

Xác định độ bền nén lệch tâm phẳng của cột bê tông cốt thép có sử dụng tro bay

Sykhampha Vongchith, Nguyễn Trường Thăng*

Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

Ngày nhận bài 18/6/2021; ngày chuyển phản biện 25/6/2021; ngày nhận phản biện 29/7/2021; ngày chấp nhận đăng 2/8/2021

Tóm tắt:

Tro bay là một loại sản phẩm dư, sinh ra từ việc đốt than đá trong các nhà máy nhiệt điện, có tính chất vật lý và thành phần hóa học phù hợp để tái sử dụng như một loại phụ gia khoáng mịn trong sản xuất bê tông nhằm giảm lượng dùng xi măng tới 25% và tăng tính công tác của bê tông. Tuy nhiên, ảnh hưởng bất lợi của tro bay đến khả năng chịu lực của cấu kiện bê tông cốt thép (BTCT) chưa được đề cập tới trong tiêu chuẩn thiết kế kết cấu BTCT hiện hành. Do vậy, bài báo này trình bày cách xác định độ bền nén trong mặt phẳng của một loại kết cấu cơ bản là cột BTCT có lượng tro bay thay thế xi măng là 20% theo một số bước nghiên cứu như sau: (i) Khảo sát thực nghiệm trên 8 mẫu cột BTCT; (ii) Đối chứng kết quả thực nghiệm với các tiêu chuẩn thiết kế Eurocode 2, ACI 318-19 và TCVN 5574:2018; (iii) Đề xuất phương pháp hiệu chỉnh đơn giản cho TCVN 5574:2018 để có thể mô phỏng được sự suy giảm và dự báo chính xác độ bền nén lệch tâm phẳng của cột BTCT có sử dụng tro bay.

Từ khóa: bê tông cốt thép, cột, độ bền, lệch tâm, tro bay.

Chỉ số phân loại: 2.1

Mở đầu

Trên thế giới và tại Việt Nam trong thời gian gần đây, các vật liệu phế thải công nghiệp như tro bay, xỉ lò cao, muội silica... được quan tâm đầu tư nghiên cứu và tái sử dụng trong công nghiệp sản xuất bê tông, vừa giúp giảm chi phí thu gom, xử lý cho các nhà máy, vừa hạn chế hiệu ứng nhà kính do giảm được lượng khí CO₂ từ công nghiệp sản xuất xi măng [1-4]. Trong số đó, tro bay (Fly ash - FA) được tạo ra từ quá trình đốt cháy nhiên liệu than của các nhà máy nhiệt điện với nhiệt độ lên tới 1500°C. Đây là một vật liệu có một số thành phần hóa học tương tự như xi măng Portland (Ordinary portland cement - OPC), với cấu trúc hình thái có dạng hình cầu và kích thước hạt rất mịn [4]. Do vậy, tro bay có thể được sử dụng như một loại phụ gia nhằm vừa giảm lượng xi măng, vừa cải thiện tính công tác của bê tông như tăng độ sụt, hạn chế sự phân tầng, giảm hiệu ứng nhiệt thủy hóa xi măng... Một số nhà khoa học trong nước đã nghiên cứu ảnh hưởng của tro bay, silica fume và môi trường dưỡng hộ đến cường độ chịu nén của bê tông có hàm lượng tro bay thay thế xi măng là 20% [5, 6] và ảnh hưởng của tro bay thay thế một phần xi măng đến tính chất của bê tông thương phẩm [7]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này mới dừng lại ở mức độ vật liệu. Tro bay cũng đã được nghiên cứu nhằm thay thế hoàn toàn xi măng (100% FA/OPC) làm chất kết dính, kết hợp với các chất hoạt hóa phù hợp để tạo ra loại bê tông geo-polymer có cường độ mẫu trụ trung bình đạt tới 50 MPa và được nghiên cứu áp dụng cho kết cấu chịu uốn [8]. Một số tài liệu kỹ thuật [4-6] quy định lượng phụ

gia tro bay không được vượt quá 25% khối lượng xi măng trong cấp phối. Với quan niệm tro bay chỉ được sử dụng như một loại phụ gia, trong thực tế cấu kiện BTCT sử dụng bê tông tro bay vẫn được tính toán tương tự như đối với bê tông thông thường. Tuy nhiên, một lượng đáng kể tro bay thay thế xi măng có thể làm ảnh hưởng tới tính chất cơ lý của bê tông, dẫn tới làm thay đổi khả năng chịu lực của cấu kiện. Do vấn đề này chưa được đề cập tới trong các nghiên cứu đã có và tiêu chuẩn thiết kế hiện hành [9-15], trong bài báo này, các tác giả đã thực hiện một chương trình nghiên cứu theo các bước như sau: (i) Chế tạo và thí nghiệm 8 mẫu cột BTCT có cường độ trung bình mẫu trụ là 30 MPa, có lượng xi măng được thay thế bằng tro bay là 20%, nhằm khảo sát ảnh hưởng của độ lệch tâm theo một phương tới khả năng chịu lực, hay còn gọi là độ bền nén lệch tâm phẳng của cột; (ii) Kiểm chứng kết quả thí nghiệm thu được bằng tiêu chuẩn thiết kế kết cấu BTCT hiện hành như Eurocode 2 (EC2) [13], ACI 318-19 [14] và TCVN 5574:2018 [15]; (iii) Nhận xét và đề xuất về việc hiệu chỉnh TCVN 5574:2018 để có thể xác định được chính xác độ bền nén trong mặt phẳng của cột BTCT sử dụng bê tông tro bay.

