

NGHIÊN CỨU SỰ LÀM VIỆC CỦA BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP

Đặng Văn Phú¹

Tóm tắt: Bài báo nghiên cứu những đặc tính cơ học nổi trội của kết cấu bê tông cốt sợi thép so với kết cấu bê tông thông thường trong giai đoạn sau nứt của bê tông bằng việc kết hợp giữa các nghiên cứu có sẵn và làm thí nghiệm uốn ba điểm trên dầm bê tông cốt sợi thép với hai hàm lượng cốt sợi thép khác nhau, mối quan hệ giữa ứng suất kéo uốn và độ mở của miệng vết nứt của vật liệu khi chịu uốn sẽ được nghiên cứu và tạo nền tảng cho những nghiên cứu chuyên sâu hơn sau này. Từ đó, có thể đề xuất việc sử dụng vật liệu này cho các kết cấu tấm, vỏ trong thực tế để tăng cường khả năng chịu lực của kết cấu.

Từ khóa: Bê tông cốt sợi, sợi thép, ứng suất kéo uốn, kết cấu tấm, kết cấu vỏ mỏng.

1. GIỚI THIỆU CHUNG VỀ BÊ TÔNG CỐT SỢI THÉP

Hầu hết các cấu kiện bê tông cho các công trình hiện nay đều phải đối mặt với vấn đề nứt trong quá trình thi công và sử dụng. Có nhiều biện pháp đã và đang được đưa vào áp dụng nhằm giảm thiểu những ảnh hưởng từ vấn đề nứt này như sử dụng chất phụ gia, bê tông ứng suất trước, bê tông cốt thép. Tuy nhiên, những phương pháp này không thể áp dụng hết trong mọi trường hợp, đặc biệt là trong kết cấu bản, tấm vỏ; do đó, việc nghiên cứu sử dụng bê tông cốt sợi thép có thể đáp ứng được nhu cầu này. Mục đích của bài báo là nghiên cứu những đặc tính nổi trội của vật liệu bê tông cốt sợi thép so với kết cấu bê tông thông thường khi áp dụng cho cấu kiện chịu uốn. Từ đó, đưa ra các đề xuất và phương hướng cho các nghiên cứu sau.

Bê tông cốt sợi thép là vật liệu bê tông được chế tạo từ hỗn hợp xi măng, nước, cốt liệu, phụ gia và một hàm lượng sợi thép nhất định. Thông thường hàm lượng sợi thép này rất nhỏ so với thể tích của hỗn hợp (<2% về thể tích) (Armon Bentur and Sidney Mindess, 2007). Trong một số trường hợp có thể kết hợp cả cốt thép và cốt sợi thép để tăng cường lực cho kết cấu.

Những ưu điểm của bê tông cốt sợi thép:

- Nổi vết nứt,
- Tăng độ dẻo cho kết cấu bê tông,
- Cải thiện đặc tính cơ học của vật liệu tại giai đoạn sau nứt,

- Tăng khả năng chịu lực cho cấu kiện.

Ngoài ra có một số nhược điểm sau:

- Giá thành có thể cao hơn,
- Giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông.

