



## ESTIMATING SHEAR RESISTANCE FOR RC BEAMS ACCORDING TO SIMPLIFIED MODIFIED COMPRESSION FIELD THEORY (SMCFT) IN TCVN 11823 -2017 SPECIFICATION

Bui Thanh Tung<sup>1\*</sup>, Le Pham Tien<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup>Design Department No.3, Bridge and Tunnel Engineering Consultant Joint Stock Company (BRITEC)

### ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 25/08/2022

Revised: 01/11/2022

Accepted: 21/11/2022

Published online: 15/12/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.9.2>

\* *Corresponding author*

Email: [bttung@utc.edu.vn](mailto:bttung@utc.edu.vn)

**Abstract.** As regard to estimation for shear resistance of reinforced concrete (RC) beams, Simplified Modified Compression Field Theory (SMCFT) has been included to use in many specifications for concrete structures in the world. In highway bridge design specification TCVN 11823-2017, this method is also so-called the general method (a). Based on synthetization and analysis the related literatures, the paper presents SMCFT in TCVN 11823-2017 in Viet Nam; simultaneously, the errors of compilation for estimating shear resistance in the specification TCVN 11823-2017 will be presented. The estimation for shear resistance of RC beams following this method will be also performed in which the estimated results will be compared with experimental results referred from the related literatures. Based on that, the effectivity and convenience of the method are shown; simultaneously, correcting the errors for TCVN 11823-2017 in this section will be suggested for a reliable application in highway bridges design in Viet Nam.

**Keywords:** Shear capacity, TCVN 11823-2017, AASHTO LRFD, MCFT, SMCFT.

© 2022 University of Transport and Communications



## DỰ TÍNH SỨC KHÁNG CẮT CHO DẦM BTCT THEO MÔ HÌNH TRƯỜNG NÉN CẢI TIẾN ĐƠN GIẢN HÓA (SMCFT) TRONG TIÊU CHUẨN TCVN 11823-2017

Bùi Thanh Tùng<sup>1\*</sup>, Lê Phạm Tiến<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup>Phòng TK 3, Công ty Cổ phần Tư vấn Thiết kế Cầu Lớn – Hàm (BRITEC)

### THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 25/08/2022

Ngày nhận bài sửa: 01/11/2022

Ngày chấp nhận đăng: 21/11/2022

Ngày xuất bản Online: 15/12/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.9.2>

\* Tác giả liên hệ:

Email: bttung@utc.edu.vn

**Tóm tắt.** Trong dự tính sức kháng cắt cho các dầm bê tông cốt thép (BTCT), mô hình trường nén cải tiến đơn giản hóa (Simplified Modified Compression Field Theory-SMCFT) đã được đưa vào áp dụng trong nhiều tiêu chuẩn về kết cấu bê tông trên thế giới. Ở tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ TCVN 11823-2017, mô hình SMCFT còn được biết đến với tên gọi là phương pháp tổng quát (a). Trên cơ sở tham khảo các tài liệu liên quan, bài báo trình bày về mô hình SMCFT trong tiêu chuẩn TCVN 11823-2017 của Việt Nam, đồng thời những sai sót trong việc biên soạn tiêu chuẩn cho cách tiếp cận ước tính sức kháng cắt theo phương pháp này cũng được chỉ ra. Các tính toán dự tính sức kháng cắt cho dầm BTCT theo mô hình này cũng được trình bày và so sánh với các kết quả thực nghiệm được tham khảo từ một số tài liệu về cắt. Qua đó cho thấy sự hiệu quả và sự tiện dụng của phương pháp này trong dự tính sức kháng cắt cho dầm BTCT cũng như sự cần thiết phải bổ sung, đính chính để tiêu chuẩn TCVN 11823-2017 có được độ tin cậy trong khi sử dụng cho những tính toán, thiết kế kết cấu của các công trình cầu về mặt kháng cắt ở Việt Nam.

**Từ khóa:** Sức kháng cắt, TCVN 11823-2017, AASHTO LRFD, MCFT, SMCFT.

© 2022 University of Transport and Communications

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mặc dù tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ TCVN 11823-2017 [1] chính thức được áp dụng trong tính toán thiết kế các công trình cầu ở Việt Nam trong thời gian chưa lâu (từ cuối năm 2017 và đầu năm 2018) [2], nhưng với tính chất là cơ sở pháp lý về kỹ thuật, tính đến thời điểm hiện tại đã có khá nhiều công trình cầu được thiết kế áp dụng tiêu chuẩn này. Cũng giống với phiên bản tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN 272-05 [3] trước đây, tiêu chuẩn TCVN 11823-2017 cũng được biên soạn trên cơ sở tham khảo và biên dịch từ phiên bản gần nhất của tiêu chuẩn thiết kế cầu theo hệ số sức kháng và tải trọng của AASHTO, Hoa Kỳ (AASHTO LRFD Bridge design specifications [4]) kết hợp với những điều chỉnh ở một số mục và điều khoản để phù hợp với điều kiện áp dụng ở Việt Nam. Tuy khoảng cách về thời gian giữa các lần cập nhật của tiêu chuẩn thiết kế cầu ở Việt Nam là xa hơn, nhưng cũng giống với sự phát triển cập nhật của các phiên bản tiêu chuẩn thiết kế cầu AASHTO LRFD, mà các phiên bản sau luôn được phát triển trên sự kế thừa của các phiên bản trước kết hợp với sự cập nhật những tiến bộ trong nghiên cứu của ngành, TCVN 11823-2017 cũng được biên soạn và cập nhật theo một xu hướng như vậy.

Ở bản tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN 272-05, chỉ một cách tiếp cận duy nhất cho dự tính sức kháng cắt của cầu kiện BTCT được trình bày mà trong đó phương pháp dự tính khả năng chịu cắt được phát triển dựa trên mô hình trường nén cải tiến (Modified Compression Field Theory-MCFT) của Vecchio và Collins [5]. Đến tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ TCVN 11823-2017 ở lần cập nhật lần này, cũng giống với cách tiếp cận của các phiên bản AASHTO LRFD [4] từ sau 2008, để dự tính khả năng kháng cắt cho kết cấu BTCT, tiêu chuẩn cung cấp ba phương pháp tiếp cận. Một cách tóm lược, các phương pháp tiếp cận này bao gồm:

- Phương pháp tổng quát (a): các hệ số  $\beta$  và góc  $\theta$  của phương trình dự tính sức kháng cắt được tính bằng các công thức trên cơ sở mô hình trường nén cải tiến được đơn giản hóa (Simplified Modified Compression Field Theory-SMCFT) được phát triển bởi Bentz và cộng sự [4,6].
- Phương pháp tổng quát (b): các hệ số  $\beta$  và góc  $\theta$  của phương trình dự tính sức kháng cắt được tính toán bằng cách tra bảng giống cách tiếp cận của phương pháp tra bảng được giới thiệu trong các phiên bản của AASHTO LRFD và tiêu chuẩn 22TCN 272-05. Về mặt bản chất, phương pháp này được phát triển trên cơ sở mô hình trường nén cải tiến (MCFT) được phát triển bởi Vecchio và Collins [5].
- Phương pháp đơn giản hóa cho mặt cắt dự ứng lực và không dự ứng lực: phương pháp này được áp dụng để dự tính sức kháng cắt của các bộ phận kết cấu BTCT bằng các công thức đơn giản hóa được phát triển, điều chỉnh bởi Hawkins và cộng sự (2005) [7] và được đưa vào trong các chỉ dẫn của tiêu chuẩn ACI Code 318-11(2011) [4,8]. Tuy nhiên ở phiên bản AASHTO LRFD 2020, phương pháp này đã không còn được đề cập sử dụng để tính toán khả năng chịu cắt của kết cấu BTCT.

Xét trên khía cạnh tính toán về cắt cho kết cấu BTCT, mặc dù sự cập nhật của tiêu chuẩn TCVN 11823-2017 đã trang bị những công cụ linh hoạt và mềm dẻo cho các kỹ sư trong tính toán thiết kế các công trình cầu, tuy nhiên bởi một lý do nào đó mà quá trình biên soạn vẫn còn tồn tại những sai sót trong chỉ dẫn dự tính khả năng chịu cắt. Cụ thể đó là những sai sót do biên soạn ở cách tiếp cận dự tính sức kháng cắt theo phương pháp tổng quát (a). Cũng bởi vì những sai sót này mà phương pháp tổng quát (a) đã không được đánh giá một cách thỏa đáng [9] và tương xứng với sự tiện dụng, linh hoạt mà phương pháp này đã mang lại. Với

những lý do như vậy, bài báo trình bày về phương pháp dự tính sức kháng cắt cho kết cấu BTCT theo mô hình trường nén cải tiến đơn giản hóa (SMCFT) còn được gọi là phương pháp tổng quát (a) trong tiêu chuẩn TCVN 11823-2017. Trong bài báo này, các tính toán dự tính sức kháng cắt bằng phương pháp tổng quát (a) cũng sẽ được trình bày và so sánh với các kết quả thực nghiệm được thực hiện bởi Bentz cùng cộng sự [10] và bởi Lee cùng cộng sự [11], để có thể đánh giá hiệu quả của phương pháp. Qua đó cũng sẽ thấy được rằng một sự cập nhật và sửa đổi những sai sót được đề cập liên quan đến dự tính khả năng chịu cắt của kết cấu BTCT là cần thiết trong tiêu chuẩn TCVN 11823-2017.

## 2. TÍNH TOÁN SỨC KHÁNG CẮT THEO MÔ HÌNH TRƯỜNG NÉN CẢI TIẾN ĐƠN GIẢN HÓA (SMCFT)

Trình tự dự tính sức kháng cắt cho các cấu kiện BTCT trên cơ sở mô hình trường nén cải tiến (MCFT) trong các phiên bản tiêu chuẩn AASHTO LRFD mặc dù đã được làm đơn giản hơn [7] so với trình tự ban đầu được đề xuất bởi Vecchio và Collins [5], nhưng khi tính toán vẫn phải thực hiện qua một quá trình tính lặp và được đánh giá là vẫn còn tương đối phức tạp [6]. Chính bởi điều này, Bentz và cộng sự [6] đã cải tiến mô hình và trình tự tính để giảm bớt đi sự phức tạp đó. Mô hình của Bentz cũng vẫn được phát triển trên sự kế thừa từ mô hình MCFT nhưng trình tự để dự tính sức kháng cắt là đơn giản hơn rất nhiều, mô hình này được lấy tên là mô hình trường nén cải tiến đơn giản hóa (Simplified Modified Compression Field Theory-SMCFT). Trong mô hình SMCFT, các thông số trong công thức dự tính sức kháng cắt bởi sự đóng góp của thành phần bê tông và cốt thép đai không cần phải tính toán lặp phức tạp. Với những tiện dụng và đơn giản cho việc sử dụng, mô hình SMCFT đã được đưa vào các tiêu chuẩn thiết kế kết cấu BTCT của Canada CSA A23.2-04 [12] cũng như các phiên bản tiêu chuẩn AASHTO LRFD sau năm 2008 [4] để ước tính sức kháng cắt cho các bộ phận kết cấu bê tông. Ở các phiên bản AASHTO LRFD sau năm 2008 cách tiếp cận ước tính sức kháng cắt theo mô hình SMCFT được biết đến với tên gọi là trình tự tổng quát để phân biệt với cách tiếp cận ước tính sức kháng cắt theo trình tự lặp kết hợp tra bảng được giới thiệu trong phần phụ lục. Ở lần cập nhật này cho tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ ở Việt Nam, tiêu chuẩn TCVN 11823-2017 cũng đã bổ sung giới thiệu cách tiếp cận ước tính sức kháng cắt theo mô hình SMCFT vào trong tiêu chuẩn với tên gọi là phương pháp tổng quát (a). Theo tiêu chuẩn, sức kháng cắt của kết cấu BTCT có thể được đóng góp bởi các thành phần được thể hiện trong công thức (1) như sau:

$$V_n = V_c + V_s + V_p \quad (1)$$

Trong đó:  $V_n$  - là sức kháng cắt danh định được ước tính cho kết cấu BTCT;  $V_c$  - là thành phần sức kháng cắt được đóng góp bởi bê tông;  $V_s$  - là thành phần sức kháng cắt được đóng góp bởi cốt thép đai;  $V_p$  - là thành phần sức kháng cắt được đóng góp bởi dự ứng lực trong hướng của lực cắt.

Ở công thức (1) sức kháng cắt danh định được đóng góp bởi tổng thành phần bê tông và cốt thép đai không được vượt quá giá trị được tính trong công thức (2) như sau:

$$V_c + V_s \leq 0,25f'_c b_v d_v \quad (2)$$

Với  $f'_c$  - là cường độ chịu nén của bê tông dầm (MPa);  $b_v$  - là bề rộng hữu hiệu của sườn dầm (mm);  $d_v$  - là chiều cao hữu hiệu chịu cắt (mm);  $V_c$  và  $V_s$  có đơn vị là (N).