Nghiên cứu thực nghiệm trên các mẫu cột chịu nén uốn trong mặt phẳng

Vật liệu bê tông tro bay

Các vật liệu sử dụng trong chế tạo bê tông tro bay trong nghiên cứu này gồm có: (i) Tro bay có khối lượng riêng là

*Tác giả liên hệ: Email: thangnt2@nuce.edu.vn

Determination of uni-axial bending resistance of reinforced fly ash concrete columns

Sykhampha Vongchith, Truong Thang Nguyen*

Hanoi University of Civil Engineering (HUCE)

Received 18 June 2021; accepted 2 August 2021

Abstract:

As a by-product from coal burning of thermal power plants, fly ash has appropriate physical properties and chemical composition that can be utilised for the concrete industry, in a form of a fine-mineral additive to reduce cement up to 25% by mass and to enhance the workability of concrete. However, the negative effect of fly ash on the strength of reinforced concrete (RC) members has not been considered in current design provisions. Hence, the determination of uni-axial bending resistance of a basic member - RC column - having 20% cement weight replaced by fly ash is presented in this paper in the following research steps: (i) Experimental investigation on a number of 8 RC column specimens; (ii) Validation of test results with a number of code provisions including Eurocode 2, ACI 318-19, and TCVN 5574:2018; and (iii) Proposal of a simplified justification approach for TCVN 5574:2018 to be capable of modelling the reduction and predicting the uni-axial bending resistance of reinforced fly ash concrete columns.

Keywords: column, eccentricity, fly ash, reinforced concrete, resistance

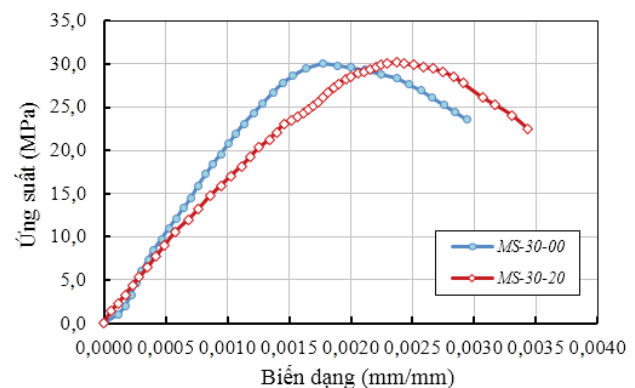
Classification number: 2.1

1,80 g/cm³, hàm lượng mất mát khi nung là 0,47, độ mịn của Blaine là 2154 cm²/g, hàm lượng SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ là 79,25% và CaO là 5,49%; (ii) Xi măng Portland PCB30 của Công ty Xi măng Vicem Hoàng Thạch, khối lượng riêng 3,10 g/cm³; (iii) Cốt liệu nhỏ (cát thiên nhiên) và cốt liệu lớn (đá dăm) tuân theo các yêu cầu kỹ thuật hiện hành. Cát thiên nhiên có kích thước hạt lớn nhất là 5 mm từ sông Lô (tỉnh Phú Thọ), có khối lượng riêng 2,64 g/cm³. Đá dăm có kích thước hạt lớn nhất là 20 mm được khai thác tại tỉnh Hà Nam, khối lượng riêng 2,69 g/cm³. Cấp phối bê tông cho thí nghiệm vật liệu được trình bày ở bảng 1.

Bảng 1. Cấp phối bê tông cho thí nghiệm vật liệu.

Cấp phối	Hàm lượng tro bay thay thế xi măng	Xi măng PCB30 (kg)	Tro bay (kg)	Cát (kg)	Đá dăm (kg)	Nước (kg)
MS-30-00	0%	380	0	760	1140	205
MS-30-20	20%	304	76	760	1140	205

Cấp phối đối chứng của bê tông thường (MS-30-00) được sử dụng với lượng xi măng là 380 kg, không có tro bay và khối lượng các vật liệu giữ nguyên như ở bảng 1. Kết quả thí nghiệm về quan hệ ứng suất - biến dạng của 2 cấp phối MS-30-00 và MS-30-20 được biểu diễn ở hình 1.



Hình 1. Kết quả thí nghiệm vật liệu.

Kết quả thí nghiệm ở hình 1 cho thấy, với lượng tro bay thay thế xi măng là 20%, bê tông MS-30-20 có cường độ chịu nén tương đương với bê tông thường MS-30-00, nhưng có sự suy giảm về mô đun đàn hồi cũng như thay đổi về các giá trị biến dạng tại ứng suất lớn nhất và biến dạng cực hạn.