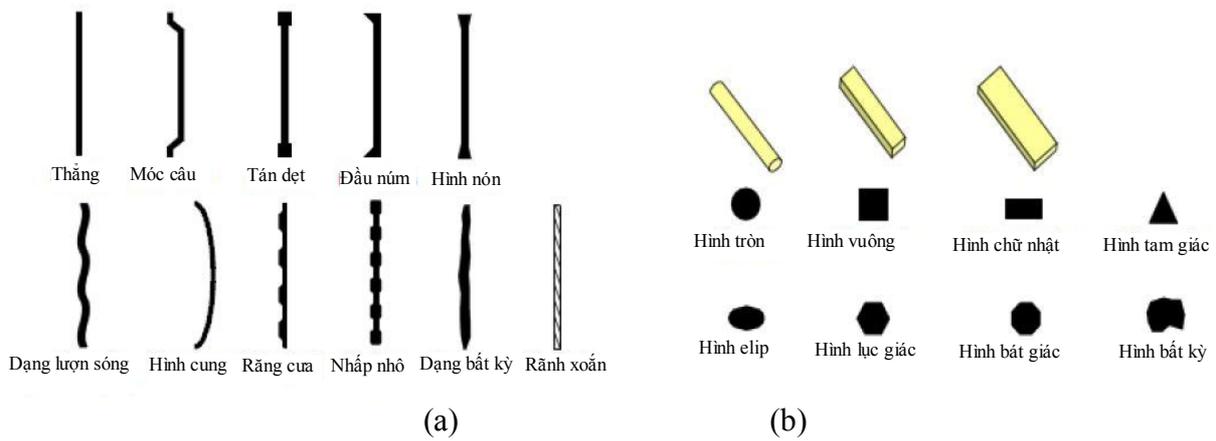
Những nhân tố chính ảnh hưởng đến đặc tính cơ học của vật liệu bê tông cốt sợi nói chung là:

- Đặc tính của bê tông.
- Loại cốt sợi, hình dạng, kích thước, sự phân bố và hướng phân bố của cốt sợi trong hỗn hợp,
- Sự tương tác giữa bê tông và cốt sợi.

Trong đó, hai nhân tố sau có tầm quan trọng trong việc quyết định đến đặc tính cơ học của bê tông cốt sợi thép.

Về hình dạng thì cốt sợi thép có thể thẳng hoặc cong, có móc câu hoặc được tán to ở hai đầu, bề ngoài có thể trơn hoặc có sần sùi, có rãnh. Về mặt cắt ngang có nhiều loại như mặt cắt ngang hình tròn, hình chữ nhật, hình vuông hoặc các hình đa giác khác (Hình 1). Việc sử dụng cốt sợi có hình dạng ngoài sần sùi và có móc câu sẽ làm tăng độ liên kết giữa cốt sợi và bê tông, từ đó làm tăng khả năng chịu lực của kết cấu.

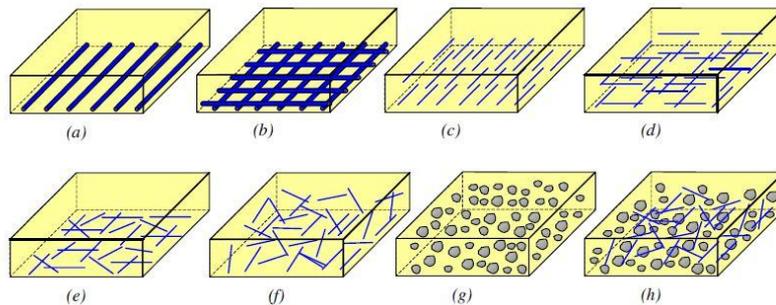
¹ Bộ môn Kỹ thuật công trình, Cơ sở 2- Đại học Thủy lợi



Hình 1. (a) Một số hình dạng ngoài của cốt sợi; (b) Một số mặt cắt ngang của cốt sợi

Hình 2 thể hiện sự phân bố và hướng phân bố của cốt sợi trong hỗn hợp bê tông. Sự phân bố có thể là thẳng hàng, lưới hoặc ngẫu nhiên; với hướng nằm có thể nằm ngang, nằm chéo

trong hỗn hợp. Tất cả yếu tố này quyết định đến khả năng nối vết nứt của kết cấu, từ đó quyết định đến khả năng chịu lực trong giai đoạn sau nứt.



Hình 2: Sự phân bố và hướng phân bố của cốt sợi trong hỗn hợp bê tông (Ingemar Löfgren, 2005)

Yếu tố cuối cùng là sự tương tác giữa cốt sợi và bê tông, nếu như sự tương tác này tốt sẽ giúp kết cấu tăng được độ bền. Sự tương tác này

được thể hiện qua liên kết giữa cốt sợi và bê tông. Nếu như liên kết này càng tốt thì độ bền của kết cấu càng cao (Hình 3).