Trong công thức (1) sức kháng cắt đóng góp của các thành phần bê tông được ước tính

theo công thức (3) và sức kháng cắt đóng góp của thành phần cốt thép đai được ước tính theo công thức (4):

$$V_c = 0,083\beta\sqrt{f'_c}b_vd_v \quad (3)$$

$$V_s = \frac{A_vf_yd_v(\cotg\theta + \cotg\alpha)\sin\alpha}{s} \quad (4)$$

Trong đó:  $f_y$  - là cường độ chảy của cốt thép đai được bố trí (MPa);  $\alpha$  - là góc nghiêng bố trí cốt thép đai so với trục dọc (độ);  $s$  - là cự ly bố trí cốt thép đai (mm).

Ở cách tiếp cận của phương pháp tổng quát (b) trên cơ sở của mô hình MCFT, các hệ số  $\beta$  và góc  $\theta$  trong công thức (3) và (4) chỉ có thể có được sau một số lần tính lặp của trình tự tính toán với giả thiết một góc  $\theta$  ban đầu kết hợp với phương pháp nội suy tra bảng phụ thuộc vào ứng biến dọc trong bê tông ở giữa chiều cao mặt cắt bê tông  $\varepsilon_x$ . Để tính toán ứng biến dọc  $\varepsilon_x$  trong bê tông theo phương pháp tổng quát (b), tiêu chuẩn cung cấp hai công thức tính khác nhau tương ứng với hai trường hợp của dầm có và không có bố trí cốt thép đai. Giá trị của  $\varepsilon_x$  cũng sẽ thay đổi sau mỗi lần tính lặp và trình tự tính lặp chỉ được dừng lại khi nào giá trị của  $\varepsilon_x$  của lần lặp sau không thay đổi nhiều so với lần lặp trước. Rõ ràng một trình tự tính toán như vậy sẽ khá là phức tạp và mất thời gian cho một kỹ sư tính toán thực hành. Trong khi đó với cách tiếp cận của phương pháp tổng quát (a) theo mô hình SMCFT các giá trị của  $\beta$  và  $\theta$  có thể được tính toán trực tiếp từ các công thức mà việc này đơn giản hơn rất nhiều so với việc nội suy tra bảng và tính lặp như cách thực hiện ở phương pháp tổng quát (b). Ở cách tiếp cận của phương pháp tổng quát (a) của TCVN 11823-2017, các giá trị của  $\beta$  và  $\theta$  được tính toán theo các công thức như sau:

- Với các cấu kiện BTCT có bố trí cốt thép đai lớn hơn lượng cốt thép đai tối thiểu:

$$\beta = \frac{4,8}{1 + 750\varepsilon_s} \quad (5)$$

- Với các cấu kiện BTCT không bố trí cốt thép đai hoặc nếu có bố trí mà lượng cốt thép đai nhỏ hơn lượng cốt thép đai tối thiểu (các phần dưới này sẽ gọi là các cấu kiện hoặc là dầm BTCT không cốt thép đai):

$$\beta = \frac{4,8}{(1 + 750\varepsilon_s)} \frac{1300}{(1000 + S_{xe})} \quad (6)$$

Trong công thức (6) khi cấu kiện BTCT không được bố trí cốt thép đai, sự đóng góp vào sức kháng cắt bởi tương tác ma sát giữa các bề mặt nứt xiên do cắt là đáng kể. Vì vậy thành phần này được đưa vào tính trong công thức tính hệ số  $\beta$ , và phụ thuộc vào thông số khoảng cách nứt  $S_{xe}$ . Thông số khoảng cách vết nứt được tính toán phụ thuộc vào đường kính lớn nhất của cốt liệu như sau:

$$S_{xe} = S_x \frac{35}{a_g + 16} \quad \text{với } 305\text{mm} \leq S_{xe} \leq 2000\text{mm} \quad (7)$$

Với  $a_g$  - là đường kính lớn nhất của cốt liệu trong vật liệu bê tông (mm);  $S_x$  - là khoảng cách trung bình giữa các vết nứt theo phương dọc dầm, được ước tính bằng giá trị nhỏ hơn của  $d_v$  và cự ly lớn nhất giữa các lớp cốt thép dọc kiểm soát nứt (mm).

Trong cả hai trường hợp là cấu kiện BTCT có và không bố trí cốt thép đai, góc nghiêng

của các vết nứt xiên trên sườn của cấu kiện BT đều được tính toán bằng công thức (8):

$$\theta = 29 + 3500\varepsilon_s \quad (8)$$

Khác với cách tiếp cận ở phương pháp tổng quát (b), ứng biến dọc tính toán cho mặt cắt ở vị trí trọng tâm cốt thép chịu kéo trong các công thức (5), (6) và (8) được tính như sau:

$$\varepsilon_s = \frac{\left(\frac{|M_u|}{d_v} + 0,5N_u + |V_u - V_p| - A_{ps}f_{po}\right)}{E_sA_s + E_pA_{ps}} \quad (9)$$

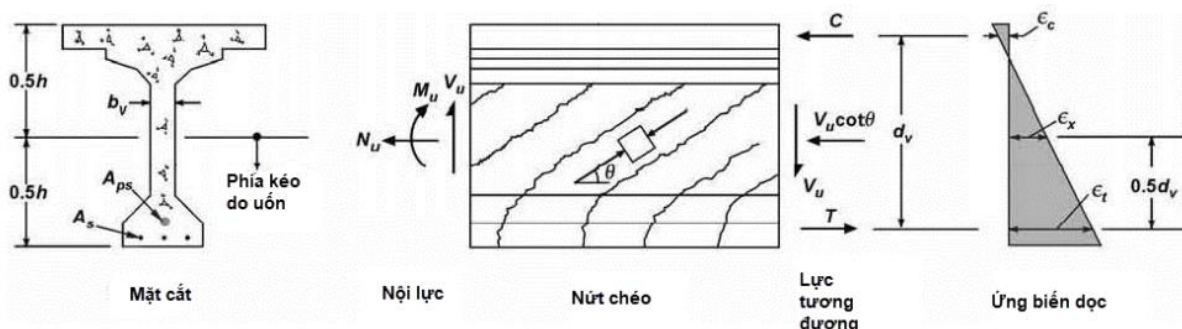
Trong công thức (9):  $M_u$  - là mô men uốn ở mặt cắt tính toán cắt (N.mm);  $N_u$  - là lực dọc trục tính toán (N);  $V_u$  - là lực cắt tại mặt cắt tính toán (N);  $V_p$  - là thành phần lực dọc ứng lực có hiệu trên hướng lực cắt tác dụng (N);  $A_{ps}$  - diện tích cốt thép dự ứng lực ở phía chịu kéo ( $\text{mm}^2$ );  $A_s$  - là diện tích cốt thép thường chịu kéo ( $\text{mm}^2$ );  $f_{po}$  - là thông số được tính bằng tích số của mô đun đàn hồi của cốt thép dự ứng lực với hiệu số chênh lệch ứng biến của cốt thép dự ứng lực với bê tông xung quanh (MPa);  $E_s$  và  $E_p$  - lần lượt là mô đun đàn hồi của cốt thép thường chịu kéo và cốt thép dự ứng lực (MPa).