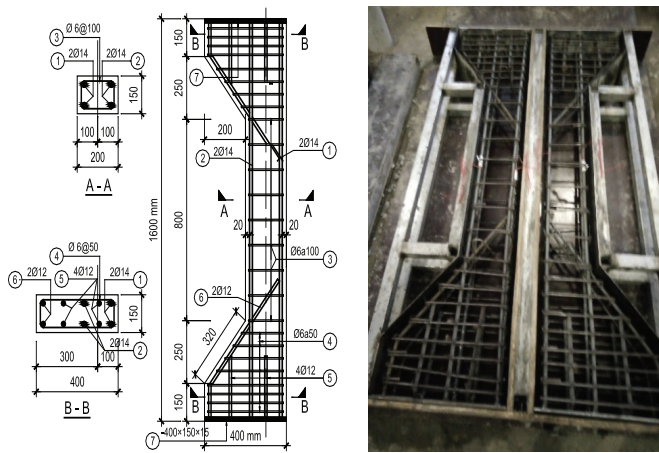
Mẫu thí nghiệm cột BTCT sử dụng tro bay

Trong chương trình thí nghiệm này, 8 mẫu cột BTCT được chia thành 3 nhóm: (i) Nhóm thứ nhất gồm 2 mẫu cột giống nhau, ký hiệu C-30-00-1 và C-30-00-2, chịu nén đúng tâm trong thí nghiệm (độ lệch tâm tĩnh học bằng 0); (ii) Nhóm thứ hai gồm 3 mẫu cột giống nhau, ký hiệu C-30-40-1, C-30-40-2 và C-30-40-3. Trong thí nghiệm, các mẫu cột đều chịu nén lệch tâm phẳng với độ lệch tâm tĩnh học $e_t=40$ mm; (iii) Nhóm thứ 3 gồm ba mẫu cột giống nhau, ký hiệu C-30-80-1, C-30-80-2 và C-30-80-3. Các mẫu cột đều chịu nén lệch tâm phẳng trong thí nghiệm với độ lệch tâm tĩnh học là 80 mm.

Do số lượng bộ Copp pha định hình cho cột có hạn, 5 mẫu trong nhóm C-30-00 và C-30-40 được đúc cùng một đợt, kèm theo đó là 12 mẫu lập phương cạnh 150 mm và 9 mẫu trụ bê tông có đường kính 150 mm, chiều cao 300 mm để phục vụ các thí nghiệm xác định cường độ vật liệu. Nhóm C-30-80 gồm 3 mẫu thử cột cùng với các mẫu thử vật liệu được đúc ở lần thứ hai, sau khi dỡ Copp pha của hai nhóm cột

trên. Cả hai đợt đổ bê tông đều sử dụng cấp phối bê tông MS-30-20.

Với thông số nghiên cứu chính là độ lệch tâm phẳng, cả 8 mẫu cột được thiết kế giống nhau với mặt cắt ngang cột hình chữ nhật có kích thước $b \times h = 150 \times 200$ (mm), chiều cao cột là $l = 1600$ mm. Trong đoạn 150 mm từ hai đầu, cột được mở rộng với tiết diện 150×400 (mm) nhằm tạo ra độ lệch tâm phẳng trong mặt phẳng uốn song song với cạnh $h = 200$ mm của tiết diện (hình 2).



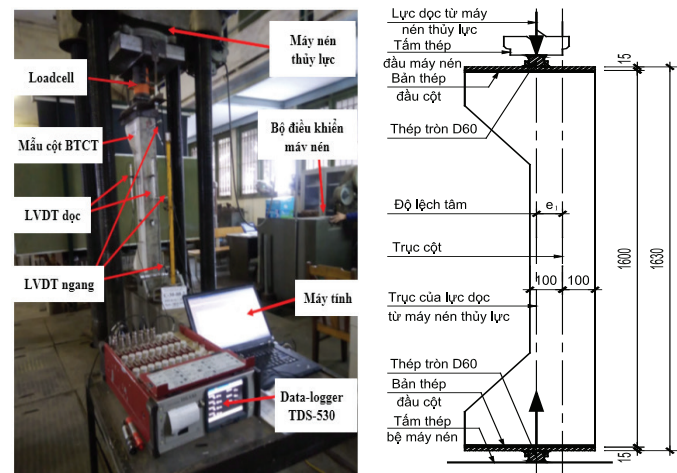
Hình 2. Chi tiết mẫu cột thí nghiệm.

Cột thép dọc chịu lực chính của cột là 4 Φ 14 loại CB400-V có cường độ trung bình thu được từ thí nghiệm kéo thép là $R_m = 365,298$ MPa và cường độ đặc trưng là $f_y = 362,617$ MPa. Cột thép đai của cột sử dụng đường kính 6 mm với cường độ chịu kéo trung bình là 379,613 MPa, khoảng cách giữa các cốt đai là 100 mm. Lớp bê tông bảo vệ cột thép dọc là 20 mm. Hai đầu cột được gia cường bởi các cốt thép và bản thép nhằm tránh sự phá hoại cục bộ trong quá trình thí nghiệm.