Hình 3. Hình ảnh về sự làm việc của dầm bê tông khi bị nứt trong hai trường hợp
(a) Dầm bê tông; (b) Dầm bê tông cốt sợi thép.

2. THÍ NGHIỆM UỐN BA ĐIỂM

Để nghiên cứu đặc trưng cơ học của vật liệu bê tông cốt sợi thép, một số thí nghiệm có thể được

thực hiện như thí nghiệm nén đúng tâm, kéo đúng tâm, kéo trượt và thí nghiệm uốn. Trong đó đường cong quan hệ của vật liệu khi chịu kéo-nén là

những đặc trưng cơ học quan trọng của vật liệu.

Tuy nhiên, để thực hiện thí nghiệm kéo đúng tâm của mẫu thí nghiệm làm bằng bê tông cốt sợi thép rất phức tạp và đòi hỏi độ chính xác rất cao.

Để dễ dàng cho việc nghiên cứu sâu hơn về những đặc tính của bê tông cốt sợi thép, bài báo đã thực hiện thí nghiệm uốn ba điểm với dầm bê tông cốt sợi thép để thu được đặc trưng

cơ học của vật liệu khi chịu uốn.

Việc thực hiện thí nghiệm được thực hiện theo tiêu chuẩn châu Âu EN: 14651,2005 và hướng dẫn thiết kế kết cấu bê tông cốt sợi thép (SFRC Consortium, 2014).

a) Vật liệu thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện trên các dầm bê tông cốt sợi thép có số liệu như trong Bảng 1.

Bảng 1. Dữ kiện về dầm bê tông cốt sợi thép làm thí nghiệm uốn 3 điểm

STT	Tên dầm bê tông cốt sợi thép	Hàm lượng cốt sợi thép được dùng [kg/m ³] – [%]	Kích thước dầm [mm]	Số lượng dầm
1	SFRC-0.19%	15 – (0.19%)	15x15x600	5
2	SFRC-0.32%	25 – (0.32%)	15x15x600	5

Theo Arnon Bentur and Sidney Mindess, 2007, khi hàm lượng cốt sợi thép quá nhỏ ($\leq 0.1\%$) thì sự khác biệt sẽ không quá lớn của bê tông cốt sợi thép so với bê tông thường. Do đó tác giả chọn 0.19% ($\sim 0.2\%$) tương ứng với 15kg/m³ và 0.32% ($\sim 0.3\%$) tương ứng với 25kg/m³. Trong quá trình trộn, việc đo tỉ lệ thể tích sẽ phức tạp do đó tác giả lựa chọn khối lượng cốt sợi như trên để dễ dàng hơn trong việc tính toán tỉ lệ giữa các vật liệu.

Từ điều kiện về công tác trộn bê tông, thì Johnston, 1974 đã chỉ ra rằng kích thước lớn

nhất của cốt liệu không được quá một nửa chiều dài của cốt sợi. Về cốt liệu được dùng để đổ bê tông có kích thước lớn nhất là 32mm(EN: 14651, 2005), theo SFRC Consortium, 2014, thì chiều dài cốt sợi thép ít nhất là phải bằng 1.5 lần chiều dài lớn nhất của cốt liệu để đảm bảo sự làm việc của cốt sợi thép trong bê tông cũng như việc trộn bê tông cốt sợi thép. Vậy trong trường hợp này, tác giả lựa chọn kích thước lớn nhất của cốt liệu là 20mm và chiều dài của cốt sợi thép là 35mm. Kích thước cốt sợi thép được dùng được thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Đặc điểm cốt sợi thép được dùng trong thí nghiệm uốn ba điểm

Loại sợi thép	Móc câu	Chiều dài l [mm]	35
Cường độ chịu kéo [MPa]	1100	Đường kính d [mm]	0.55
Môđun đàn hồi của thép [MPa]	210000	Tỉ lệ chiều dài/đường kính (l/d)	64
Hình dạng mặt cắt ngang	Hình tròn	Trọng lượng riêng của sợi thép [Kg/m ³]	7850