Như đề cập ở trên, đã có những sai sót trong việc biên soạn các công thức tính toán ở phương pháp tổng quát (a) cho ước tính sức kháng cắt của các cấu kiện BTCT. Vậy những sai sót này nằm ở đâu trong các công thức tính toán sức kháng cắt? Qua việc tham khảo các tài liệu [4,6], sai sót đầu tiên có thể kể đến nằm ở công thức số (6). Các tác giả biên soạn tiêu chuẩn TCVN 11823-2017 đã không chuyển đổi đơn vị từ hệ US (Imperial and US Measuring System) sang hệ đo lường quốc tế SI được sử dụng trong hệ thống đo lường ở Việt Nam. Điều này dẫn đến một công thức ước tính hệ số  $\beta$  sai trong hệ đơn vị SI như được trình bày ở công thức (10):

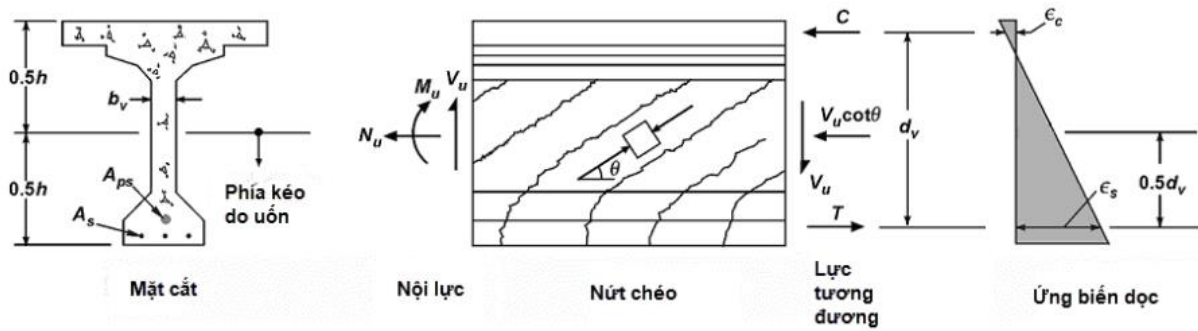
$$\beta = \frac{4,8}{(1 + 750\varepsilon_s)} \frac{51}{(39 + S_{xe})} \quad (10)$$

Sai sót thứ 2 có thể kể đến là trong công thức (9), có thể do các tác giả biên soạn chưa tham khảo kỹ những giải thích được xuất bản song song trong các phiên bản AASHTO LRFD sau năm 2008, hoặc một lý do nào đó mà ở công thức này tồn tại một hệ số 0,5 trước số hạng  $|V_u - V_p|$ . Do đó một công thức sai cho tính toán ứng biến  $\varepsilon_s$  đã được in trong TCVN 11823-2017 như sau:

$$\varepsilon_s = \frac{\left(\frac{|M_u|}{d_v} + 0,5N_u + 0,5|V_u - V_p| - A_{ps}f_{po}\right)}{E_sA_s + E_pA_{ps}} \quad (11)$$



Hình 1. Hình sai mô tả cho phương pháp tổng quát (a), Hình 4 - phần 5 của TCVN 11823-2017 [1].



Hình 2. Hình đúng mô tả cho phương pháp tổng quát (a) được tham khảo từ AASHTO LRFD2014 [4].

Cũng bởi một phần lý do giống như đối với sai sót thứ 2, dẫn đến một sự biểu diễn sai trong “Hình” giải thích của phương pháp tổng quát (a) trong tiêu chuẩn TCVN 11823-2017. Cụ thể là Hình 4 trong phần 5 của tiêu chuẩn TCVN 11823-2017 không phải là một “Hình” đúng để mô tả cho thông số tính toán trong phương pháp tổng quát (a). Qua việc tham khảo các phiên bản AASHTO LRFD sau năm 2008, sai sót này được trình bày trong Hình 1 và Hình 2.

Trên đây là một số sai sót trong biên soạn tiêu chuẩn TCVN 11823-2017 cho dự tính sức kháng cắt theo mô hình SMCFT hay còn gọi là phương pháp tổng quát (a) được trình bày. Sự ảnh hưởng của những sai sót đến độ chính xác khi dự tính sức kháng cắt của cầu kiện dầm BTCT theo phương pháp tổng quát (a) sẽ được trình bày trong phần 3 của bài báo.

### 3. TÍNH TOÁN SO SÁNH VỚI KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

Để đánh giá sự ảnh hưởng của việc áp dụng các công thức không đúng đến dự tính sức kháng cắt cho các cầu kiện dầm BTCT khi được thực hiện theo các trình tự của phương pháp tổng quát (a) trong tiêu chuẩn TCVN 11823-2017, phần này sẽ thực hiện dự tính sức kháng cắt cho một số dầm bê tông cốt thép theo phương pháp tổng quát (a). Các kết quả dự tính này sẽ được so sánh với các kết quả thực nghiệm để đánh giá những ảnh hưởng này, đồng thời đánh giá sự chính xác khi áp dụng trình tự dự tính sức kháng cắt theo phương pháp tổng quát (a) khi các biểu thức đúng được áp dụng.