Bố trí hệ thống thí nghiệm và quy trình thí nghiệm

Hình 3 thể hiện việc bố trí hệ thống thí nghiệm để xác định độ bền của các mẫu cột khi chịu tác dụng của lực nén dọc trục với các độ lệch tâm khác nhau, với các thiết bị như sau: (i) Tải trọng nén dọc trục được tác dụng bằng máy nén thủy lực của LB Nga có khả năng nén tối đa là 5000 kN. Giá trị lực nén được đo bằng thiết bị đo lực (load-cell) đặt trên đầu cột; (ii) Chuyển vị dọc trục của cột được đo bằng 4 thiết bị đo chuyển vị (Linear variable displacement transducer - LVDT) được lắp đặt trên cả bốn mặt của tiết diện ngang tại khu vực giữa cột, với khoảng đo là 100 mm; (iii) Chuyển vị ngang được đo bằng 2 LVDT tại vị trí cách hai đầu cột 150 mm và 1 LVDT tại chính giữa cột, với khoảng đo là 100 mm; (iv) Biến dạng trong bê tông và cốt thép tại chính giữa cột được đo bằng các tem điện trở (strain gauges) tương ứng. Tất cả các thiết bị trên được kết nối với bộ thu thập

và xử lý số liệu Data-logger TDS-530 và máy tính để ghi lại các số đo về lực và chuyển vị. Trong thí nghiệm, mẫu cột được cấu tạo gối liên kết khớp tại hai đầu thông qua hai thanh thép tròn đường kính 60 mm được hàn vào tấm thép đầu máy nén (ở phía trên đầu cột) và tấm thép bệ máy nén (ở phía dưới chân cột). Bản thép dày 15 mm được hàn với bản thép số 7 (hình 2) để gia cường thêm tại hai đầu cột và được cấu tạo hàn thêm hai gờ thép với khe hở nhỏ để có thể vừa tỳ vào thanh thép tròn D60, vừa chống cho đầu cột không bị trượt ngang. Tại liên kết này, sử dụng mỡ bôi trơn cơ khí để cột có thể xoay tự do trong mặt phẳng uốn song song với cạnh h của tiết diện cột. Vị trí của liên kết có thể được thay đổi để tạo ra các độ lệch tâm e_i khác nhau giữa trục của lực dọc từ máy nén thủy lực so với trục của mẫu cột (hình 3).



Hình 3. Bố trí hệ thống thí nghiệm.

Trong thí nghiệm trên, các mẫu cột được tiến hành tại Phòng Thí nghiệm và Kiểm định công trình LAS XD-125, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, với quy trình gồm các bước: (i) Bước 1: gia tải thử và ghi số liệu từ cấp 0. Gia tải thử với tải trọng bằng với cấp tải đầu tiên là 10 kN trở lên, kiểm tra sự làm việc của mô hình thí nghiệm và các dụng cụ đo. Khi xác định được trạng thái làm việc bình thường, hạ tải về 0 (hoặc theo hướng dẫn tại phòng thí nghiệm). Ghi chép số liệu ban đầu trên các dụng cụ đo; (ii) Bước 2: tiến hành gia tải từng cấp tải trong khoảng 5% giá trị dự báo khả năng chịu lực của cột. Lưu số liệu trên các dụng cụ đo ở từng cấp tải trọng; (iii) Bước 3: khi giá trị lực dọc tác dụng lên cột không tăng được nữa và xuất hiện phá hoại của bê tông vùng nén cột, lưu lại số liệu về lực dọc lớn nhất và chuyển vị tương ứng. Sau đó tiến hành hạ tải thí nghiệm theo từng cấp tải có giá trị không vượt quá 10% giá trị tải trọng thí nghiệm.

Kết quả thí nghiệm

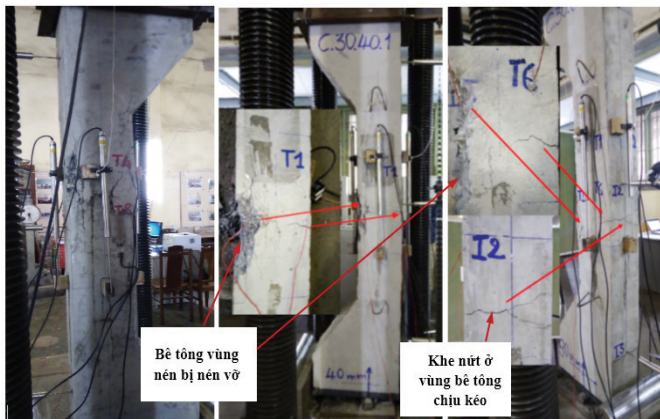
Kết quả thí nghiệm đo được ở bước 3 về khả năng

chịu lực lớn nhất N_m và độ võng ngang Δ_m tương ứng của mỗi mẫu cột được biểu diễn trong bảng 2. Độ lệch tâm ban đầu e_0 được xác định bằng tổng của độ lệch tâm tĩnh học e_1 và độ lệch tâm ngẫu nhiên $e_a = \max(L_c/600; h_c/30; 10) = \max(1630/600, 200/30, 10) = 10$ mm. Như vậy, giá trị e_0 của 3 nhóm cột C-30-00, C-30-40 và C-30-80 lần lượt là 10, 50 và 90 mm. Từ đó có thể xác định giá trị thí nghiệm của mô men là $M_m = N_m(e_0 + \Delta_m)$.