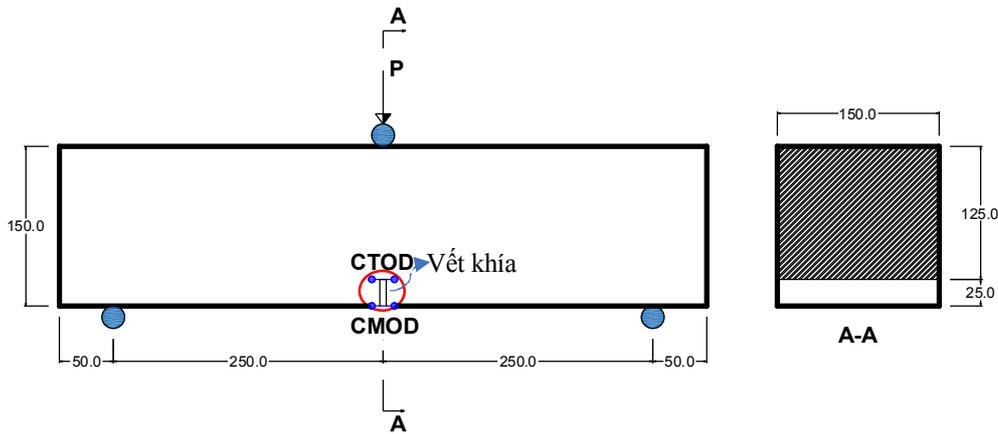
b) Tiến hành thí nghiệm

Để đảm bảo sự phân bố đồng đều của cốt sợi thép trong dầm bê tông, dầm dùi được sử dụng trong quá trình đổ hỗn hợp bê tông cốt sợi thép vào khuôn và sử dụng máy rung để làm chặt đều cho mọi dầm, từ đó hỗn hợp được phân bố đều trong toàn bộ vị trí của dầm.

Dầm phải được bảo quản trong điều kiện tiêu chuẩn về độ ẩm và nhiệt độ sau 28 ngày trước khi được đưa ra làm thí nghiệm (TCVN 8828:2011).

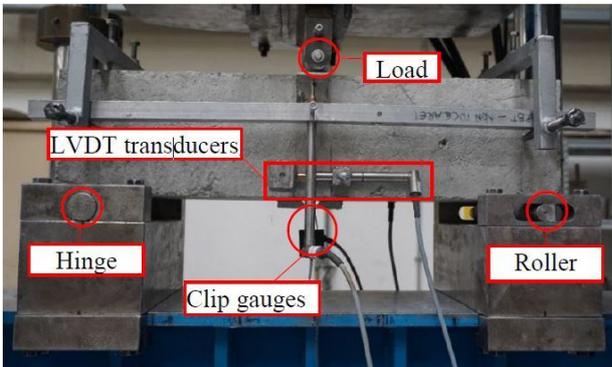
Để tiến hành thí nghiệm, một vết khía có bề rộng 2mm và độ sâu 25mm được tạo ra tại chính giữa dầm để cố định vị trí bắt đầu phát triển của vết nứt như Hình 4.

Thí nghiệm được thực hiện bằng máy uốn thủy lực tạo ra một lực tập trung tác dụng vào mặt trên của dầm tại chính giữa nhịp. Dầm bê tông cốt sợi thép được đặt trên hai gối tựa, và có các thiết bị đo biến dạng, chuyển vị được lắp đặt như Hình 4, Hình 5.



Hình 4. Kích thước và hình dạng của dầm bê tông cốt sợi thép, vị trí vết khía và vị trí đo CMOD và CTOD trong thí nghiệm uốn ba điểm (kích thước là mm).

Trong quá trình thí nghiệm, lực tác dụng được điều khiển thông qua tốc độ mở của miệng vết khía (CMOD) cho đến khi CMOD đạt giá trị là 5mm, sau đó được điều khiển thông qua tốc độ mở của rãnh vết khía (CTOD) với tốc độ là 1mm/phút cho đến khi CTOD đạt giá trị là 9mm, quá trình tác dụng lực trong thí nghiệm như trong Bảng 3.