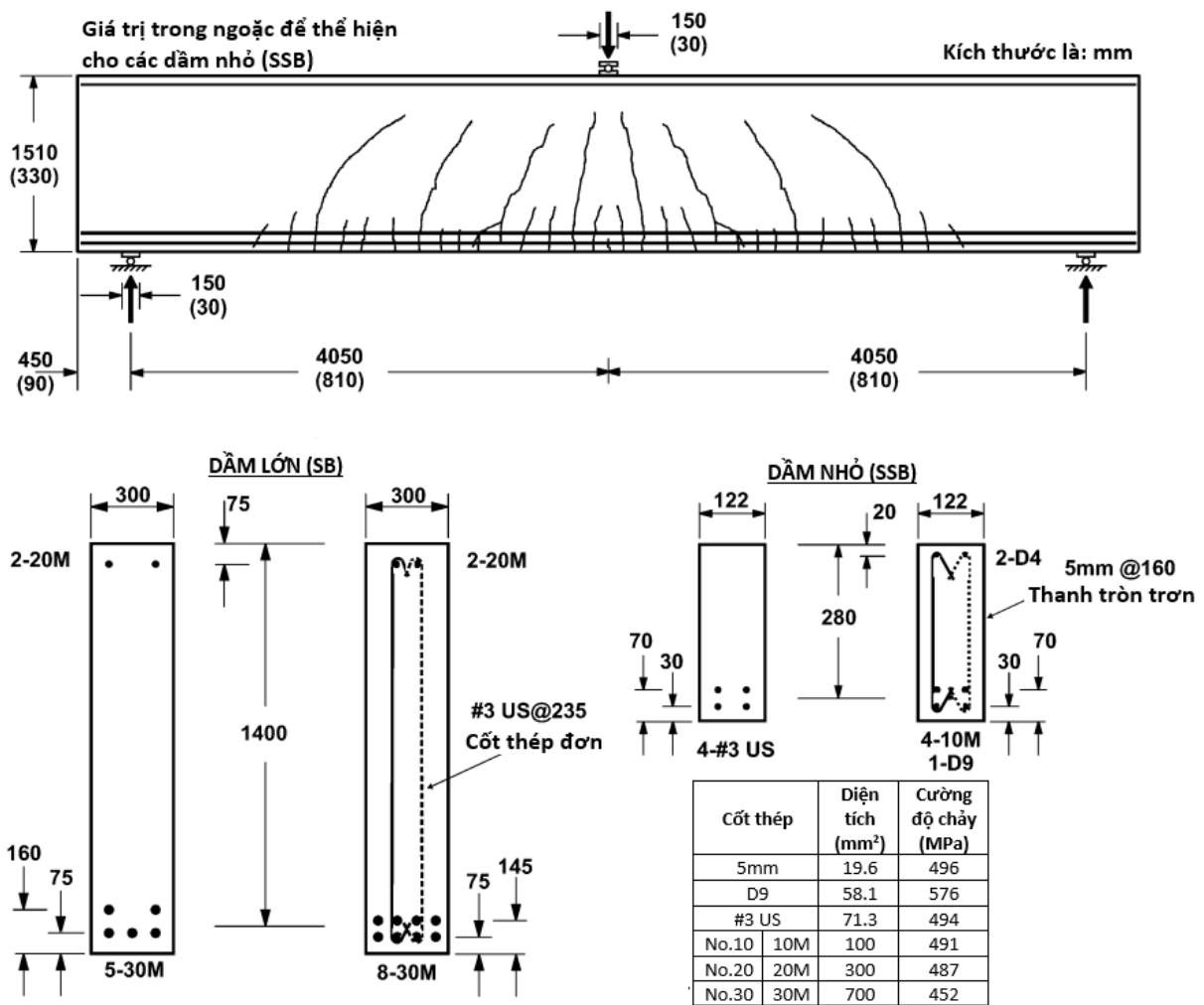
#### 3.1. Các thí nghiệm cắt

Đối với các dầm BTCT không có cốt thép đai hoặc được bố trí cốt thép đai nhỏ hơn lượng cốt thép đai tối thiểu (tính theo công thức (66) của phần 5 tiêu chuẩn TCVN 11823-2017), các kết quả thực nghiệm được tham khảo từ các thí nghiệm uốn dầm BTCT trong dự án thí nghiệm về cắt được thực hiện bởi Bentz và cộng sự [10] ở Đại học Toronto - Canada. Trong dự án này, các dầm có kích thước như sau được thí nghiệm (Hình 3):

- Các dầm lớn có kích thước 1510x300x9000mm. Trong các dầm lớn này có 10 dầm không bố trí cốt thép đai chịu cắt, cốt thép chịu kéo được bố trí 5 thanh có số hiệu No.30, với một chiều cao hữu hiệu là  $d = 1400\text{mm}$ , cốt thép chịu nén được bố trí 2 thanh có số hiệu No.20. Dầm thứ 11 của nhóm các dầm lớn với kí hiệu là SB-10-H-S được bố trí 8 thanh cốt thép chịu kéo số hiệu No.30 với cùng chiều cao hữu hiệu như các dầm không có cốt thép đai và 2 thanh cốt thép chịu nén có số hiệu No.20. Ở dầm thứ 11 có bố trí một lượng nhỏ cốt thép đai chịu cắt (được bố trí một nhánh thanh đơn ở mỗi mặt cắt bố trí) có đường kính là 9,5mm với cự ly bố trí là 235mm tương ứng với

lượng cốt thép đai được bố trí trong cự ly  $s = 235\text{mm}$  là  $A_v = 71,3\text{mm}^2$  (nhỏ hơn lượng cốt thép đai tối thiểu).

- Các dầm nhỏ có kích thước  $330 \times 122 \times 1800\text{mm}$  và được bố trí 4 thanh cốt thép chịu kéo có đường kính  $9,5\text{mm}$  với một chiều cao hữu hiệu là  $d = 280\text{mm}$ . Dầm nhỏ thứ 8, với kí hiệu là SSB-10-H-S được bố trí cốt thép đai chịu cắt tròn trơn (cũng được bố trí nhanh đơn) với đường kính là  $5\text{mm}$  và cự ly bố trí là  $160\text{mm}$  tương ứng với lượng cốt thép đai được bố trí trong cự ly  $s = 160\text{mm}$  là  $A_v = 19,6\text{mm}^2$  (nhỏ hơn lượng cốt thép đai tối thiểu). Chi tiết cốt thép chịu kéo và nén được bố trí trong dầm nhỏ được biểu diễn trong Hình 3.
- Ở cả hai nhóm dầm lớn và dầm nhỏ, đường kính lớn nhất của cốt liệu lớn được sử dụng trong bê tông chế tạo các dầm được thay đổi cho mỗi dầm được đúc và được viết vào trong kí hiệu của dầm. Cường độ chịu nén  $f'_c$  của bê tông chế tạo dầm được thí nghiệm đo cùng ngày với dầm tương ứng được uốn. Các kích thước chi tiết của các dầm được thể hiện trong Hình 3.

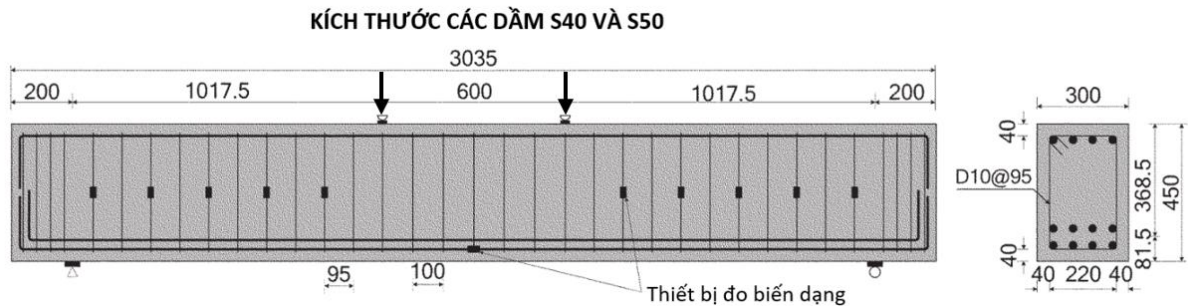


Hình 3. Kích thước các dầm trong thí nghiệm về cắt được thực hiện bởi Bentz và cộng sự [10].