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm cột.

Nhóm	C-30-00 ($e_1=0$)			C-30-40 ($e_1=40$ mm)			C-30-80 ($e_1=80$ mm)		
Mẫu	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
N_m (kN)	738,9	756,19	446,15	434,90	447,89	301,96	291,83	293,39	
Δ_m (mm)	4,39	3,60	6,46	6,57	6,95	9,77	9,01	10,55	
M_m (kNm)	10,635	10,288	25,191	24,601	25,505	30,127	28,850	29,499	

Hình 4 minh họa dạng phá hoại của các mẫu cột đại diện của 3 nhóm mẫu. Có thể thấy, cột thí nghiệm bị nén uốn và có độ võng ngang lớn nhất tại giữa cột. Tại tiết diện giữa cột, cốt thép vùng kéo đạt tới biến dạng chảy, bê tông vùng nén bị nứt vỡ và xuất hiện nhiều vết nứt tại bê tông vùng kéo. Đây là dạng phá hoại điển hình khi các phân tử bê tông ở vùng nén và cốt thép chịu kéo đạt tới các cường độ tương ứng của chúng tại trạng thái giới hạn.



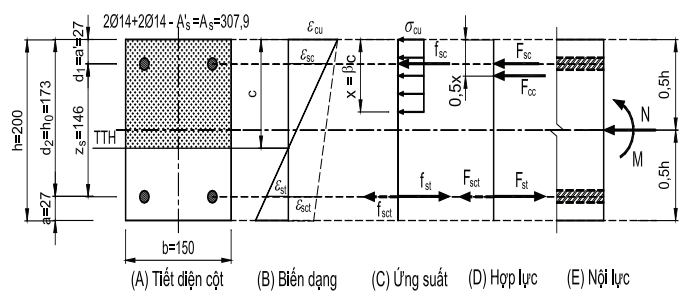
Hình 4. Dạng phá hoại của các mẫu cột.

Kiểm chứng kết quả thí nghiệm với các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành

Sử dụng tiêu chuẩn EC2 và ACI 318-19

Kết quả thí nghiệm tại 28 ngày tuổi trên 3 viên mẫu trụ được đúc cùng với các cột của đợt thử nhất (nhóm C-30-00 và C-30-40) cho cường độ chịu nén thiết kế là $f_{cd}=24,613$ MPa. Với đợt thử hai (nhóm cột C-30-80), $f_{cd}=24,386$ MPa.

Nguyên tắc phân tích khả năng chịu lực của tiết diện cột thí nghiệm theo các tiêu chuẩn EC2 và ACI 318-19 được thể hiện trên hình 5.



Hình 5. Phân tích khả năng chịu lực của cột theo EC2 và ACI.

Hình 5B cho thấy, các tiêu chuẩn EC2 [13] và ACI 318-19 [14] đều dựa trên giả thiết tiết diện phẳng, với một giá trị biến dạng tối hạn của bê tông thớ chịu nén ngoài cùng là ϵ_{cu} . Trên hình 5C, vùng bê tông chịu nén hình chữ nhật có chiều cao quy đổi là βc , với c là khoảng cách từ trục trung hòa tới mép chịu nén của tiết diện, ứng suất trong bê tông vùng nén được coi là phân bố đều với giá trị σ_{cu} . Giá trị của các tham số nêu trên được các tiêu chuẩn quy định như trong bảng 3.

Bảng 3. Các hệ số quy định trong tiêu chuẩn EC2 và ACI 318-19.

Tiêu chuẩn	ϵ_{cu}	β	σ_{cu}
EC2	0,0035	$\beta=0,8$ khi $f_{ck} \leq 50$ MPa	$\sigma_{cu} = \eta f_{cd}$ với $\eta=1,0$ khi $f_{ck} \leq 50$ MPa
		Khi $f_{ck} > 50$ MPa	Khi $f_{ck} > 50$ MPa
		$\beta=0,8-(f_{ck}-50)/400 \leq 1,0$	$\eta=1-(f_{ck}-50)/200 \leq 1,0$
ACI 318-19	0,0030	$\beta=1,09-0,008f'_c$ $0,65 \leq \beta \leq 0,85$	$\sigma_{cu} = 0,85f'_c$

Như vậy, khả năng chịu lực của tiết diện cột có thể được xác định như sau:

$$N = F_{cc} + \sum F_{si} \quad (1)$$

$$M = F_{cc}(0,5h - 0,5\beta c) + \sum F_{si}(0,5h - d_i) \quad (2)$$

trong đó, hợp lực ứng suất trong bê tông vùng nén là $F_{cc} = \sigma_{cu}(\beta b c)$; hợp lực của ứng suất trong cốt thép là $F_{si} = A_{si} F_{si}$; ứng suất trong cốt thép chịu nén trong vùng nén f_{sc} , trong cốt thép chịu kéo f_{st} , trong cốt thép chịu nén trong vùng bị nén ít f_{sct} được xác định thông qua các biến dạng tương ứng ϵ_{sc} , ϵ_{st} , ϵ_{sct} và quan hệ ứng suất - biến dạng của vật liệu cốt thép; d_i là khoảng cách từ mép chịu nén ngoài cùng của tiết diện tới trọng tâm của các lớp cốt thép (hình 5).