Hình 5. Lắp đặt thí nghiệm uốn ba điểm tại phòng thí nghiệm

Bảng 3. Quá trình tác dụng lực trong thí nghiệm

Kiểm soát theo CMOD	
CMOD (mm)	Tốc độ (mm/phút)
0 ÷ 0.1	0.05
0.1 ÷ 2.0	0.2
2.0 ÷ 5.0	0.3
Kiểm soát theo CTOD	
CTOD (mm)	Tốc độ (mm/phút)
5.0 ÷ 9.0	1.0

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ NHẬN XÉT

Kết quả thí nghiệm được ghi lại bằng máy tính có kết nối đến các thiết bị đo biến dạng được lắp trên dầm, sau đó dữ liệu về lực tác dụng F, CMOD, CTOD và độ võng tại mặt cắt giữa dầm được lưu lại. Để dễ dàng hơn trong việc phân tích và sử dụng cho mục đích nghiên cứu sau này, đường đặc trưng cơ học của vật liệu được biến đổi thành mối quan hệ giữa ứng suất kéo uốn σ_N (flexural tensile stress) với độ mở của miệng vết khía CMOD.

Một trong những kết quả thu được là giới hạn tỉ lệ $f_{ct,L}^f$ - là giá trị ứng suất mà từ điểm đó vật liệu không còn tuân theo định luật Hooke, được đề xuất là giá trị ứng suất lớn nhất trong khoảng $CMOD \leq 0.05mm$, Hình 6, (EN:14651, 2005). Ngoài ra còn có giá trị ứng suất kéo uốn dư sau nứt f_{rj} ứng với giá trị $CMOD = 0.5; 1.5; 2.5$ và 3.5 theo tiêu chuẩn EN: 14651 - 2005 do sự làm việc của cốt sợi.

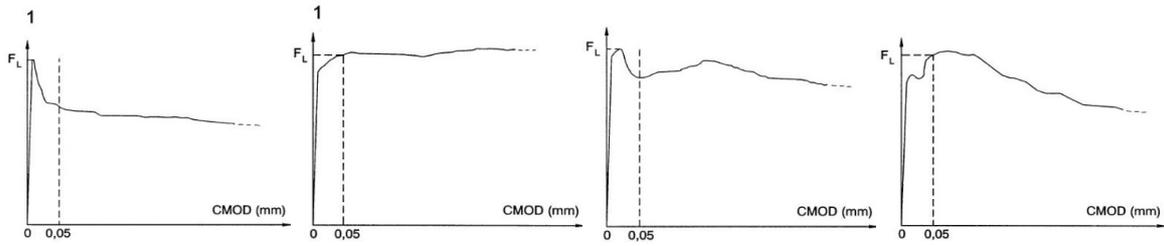
- Giới hạn tỉ lệ được tính bằng công thức sau:

$$f_{ct,L}^f = \frac{3F_L}{2bh_{sp}^2}$$

Trong đó: F_L là giá trị lực tương ứng với giới hạn tỉ lệ và được lấy như Hình 6.

b là bề rộng của mặt cắt ngang của dầm.

h_{sp} là chiều cao mặt cắt ngang tính từ rãnh vết khía.

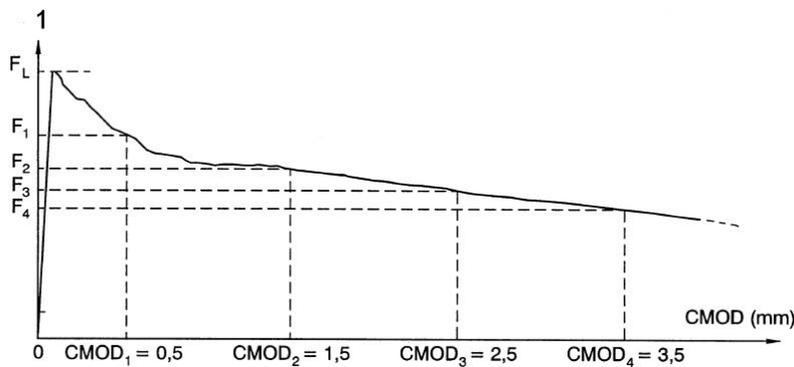


Hình 6. Phạm vi xác định giá trị giới hạn tỉ lệ F_L (EN:14651, 2005)