Để đánh giá khả năng dự tính sức kháng cắt của phương pháp tổng quát (a) cho các dầm



có bố trí cốt thép đai lớn hơn lượng cốt thép đai tối thiểu yêu cầu theo công thức (66) trong phần 5 - TCVN 11823-2017, các kết quả thực nghiệm của dự án nghiên cứu về cắt đợc thực hiện bởi Lee và cộng sự [11] đợc tham khảo. Kích thước của các dầm thí nghiệm trong dự án này đợc thể hiện trong Hình 4. Các dầm đợc tham khảo từ dự án này bao gồm hai nhóm dầm có kí hiệu là S40 và S50 với hai loại cường độ bê tông tương ứng là 38.2MPa và 50.3MPa. Các cốt thép dọc chịu nén và chịu kéo đợc bố trí cho dầm có đường kính danh định 29mm (diện tích 642.4mm<sup>2</sup>) với cường độ chảy  $f_y = 554\text{MPa}$ . Các thanh cốt thép chịu kéo đợc bố trí với một chiều cao hữu hiệu  $d = 368.5\text{mm}$ . Cốt thép đai chịu cắt có đường kính danh định là 10mm (diện tích 71.3mm<sup>2</sup>). Cường độ chảy của cốt thép đai cho mỗi dầm đợc thể hiện trong bảng tính (Bảng 3). Cụ ly bố trí cốt thép đai và số lượng các thanh cốt thép chịu kéo và nén đợc bố trí cho dầm có thể đợc tham khảo trong Hình 4.



Hình 4. Kích thước các dầm trong thí nghiệm về cắt đợc thực hiện bởi Lee và cộng sự [11].

Trên cơ sở áp dụng cách tiếp cận theo phương pháp tổng quát (a) của tiêu chuẩn TCVN 11823-2017, sức kháng cắt dự tính cho các dầm BTCT theo phương pháp này sẽ đợc tính toán và thể hiện trong Bảng 1, Bảng 2 và Bảng 3. Trong bài báo này, sức kháng cắt dự tính sẽ đợc tính theo cả công thức đợc biên soạn sai trong TCVN 11823-2017 và công thức đúng của phương pháp tổng quát (a) để so sánh và đánh giá. Đồng thời với mục đích so sánh, sức kháng cắt dự tính theo phương pháp tổng quát (b) và các kết quả thực nghiệm cũng đợc trình bày.

Bảng 1. Kết quả so sánh sức kháng cắt ước tính theo-TCVN 11823-2017 với kết quả thực nghiệm thực hiện bởi Bentz và cộng sự [10] tính cho các dầm lớn.

Mẫu thí nghiệm	Các thông số vật liệu cho dầm					Kết quả thực nghiệm và dự tính			
	$\rho_s$ (%)	$A_{vmin}$ (mm <sup>2</sup> )	$f'_c$ (MPa)	$a_g$ (mm)	$S_{xe}$ (mm)	$V_{exp}^{(3)}$ (kN)	$V_{11823}^{(aS)}$ (kN)	$V_{11823}^{(aD)}$ (kN)	$V_{11823}^{(b)}$ (kN)
SB-10-N1	0,83	0	38,4	10	1696	277	26,46	277,88	296,69
SB-10-N2	0,83	0	40,3	10	1696	254	27,08	282,75	301,62
SB-20-N1	0,83	0	31,4	20	1225	277	32,52	296,69	301,25
SB-20-N2	0,83	0	33,2	20	1225	277	33,39	302,63	307,06
SB-40-N1	0,83	0	28,1	40	788	254	46,03	332,94	317,13
SB-40-N2	0,83	0	28,5	40	788	300	46,33	334,58	318,66
SB-50-N1	0,83	0	41,0	50	668	283	63,23	397,58	374,08
SB-50-N2a	0,83	0	40,1	50	668	310	62,59	394,60	371,11
SB-50-N2b	0,83	0	40,1	50	668	334	62,59	394,60	371,11

<b>SB-10-H-1</b>	0,83	0	73,6	0	2000	252	30,95	324,57	349,77
<b>SB-10-H-S</b>	1,33	100	71,2	0	2000	721	341,48	592,67	480,43

*Ghi chú:  $A_{vmin}$  - là lượng cốt thép đai tối thiểu yêu cầu với dầm có bố trí cốt thép đai ( tính theo công thức (66) của phần 5 tiêu chuẩn TCVN 11823-2017);  $V_{exp}^{(3)}$  - là lực cắt tính ở mặt cắt dầm cách gối một khoảng chiều cao hữu hiệu  $d$  có được từ thí nghiệm uốn dầm [10];  $V_{11823}^{(aS)}$  và  $V_{11823}^{(aD)}$  - là sức kháng cắt dự tính theo phương pháp tổng quát (a) -TCVN 11823-2017 tính theo công thức sai và công thức đúng;  $V_{11823}^{(b)}$  - là sức kháng cắt dự tính theo phương pháp tổng quát (b) - TCVN 11823-2017.*

Bảng 2. Kết quả so sánh sức kháng cắt ước tính theo-TCVN 11823-2017 với kết quả thực nghiệm thực hiện bởi Bentz và cộng sự [10] tính cho các dầm nhỏ.

Mẫu thí nghiệm	Các thông số vật liệu cho dầm					Kết quả thực nghiệm và dự tính			
	$\rho_s$ (%)	$A_{vmin}$ (mm <sup>2</sup> )	$f'_c$ (MPa)	$a_g$ (mm)	$S_{xe}$ (mm)	$V_{exp}^{(3)}$ (kN)	$V_{11823}^{(aS)}$ (kN)	$V_{11823}^{(aD)}$ (kN)	$V_{11823}^{(b)}$ (kN)
<b>SSB-10-N1</b>	0,83	0	41,9	10	339	36,8	8,99	37,66	34,46
<b>SSB-10-N2</b>	0,83	0	41,9	10	339	38,5	8,99	37,66	34,46
<b>SSB-20-N1</b>	0,83	0	39,2	20	305	39,3	9,48	37,48	34,19
<b>SSB-20-N2</b>	0,83	0	38,1	20	305	38,4	9,37	37,13	33,85
<b>SSB-40-N1</b>	0,83	0	29,1	40	305	42,1	8,34	33,93	30,78
<b>SSB-40-N2</b>	0,83	0	29,1	40	305	35,1	8,34	33,93	30,78
<b>SSB-10-H-1</b>	0,83	0	77,3	0	551	37,9	7,97	41,81	39,41
<b>SSB-10-H-S</b>	1,34	29	77,3	0	551	66,5	31,83	64,86	55,27

*Ghi chú: Các kí hiệu trong Bảng 2 là giống với kí hiệu trong Bảng 1.*

Bảng 3. Kết quả so sánh sức kháng cắt ước tính theo-TCVN 11823-2017 với kết quả thực nghiệm thực hiện bởi Lee và cộng sự [11] tính cho các dầm có cốt thép đai.