Các tác giả sử dụng công cụ bảng tính Spreadsheet trên nguyên tắc thử dần và chọn lại một giá trị c sao cho $N=N_m$ theo biểu thức (1), từ đó thay c tương ứng vào biểu thức (2) để tính khả năng chịu lực M của tiết diện cột. Kết quả tính toán áp dụng theo tiêu chuẩn EC2 và ACI tương ứng là M_{EC2} và M_{ACI} và được biểu diễn ở bảng 4.

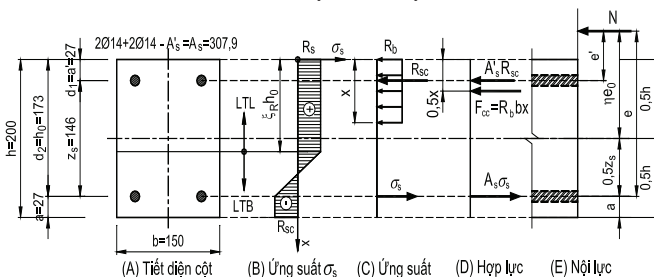
Bảng 4. Kiểm chứng kết quả thí nghiệm theo tiêu chuẩn EC2 và ACI.

Nhóm	C-30-00 ($e_1=0$)			C-30-40 ($e_1=40$ mm)			C-30-80 ($e_1=80$ mm)		
Mẫu	No. 1	No. 2	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3	
N_m (kN)	738,9	756,19	446,15	434,90	447,89	301,96	291,83	293,39	
EC2: c (mm)	203,70	208,20	133,80	131,60	134,16	104,80	101,30	101,90	
EC2: x (mm)	163,50	166,60	107,00	105,30	107,30	83,80	81,00	81,50	
M_{EC2} (kN)	15,80	14,70	28,70	29,10	28,70	32,20	32,00	32,10	
ACI: c (mm)	203,70	200,0	127,40	125,15	127,70	98,60	95,30	95,90	
ACI: x (mm)	166,30	170,00	108,30	106,40	108,50	83,80	81,00	81,50	
M_{ACI} (kN)	15,80	14,60	29,00	29,30	28,90	32,20	32,00	32,00	

Sử dụng tiêu chuẩn TCVN 5574:2018

Cường độ tính toán tại 28 ngày tuổi thí nghiệm trên 3 mẫu lập phương cạnh $a=150$ mm được đúc cùng với các cột nhóm C-30-00 và C-30-40 là $R_b=22,829$ MPa. Tương tự như vậy, cường độ tính toán áp dụng cho mẫu C-30-80 là $R_b=22,578$ MPa. Mô đun đàn hồi xác định từ thí nghiệm của bê tông là $E_b=20332$ MPa và của cốt thép là $E_s=205$ GPa. Hệ số giới hạn chiều cao vùng bê tông chịu nén là $\xi_R=0,531$.

Nguyên tắc phân tích khả năng chịu lực của tiết diện cột thí nghiệm theo phương pháp nội lực giới hạn của tiêu chuẩn TCVN 5574:2018 được thể hiện ở hình 6.



Hình 6. Phân tích theo phương pháp nội lực giới hạn của TCVN 5574:2018.

TCVN 5574:2018 [12, 15] quy định phương pháp nội lực giới hạn có thể được sử dụng cho các cấu kiện có tiết diện chữ nhật. Đối với cột BTCT, tiêu chuẩn thiết kế này phân biệt hai trường hợp lệch tâm:

- Trường hợp lệch tâm lớn (LTL): khi chiều cao vùng nén quy đổi $x \leq \xi_R h_0$, ứng suất σ_s trong cốt thép A_s đạt tới cường độ chịu kéo R_{sc} , sự phá hoại dẻo xảy ra tại trạng thái giới hạn. Căn cứ vào lực dọc phá hoại thu được từ thí nghiệm, giá trị của x được xác định từ điều kiện cân bằng tĩnh học các lực lên trục cột:

$$x = \frac{N + R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b} \quad (3)$$