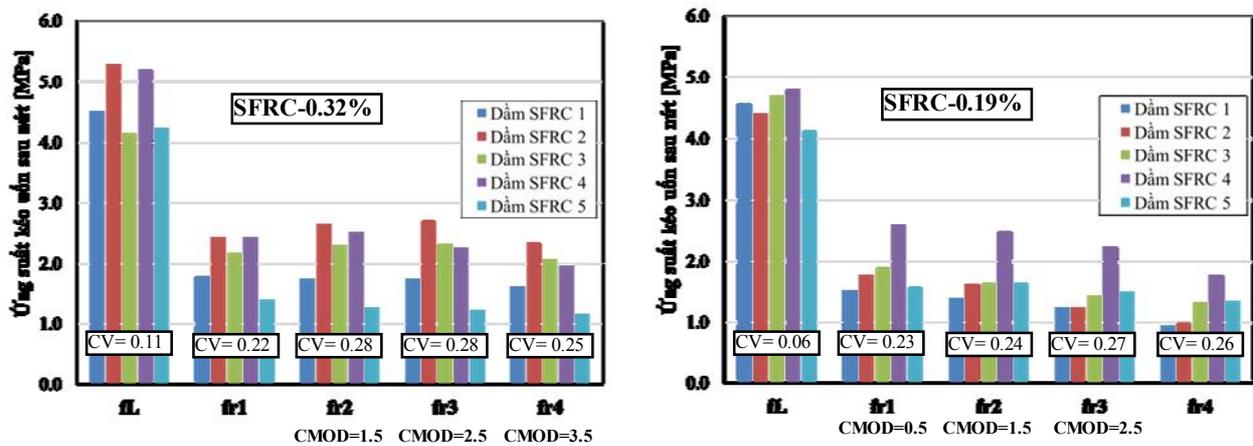
- Giá trị ứng suất kéo uốn dư sau nứt:

$$f_{rj} = \frac{3F_j}{2bh_{sp}^2}$$

Trong đó: F_j ($j = 1, 2, 3, 4$) là giá trị lực tác dụng tương ứng với giá trị của độ mở của miệng vết nứt $CMOD_j = 0.5; 1.5; 2.5$ và 3.5 mm được lấy như Hình 7.



Hình 7. Cách xác định F_j (EN:14651, 2005)



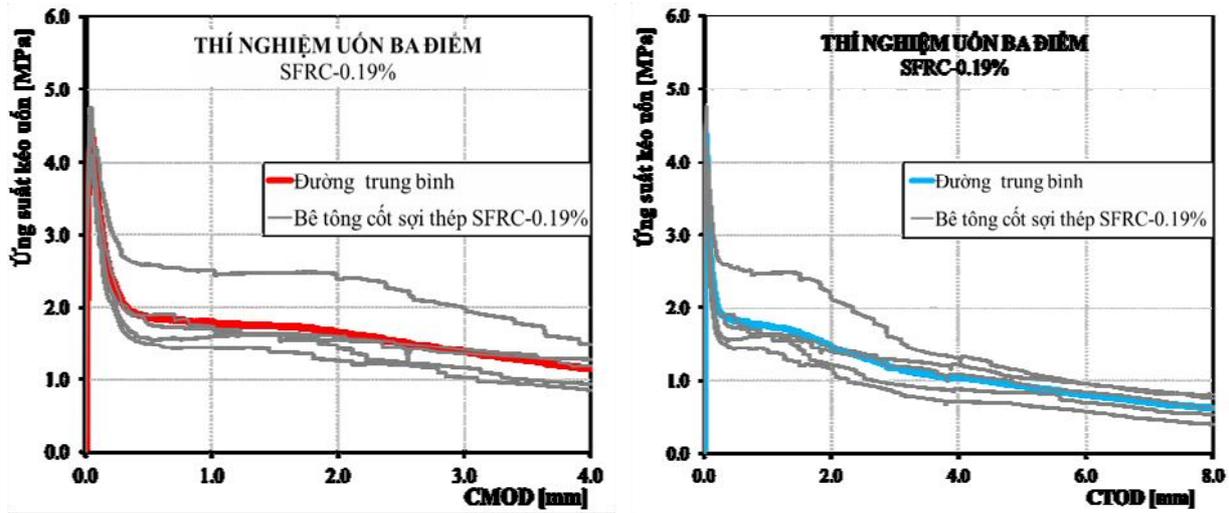
Hình 8. Giới hạn tỉ lệ, ứng suất kéo uốn dư sau nứt và độ lệch chuẩn của thí nghiệm

