhịp dầm BTCT.

STT	L_i (cm)	$q_{1,1i}^{\#}$ (kN/cm)	$q_{1,2i}^{\#}$ (kN/cm)	$\sigma_{y_i}^m$ (kN/cm ²)	R_{mi} (kN/cm ²)	A_{si} (cm ²)	M_{ghi} (kN.cm)	M_{xeti} (kN.cm)	$g(X)_i$ (kN.cm)
1	599.498	0.188	0.414	45.364	2.411	14.875	28551.558	18019.202	10532.356
2	598.917	0.192	0.450	45.175	2.644	14.847	28379.786	19188.209	9191.577
3	600.287	0.200	0.436	42.539	2.578	14.463	26032.384	19087.706	6944.679
4	598.759	0.194	0.433	41.336	2.169	14.846	25966.538	18741.812	7224.726
5	598.907	0.194	0.428	41.200	2.721	15.129	26374.966	18603.140	7771.827
6	599.990	0.201	0.417	41.740	1.888	15.117	26697.827	18540.150	8157.677
7	598.573	0.198	0.437	41.068	2.617	14.627	25416.783	18937.800	6478.983
8	599.901	0.188	0.399	43.204	1.960	14.645	26772.923	17588.481	9184.442
9	599.875	0.198	0.388	40.686	2.902	14.758	25406.244	17591.523	7814.721
10	601.041	0.195	0.457	42.474	2.694	14.760	26527.135	19637.188	6889.948

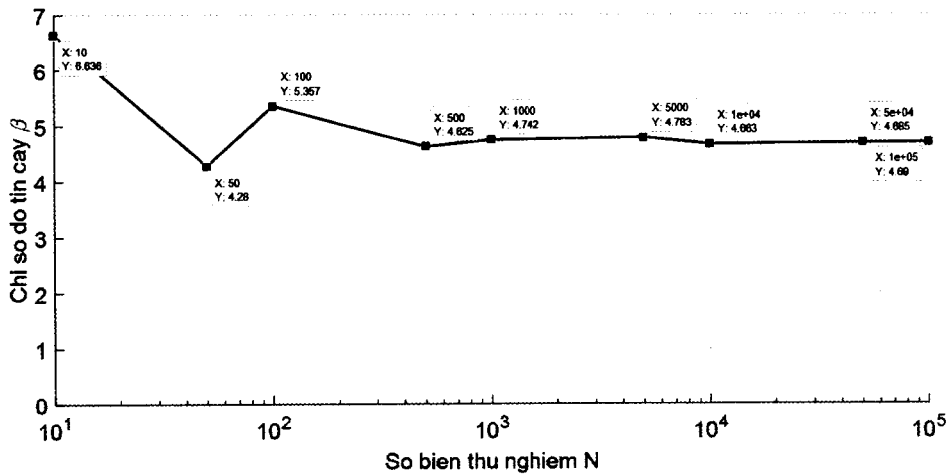
Dựa vào công thức (6) và (7), ta xác định được giá trị trung bình, độ sai lệch trung bình và chỉ số ĐTC của moment xác định theo công thức:

$$\mu_M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} g_i(X) = 8019.1 \quad (22)$$

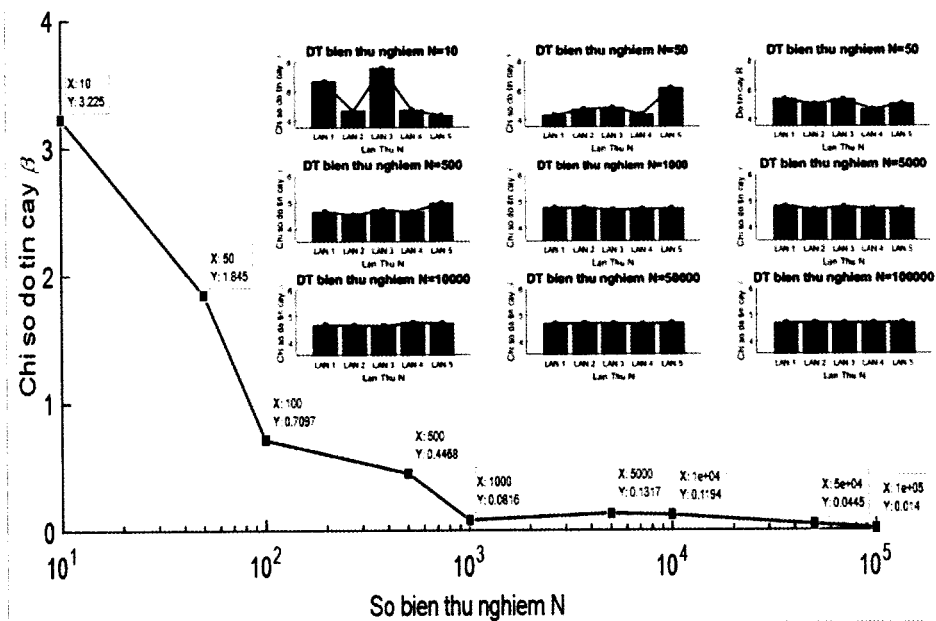
$$\Rightarrow \text{Chỉ số độ tin cậy: } \beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} = \frac{8019.1}{1208.5} \approx 6.6358 \quad (23)$$

Để đánh giá ĐTC, ta xác định giá trị của hàm trạng thái giới hạn, khi $g(X) < 0$ thì cấu kiện bị hỏng, bài toán có 0/10 trường hợp $g(X) < 0$. Khi tiến hành với số lần thử nghiệm N lớn ta sẽ thu được kết quả chính xác hơn. Kết quả khảo sát chỉ số ĐTC với số biến thử nghiệm N khác nhau thay đổi từ 10, 50, 100, 500, 1.000, 5.000, 10.000, 50.000 và 100.000 biến, được thể hiện trên đồ thị hình 4.