Trong trường hợp đặt thép đối xứng $A_s = A'_s$ và $R_s = R_{sc}$, từ biểu thức (3) cho thấy điều kiện xảy ra LTL có thể được điều chỉnh như sau:

$$\alpha_n = \frac{N}{R_b b h_0} \leq \xi_R \quad (4)$$

- Trường hợp lệch tâm bé (LTB): khi $x > \xi_R h_0$, ứng suất σ_s trong cốt thép A_s có thể là kéo hoặc nén và được phân bố phụ thuộc vào chiều cao vùng nén quy đổi x : $\sigma_s = R_s$ tại $x \leq \xi_R h_0$; $\sigma_s = R_{sc}$ tại $x > h_0$ và phân bố theo đường thẳng giữa hai điểm này (hình 6B). Tại trạng thái giới hạn, sự phá hoại bắt đầu từ mép bê tông chịu nén nhiều hơn (phá hoại giòn). Tương tự như trên, giá trị của x được xác định như sau:

$$x = \frac{\alpha_n (1 - \xi_R) + 2 \alpha_s \xi_R}{1 - \xi_R + 2 \alpha_s} h_0 \quad \text{với} \quad \alpha_s = \frac{R_s A_s}{R_b b h_0} \quad (5)$$

Khả năng chịu lực của cột được xác định từ điều kiện cân bằng mô men với trọng tâm cốt thép A_s :

$$[Ne] = R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s z_s \quad \text{với} \quad e = \eta e_0 + 0,5 z_s \quad (6A)$$

$$M = [N \eta e_0] = R_b b x (h_0 - 0,5x) + (R_{sc} A'_s - 0,5N) z_s \quad (6B)$$

Áp dụng các biểu thức (3) đến (6), độ bền các cột thí nghiệm xác định theo phương pháp nội lực giới hạn của TCVN 5574:2018 được trình bày trong bảng 5.

Bảng 5. Tính toán khả năng chịu lực của cột theo tiêu chuẩn TCVN 5574:2018.

Nhóm	C-30-00 ($e_1=0$)		C-30-40 ($e_1=40$ mm)			C-30-80 ($e_1=80$ mm)		
Mẫu	No. 1	No. 2	No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
N_m (kN)	738,9	756,19	446,15	434,90	447,89	301,96	291,83	293,39
α_n	1,247	1,276	0,753	0,734	0,756	0,515	0,497	0,501
Lệch tâm	LTB	LTB	LTB	LTB	LTB	LTL	LTL	LTL
x (mm)	160,57	163,37	113,19	111,37	113,47	89,16	86,04	86,63
M_{TCVN} (kN)	13,339	12,182	28,849	29,292	28,780	33,033	32,902	32,930

Nhận xét

Với mô men thí nghiệm lớn nhất M_m tác dụng lên cột được xác định trong bảng 2, hệ số kiểm chứng của các tiêu chuẩn được tính toán lần lượt là $k_{EC2} = M_{EC2}/M_m$, $k_{ACI} = M_{ACI}/M_m$ và $k_{TCVN} = M_{TCVN}/M_m$. Bảng 6 trình bày kết quả tính được cho từng mẫu cột, giá trị trung bình (TB) cho từng nhóm cột và hệ số biến động (COV) tương ứng.

Bảng 6. Kết quả kiểm chứng theo các tiêu chuẩn.

Nhóm	C-30-00 ($e_1=0$)		C-30-40 ($e_1=40$ mm)			C-30-80 ($e_1=80$ mm)		
Mẫu	No.1	No.2	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
k_{EC2}	1,486	1,429	1,139	1,183	1,125	1,069	1,109	1,088
TB (COV)	1,457 (0,040)		1,149 (0,030)			1,089 (0,020)		
k_{ACI}	1,486	1,419	1,151	1,191	1,133	1,069	1,109	1,085
TB (COV)	1,457 (0,047)		1,158 (0,030)			1,088 (0,020)		
k_{TCVN}	1,254	1,184	1,145	1,191	1,128	1,096	1,114	1,16
TB (COV)	1,219 (0,050)		1,155 (0,032)			1,188 (0,022)		

Phương pháp hiệu chỉnh đơn giản cho TCVN 5574:2018

Bảng 6 cho thấy tất cả các tiêu chuẩn đều dự báo khả năng chịu lực lớn hơn kết quả thí nghiệm của tất cả các cột ($k > 1$). Nguyên nhân là các tiêu chuẩn trên đều áp dụng cho bê tông thường, yếu tố suy giảm của mô đun đàn hồi của bê tông sử dụng tro bay thay thế một phần xi măng làm chất kết dính đã chưa được kể đến trong phương pháp nội lực giới hạn của TCVN 5574:2018. Như vậy, để thu được kết quả thiên về an toàn và tham khảo tiêu chuẩn EC2 và ACI, các tác giả đề xuất một hệ số giảm cho cường độ R_b trong các biểu thức (3)-(6) là k_b lần lượt bằng 0,945, 0,885 và 0,845, tương ứng với tỷ lệ giữa độ lệch tâm ban đầu e_0 và chiều cao tiết diện h là 0,05, 0,25 và 0,45 để tính được giá trị $k_{TCVN} = 1$. Các hệ số trên được xác định bằng phương pháp thử dần và chọn lại. Thực hiện phép hồi quy thu được $k_b = ax^2 + bx + c$, với các hệ số $a = 0,250$; $b = -0,375$; $c = 0,963125$ và biến số $x = e_0/h$.