Từ Hình 8 có thể thấy rằng giá trị ứng suất sau nứt f_{rj} ($j=1, 2, 3, 4$) tương ứng với giá trị của $CMOD = 0.5; 1.5; 2.5; 3.5$ mm cũng như giá trị ứng suất tới hạn của vật liệu f_L – là trị số ứng suất lớn nhất trong khoảng $CMOD = 0.05$, tất cả các giá trị này được gọi ý theo tiêu chuẩn EN:

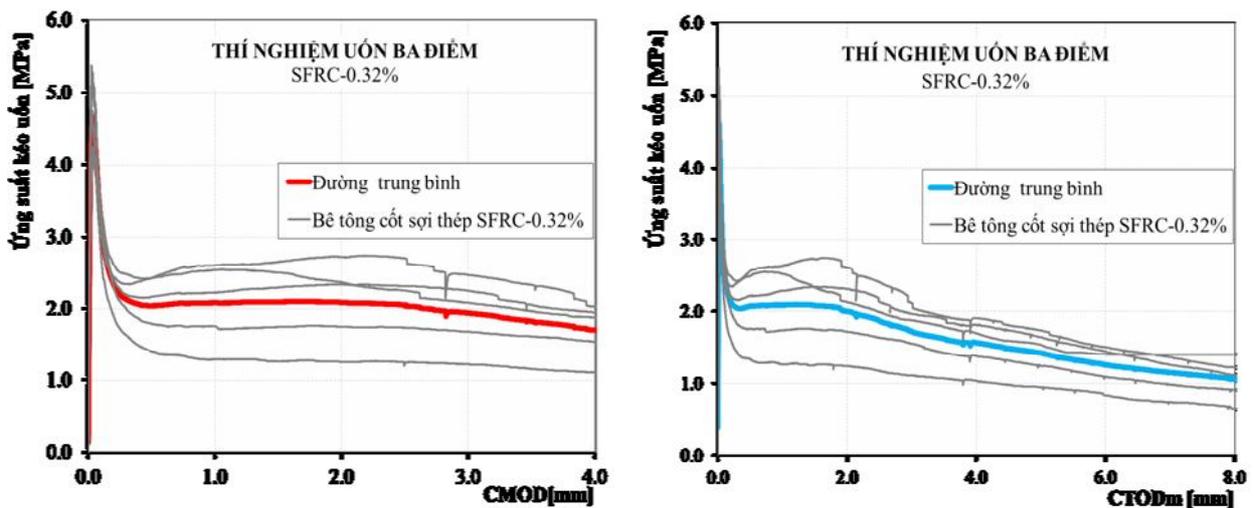
14651, 2005. Để đánh giá mức độ biến thiên của ứng suất cho 5 dầm bê tông cốt sợi với mỗi hàm lượng cốt sợi thép khác nhau, hệ số lệch chuẩn CV được tính toán như trên Hình 8, có thể thấy rằng hệ số lệch chuẩn khá giống nhau. Điều này có thể chứng minh rằng với kỹ thuật trộn bê

tông giống nhau thì sự phân bố của cốt sợi là có sự biến thiên giống nhau giữa các mẻ trộn khác

nhau và được thể hiện qua hệ số lệch chuẩn CV là khá gần nhau.