Mẫu thí nghiệm	Các thông số vật liệu cho dầm						Kết quả thực nghiệm và dự tính			
	$\rho_s$ (%)	$A_v$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{vmin}$ (mm <sup>2</sup> )	$f'_c$ (MPa)	$f_{yw}$ (MPa)	$P_{max}$ (kN)	$V_{exp}^{(3)}$ (kN)	$V_{11823}^{(aS)}$ (kN)	$V_{11823}^{(aD)}$ (kN)	$V_{11823}^{(b)}$ (kN)
<b>S40-3</b>	4,65	142,6	30,18	38,2	484,4	1073,9	540,09	536,85	512,65	516,4
<b>S40-4</b>	4,65	142,6	26,33	38,2	555,3	1133,4	569,84	584,08	557,33	558,87
<b>S40-5</b>	4,65	142,6	23,06	38,2	634,1	1183,4	594,84	638,28	606,14	605,08
<b>S50-2</b>	4,65	142,6	44,29	50,3	378,8	1174,4	590,34	484,80	462,18	475,55
<b>S50-3</b>	4,65	142,6	34,63	50,3	484,4	1281,7	643,99	555,24	528,98	543,13
<b>S50-4</b>	4,65	142,6	30,21	50,3	555,3	1313,5	659,89	601,82	573,00	587,11
<b>S50-5</b>	4,65	142,6	26,46	50,3	634,1	1420,2	713,24	652,90	621,14	634,33
<b>S50-6</b>	4,65	142,6	22,37	50,3	750,1	1517,3	761,79	726,80	690,51	700,84

*Ghi chú: Các kí hiệu trong Bảng 3 là giống với kí hiệu trong Bảng 1. Ngoài ra,  $A_v$  - là diện tích cốt đai trong cự ly bước cốt thép đai;  $f_{yw}$  - là cường độ chảy của cốt thép đai;  $P_{max}$  - là tổng lực sử dụng để uốn dầm.*

Có một số lưu ý trong các kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 1,2 và 3 như sau:

- Khi dự tính sức kháng cắt cho các dầm thí nghiệm có bố trí cốt thép đai được thực hiện bởi Bentz và cộng sự [10] theo TCVN 11823-2017, bởi vì lượng cốt thép đai được bố trí cho các dầm nhỏ hơn lượng cốt thép đai tối thiểu được yêu cầu theo công thức (66) của phần 5 - TCVN 11823-2017 nên khi ước tính hệ số  $\beta$  và góc  $\theta$  theo cả hai phương pháp tổng quát (a) và (b) thì các hệ số và góc này đều được áp dụng tương ứng với công thức của dầm không bố trí cốt thép đai.
- Các tác giả của tài liệu [10] tính toán lực cắt từ các thí nghiệm cắt tại vị trí mặt cắt cách gối đỡ dầm một khoảng  $d$  là chiều cao hữu hiệu của mặt cắt dầm, do đó để có thể so sánh được với kết quả thực nghiệm, sức kháng cắt dự tính trong bài báo này cho các dầm cũng được tính tại mặt cắt dầm cách gối một khoảng là  $d$ . Giá trị  $d = 1400\text{mm}$  cho dầm lớn,  $d = 280\text{mm}$  cho dầm nhỏ.
- Với các kết quả thực nghiệm được tham khảo từ tài liệu [11], Lee và cộng sự chỉ trình bày tổng lực uốn lớn nhất cho các dầm thí nghiệm cắt, các giá trị lực này cũng được trình bày trong Bảng 3. Từ các giá trị lực uốn này, lực cắt thí nghiệm sẽ được tính cho dầm tại vị trí mặt cắt cách gối một khoảng  $d = 368,5\text{mm}$  và có xét đến ảnh hưởng của trọng lượng bản thân dầm.
- Theo đề xuất của Bentz và cộng sự [6] đối với bê tông có cường độ cao  $f'_c \geq 70\text{MPa}$ , các vết nứt thường có xu hướng làm vỡ và xuyên qua các cốt liệu lớn, và trong những trường hợp này đường kính cốt liệu lớn nhất trong công thức (7) phải được lấy  $a_g = 0\text{mm}$ . Do vậy, đối với các mẫu dầm có cường độ chịu nén của bê tông  $f'_c \geq 70\text{MPa}$ , đường kính lớn nhất của cốt liệu sẽ được tính theo đề xuất này.
- Phương pháp đơn giản hóa cho mặt cắt dự ứng lực và không dự ứng lực trong dự tính sức kháng cắt như được đề cập ở phần 1 của bài báo, hiện nay trong phiên bản AASHTO LRFD 2020 đã không còn được giới thiệu áp dụng nên việc dự tính sức kháng cắt cho các dầm trong bài báo này chỉ được thực hiện theo phương pháp tổng quát (a) và phương pháp tổng quát (b) để so sánh.

### 3.2. So sánh và đánh giá kết quả

Để thuận tiện cho việc trình bày so sánh, trong phần này sẽ gọi phương pháp tổng quát (a) là phương pháp (a); phương pháp tổng quát (b) là phương pháp (b).

Dựa trên kết quả tính toán được trình bày có thể thấy rằng khi áp dụng các công thức được biên soạn sai cho phương pháp (a), sức kháng cắt dự tính cho các dầm không cốt thép đai được tính ra sẽ nhỏ hơn rất nhiều so với sức kháng cắt của các dầm có được từ thí nghiệm cắt cũng như sức kháng cắt được dự tính theo phương pháp (a) với các công thức đúng hoặc theo phương pháp (b). Điều này có nghĩa là khi tính toán theo công thức sai cho các dầm BTCT không có cốt thép đai hoặc có bố trí một lượng cốt thép đai ít hơn lượng cốt thép đai tối thiểu yêu cầu thì sức kháng cắt tính ra rất nhỏ và do vậy phải bố trí thêm một lượng cốt thép đai cho kết cấu để đảm bảo sức kháng cắt dự tính lớn hơn sức kháng cắt tính toán. Trong khi đó nếu áp dụng các công thức đúng, có thể sức kháng cắt của cấu kiện là đủ và lớn hơn lực cắt tính toán. Như vậy nếu ước tính sức kháng cắt theo công thức có hệ số sai, có thể phải bố trí thêm một lượng cốt thép đai để đảm bảo sức kháng cắt dự tính lớn hơn sức kháng cắt tính toán, và điều này dẫn đến một sự lãng phí trong thiết kế công trình. May mắn là điều này chỉ dẫn đến việc thiết kế dư thừa về khả năng chịu cắt chứ không gây ra sự suy giảm chất lượng hay mất an toàn trong khai thác công trình.