Kết luận

Một số kết luận có thể được rút ra từ những kết quả nghiên cứu thực nghiệm và lý thuyết của bài báo này như sau:

- Đối với bê tông có cường độ trung bình mẫu trụ là 30 MPa, tỷ lệ tro bay thay thế xi măng làm chất kết dính là 20%, không ảnh hưởng đáng kể tới cường độ chịu nén, tuy nhiên lại gây ra một lượng suy giảm nhất định về giá trị mô đun đàn hồi.

- So sánh số liệu thí nghiệm trên tám mẫu cột BTCT sử dụng bê tông tro bay 20% với kết quả tính toán theo các tiêu chuẩn EC2, ACI 318-19 và TCVN 5574:2018 cho thấy, cả 3 tiêu chuẩn đều dự báo khả năng chịu lực lớn hơn giá trị thí nghiệm của cả cột chịu nén lệch tâm bé và chịu nén lệch tâm lớn.

- Để đạt được kết quả dự báo thiên về an toàn cho cột BTCT sử dụng bê tông tro bay từ mô hình lý thuyết, hệ số giảm cường độ k_b được kiến nghị sử dụng khi áp dụng phương pháp nội lực giới hạn của TCVN 5574:2018.

Việc đề xuất hệ số giảm cường độ chịu nén của bê tông là một phương pháp đơn giản hóa nhằm phản ánh sự suy giảm về đặc trưng cơ lý của vật liệu bê tông có tro bay, mặt khác mang tính thực hành và dễ áp dụng. Về nguyên tắc, cần phản ánh đúng quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông có sử dụng tro bay thông qua các mô hình phi tuyến của vật liệu và kết nối giữa ứng xử vật liệu và ứng xử kết cấu. Do vậy, phương pháp mô hình biến dạng phi tuyến kết hợp với những điều chỉnh của quan hệ ứng suất - biến dạng dưới dạng 2 đoạn thẳng hoặc 3 đoạn thẳng thu được từ thí nghiệm trên các mẫu vật liệu bê tông tro bay được kiến nghị tiếp tục phát triển nghiên cứu cho bài toán này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R.S. Sanjay, D.M. Chetankumar, R.B. Uppara (2021), "An experimental study on various industrial wastes in concrete for sustainable construction", *Journal of Advanced Concrete Technology*, **19(2)**, pp.133-148.
- [2] M. Thomas (2007), "Optimizing the use of fly ash in concrete", *Portland Cement Association (PCA)*, **5420**, pp.1-24.
- [3] N.T. Thang, S. Vongchith (2019), "On the ability of applying fly ash for concrete in Lao PDR", *Vietnam Journal of Construction*, **621**, pp.65-70.
- [4] American Concrete Institute (2018), *ACI 232.2R-18 Report on the Use of Fly Ash in Concrete*.
- [5] Nguyễn Văn Chính, Đinh Công Thuật (2020), "Ảnh hưởng của tro bay, silicafume và môi trường đường hộ đến cường độ chịu nén của bê tông", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng*, **14(3V)**, tr.60-72.
- [6] Ngô Sỹ Huy, Lê Thị Thanh Tâm, Huỳnh Trọng Phước (2017), "Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay đến sự phát triển cường độ chịu nén của bê tông", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (IBST)*, **2**, tr.31-36.
- [7] Nguyễn Trọng Lâm, Nguyễn Ngọc Linh, Trần Văn Nam, Vũ Duy Kiên, Trần Văn Khải, Phùng Đức Hiếu (2020), "Ảnh hưởng của tro bay thay thế một phần xi măng đến tính chất của bê tông thương phẩm", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng*, **14(4V)**, tr.96-105.
- [8] P.Q. Dao, N.N. Tuan, L.T. Son, P.T. Tung, N.D. Tuan (2021), "The structural behaviours of steel reinforced geopolymer concrete beams: an experimental and numerical investigation", *Journal of Structures*, **33**, pp.567-580.
- [9] S.W. Yoo, Y.C. Choi, W. Choi (2017), "Compression behaviour of confined columns with high-volume fly ash concrete", *Advances in Materials Science and Engineering*, **2017(5)**, pp.1-11.
- [10] N.T. Thang, N.V. Phuong (2017), "Experimental study on ultimate strength of normal sections in reinforced concrete beams", *Journal of Science and Technology in Civil Engineering*, **6**, pp.44-52.
- [11] Nguyễn Việt Phương, Sykhampha Vongchith, Nguyễn Trường Thắng (2020), "Xác định khả năng chịu lực của cột bê tông cốt thép sử dụng các mô hình vật liệu phi tuyến của TCVN 5574:2018", *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, **14(3V)**, tr.93-107.
- [12] Phan Quang Minh, Ngô Thế Phong, Nguyễn Trường Thắng, Võ Mạnh Tùng (2021), *Kết cấu bê tông cốt thép - Phần cấu kiện cơ bản*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 25tr.
- [13] European Standard (2004), *EN 1992-1-1:2004, Design of Concrete Structures - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings*.
- [14] American Concrete Institute (2019), *ACI 318-19 - Building Code Requirements for Structural Concrete*.
- [15] Bộ Khoa học và Công nghệ (2018), *TCVN 5574:2018 - Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế*.