Ta tiến hành khảo sát ĐTC 5 lần, trên cùng một số lượng biến ngẫu nhiên nhất định. Ta tiến hành khảo sát dần từ 10, 50, 100, 500, 1.000, 5.000, 10.000, 50.000 và 100.000 biến, nhằm đánh giá sự chênh lệch giữa chỉ số ĐTC lớn nhất β_{max} và chỉ số ĐTC thấp nhất β_{min} . Kết quả khảo sát thể hiện trong biểu đồ và đồ thị hình 5.



Hình 4. Chỉ số ĐTC của Dầm BTCT theo sự thay đổi của biến ngẫu nhiên.



Hình 5. Biểu đồ thể hiện sự chênh lệch giữa chỉ số độ tin cậy β_{max} và β_{min} .

Từ kết quả đã khảo sát ta có thể kết luận như sau:

Tính toán theo phương pháp bậc 1, ta sử dụng độ lệch chuẩn lớn nhất và xảy ra đồng thời sẽ gây ra ảnh hưởng lớn đến ĐTC của cấu kiện thiết kế. Hạn chế của phương pháp này chỉ đánh giá được trường hợp xảy ra đồng loạt ở mức cao nhất của các biến nhảy, nhưng trong thực tế trường hợp này rất khó xảy ra. Việc đánh giá theo phương pháp này giúp cho ta có thể đánh giá mức ảnh hưởng lớn nhất của các biến đến khả năng làm việc của cấu kiện.

Tính toán theo phương pháp Monte Carlo có ĐTC cao hơn, ta tiến hành đánh giá ĐTC dựa trên phân phối chuẩn của các biến nhảy. Các biến có độ lệch chuẩn ngẫu nhiên, từ kết quả tính toán được thể hiện trên biểu đồ, ta có thể nhận thấy với lượng biến ngẫu nhiên khảo sát càng lớn thì chỉ số ĐTC càng ổn định và ĐTC ít có biến động. Với số lượng biến ngẫu nhiên lớn thì ta có thể dựa vào ĐTC đã tính toán, có thể đánh giá ĐTC trong ứng xử của dầm BTCT khách quan, chính xác, từ đó đưa ra những điều chỉnh cho phù hợp trong quá trình thiết kế cấu kiện nói chung, dầm BTCT nói riêng.

4. Kết luận

Phân tích các biến nhảy được chọn gồm: tải trọng, chiều dài cấu kiện, cường độ bê tông, cường độ thép, diện tích thép, kích thước của tiết diện dầm. Kết quả phân tích độ nhảy cho thấy các biến ảnh hưởng đến ĐTC của dầm theo thứ tự từ quan trọng đến ít quan trọng hơn là: cường độ bê tông, tải trọng, cường độ thép, diện tích thép, kích thước dầm. Kết quả này được đánh giá dựa trên sự biến động của các biến nhảy suy ra từ các giá trị qui định của tiêu chuẩn. Phương pháp Monte Carlo

cho ra giá trị độ tin cậy thấp hơn. Tác giả đề nghị sử dụng phương pháp này để đánh giá độ tin cậy cho dầm BTCT do tính an toàn và phản ánh đúng sự làm việc thực tế của nó.

Cần phải đặc biệt lưu ý đến các biến nhảy của dầm trong quá trình thiết kế, thi công và nghiệm thu... Đề xuất không chọn diện tích thép trong quá trình thiết kế dưới diện tích thép đã tính toán vì ảnh hưởng lớn đến độ tin cậy. Cần phải có thêm nhiều mô hình, phương pháp khảo sát đánh giá, để có thể đưa ra được kết luận mang tính tổng quát.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Hoàng Bắc An. *Lý thuyết độ tin cậy trong kết cấu xây dựng* (Tài liệu giảng dạy). Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Trường. Trường Đại học Kiến trúc TP. Hồ Chí Minh. 12/2019.
- [2]. TCVN 5574:2018. *Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*.
- [3]. EN 1992-1-1 (2004) (English): *Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings* [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011. Directive 98/34/EC. Directive 2004/18/EC]
- [4]. Phan Quang Minh (chủ biên). *Kết cấu bê tông cốt thép phần cấu kiện cơ bản*. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2006.
- [5]. TCVN 4453:1995. *Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép toàn khối - Quy phạm thi công và nghiệm thu*
- [6]. Xiaoping Du University of Missouri - Rolla *First order and second reliability methods (FORM)*. Probabilistic Engineering Design, 2005.