Đối với các dầm có đủ cốt thép đai (Bảng 3), sức kháng cắt dự tính theo công thức sai của phương pháp (a) không sai lệch nhiều so với kết quả dự tính của phương pháp (a) với các công thức đúng cũng như so với phương pháp (b). Điều này bởi vì duy nhất công thức (11) bị sai hệ số được sử dụng trong trình tự dự tính sức kháng cắt cho các dầm có đủ cốt thép đai theo phương pháp (a). Mặc dù sai lệch là không lớn (chỉ trong phạm vi so sánh ở bài báo này, thực tế có thể sai lệch lớn hơn và cần phải có các tính toán cụ thể để đánh giá), nhưng sức kháng cắt dự tính theo công thức sai có xu hướng lớn hơn giá trị dự tính theo công thức đúng. Hệ số sai trong công thức (11) làm giảm giá trị ứng biến  $\varepsilon_s$  dự tính dẫn đến một sự gia tăng trong sức kháng cắt được dự tính. Sự gia tăng sức kháng cắt dự tính theo công thức sai của phương pháp (a) có thể dẫn đến một kết quả dự tính thiếu an toàn hơn về cắt. Tuy nhiên, phần lớn những người tính toán thiết kế cầu lâu năm đã quen với phương pháp tổng quát (b) nên gần như phương pháp tổng quát (b) vẫn được dùng để tính toán và như công cụ tính toán đối chứng trong dự tính sức kháng cắt theo TCVN 11823-2017.

Các kết quả tính toán cũng cho thấy rằng cả hai phương pháp (a) với các công thức đúng và phương pháp (b) có thể dự tính sức kháng cắt khá tốt cho kết cấu BTCT. Điều này được thể hiện bằng giá trị sức kháng cắt ước tính được tính bằng các phương pháp này rất gần với giá trị lực cắt thực nghiệm từ các thí nghiệm về cắt. Trong các kết quả tính toán sức kháng cắt cho các dầm có trường hợp sức kháng cắt tính theo phương pháp (a) là lớn hơn, nhưng cũng có trường hợp tính theo phương pháp (b) là lớn hơn. Nhưng sự chênh lệch giữa các giá trị dự tính từ hai phương pháp là không quá lớn. Do vậy phương pháp (a) với công thức đúng hoàn toàn có thể được sử dụng để dự tính sức kháng cắt cho các cấu kiện BTCT trong thiết kế. Hơn nữa việc áp dụng phương pháp này là đơn giản hơn rất nhiều so với phương pháp (b) như được đề cập ở trên.

#### 4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Bài báo đã trình bày về phương pháp dự tính sức kháng cắt của kết cấu BTCT theo mô hình trường nén cải tiến đơn giản hóa (SMCFT), trong tiêu chuẩn TCVN 11823-2017 được biết đến với tên gọi phương pháp tổng quát (a). Đồng thời qua việc tham khảo các tài liệu liên quan, các sai sót của việc soạn thảo tiêu chuẩn TCVN 11823-2017 cho dự tính sức kháng cắt theo phương pháp này cũng đã được chỉ ra.

Qua kết quả tính toán và đối chiếu với thực nghiệm, có thể thấy rằng việc dự tính sức kháng cắt theo phương pháp tổng quát (a) của TCVN 11823-2017 cho kết quả khá tốt để có thể áp dụng trong tính toán thiết kế các bộ phận kết cấu chịu cắt bằng BTCT của công trình cầu. Khi các công thức đúng của phương pháp được áp dụng, việc dự tính sức kháng cắt bằng phương pháp này là hoàn toàn đủ tin cậy mà không cần phải áp dụng thêm phương pháp tổng quát (b) để đối chứng.

Việc tiếp cận dự tính sức kháng cắt theo phương pháp SMCFT hay phương pháp tổng quát (a) là đơn giản hơn rất nhiều so với phương pháp tổng quát (b) trong thực hành tính toán. Trên cơ sở sự tiện dụng và sự chính xác mà phương pháp này có thể dự tính về cắt, các tác giả kiến nghị một sự cập nhật bổ sung cho các công thức đúng của phương pháp tổng quát (a) nên được thực hiện trong TCVN 11823-2017.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Bộ Khoa học và Công nghệ, Tiêu chuẩn Quốc gia, Tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ TCVN 11823-2017.

- [2]. Bộ Khoa học và Công nghệ, Quyết định số 3859/QĐ-BKHCN, Quyết định về việc công bố tiêu chuẩn quốc gia ngày 29/12/2017.
- [3]. Bộ Giao thông Vận tải, Tiêu chuẩn kỹ thuật Công trình Giao thông Tập VIII, Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN-272-05.
- [4]. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Second Edition 1998, Forth Edition 2007, Fifth Edition 2010, Sixth Edition 2012, Seventh Edition 2014, Eighth Edition 2017 and Ninth Edition 2020.
- [5]. Frank J. Vecchio, Michael P. Collins, The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear, ACI Journal, March-April 1986, pp.219-231.
- [6]. Evan C. Bentz, Frank J. Vecchio, Michael P. Collins, Simplified Modified Compression Field Theory for Calculating Shear Strength of Reinforced Concrete Elements, ACI Structural Journal, July-August 2006, pp.614-624.
- [7]. Richard M. Barker, Jay A. Puckett, Design of Highway Bridges - An LRFD Approach, Third Edition (2013).
- [8]. ACI Committee, Building code requirements for structural concrete and commentary (ACI 318-11), 2011.
- [9]. Hoàng Hà, Nguyễn Đức Thị Thu Định, Hoàng Vũ, Đánh giá khả năng kháng cắt của cầu dầm bê tông cốt thép nhịp giản đơn theo Tiêu chuẩn thiết kế cầu TCVN 11823-2017, Tạp chí Giao thông Vận tải, 3 (2021) 35-39. <https://tapchigiaothong.vn/tap-chi-giao-thong-thang-3-2021-i137.html>
- [10]. E.G. Sherwood, E.C. Bentz, M.P. Collins, Evaluation of shear design methods for large, lightly-reinforced concrete beams, M. Pandey et al. (eds), Advances in Engineering Structures, Mechanics & Construction, 2006 Springer, pp. 153-164.
- [11]. Jung-Yoon Lee, Im-Jun Choi, Sang-Woo Kim, Shear behavior of reinforced concrete beams with high-strength stirrups, ACI Structural Journal, 109 (2012) 586-587.
- [12]. Canadian Standards Association, A23.3-04, Design of concrete structures, December 2004.