Hình 9. Đường quan hệ ứng suất kéo uốn-CMOD và ứng suất kéo uốn-CTOD của dầm bê tông cốt sợi thép với hàm lượng cốt sợi thép là 0.19%



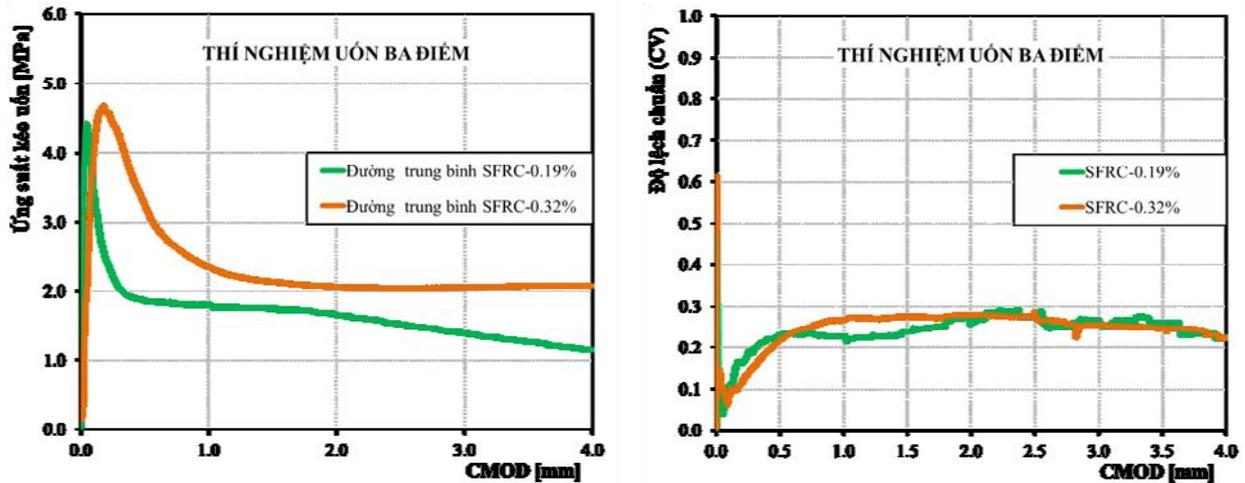
Hình 10. Đường quan hệ ứng suất kéo uốn-CMOD và ứng suất kéo uốn-CTOD của dầm bê tông cốt sợi thép với hàm lượng cốt sợi thép là 0.32%

Ngoài ra, việc vẽ đường cong đặc trưng cơ học của vật liệu khi chịu uốn cũng là một trong những công tác quan trọng để có cái nhìn tổng quát hơn về khả năng chịu lực của bê tông cốt sợi thép trong gian đoạn sau nứt. Từ nghiên cứu lý thuyết cũng như các nghiên cứu trước đó thì bê tông thường sau khi đạt giới hạn ứng suất, thì đường cong đi xuống và ngay lập tức không thể tác dụng thêm lực được nữa (Hình 9 và Hình

10). Tuy nhiên, với dầm bê tông cốt sợi thép, đường cong vẫn tiếp tục kéo dài và vẫn có thể tác dụng lực cho đến khi dầm bị nứt gãy hoàn toàn. Điều này có thể được giải thích là với dầm bê tông thường, khi đạt cường độ giới hạn về ứng suất, nếu tiếp tục tăng lực tác dụng thì vết nứt bắt đầu hình thành ngay tại rãnh của vết khía, lúc này phần diện tích mặt cắt ngang bị thu hẹp lại do tại vị trí nứt không có khả năng chịu

lực nên dầm ngay lập tức ngừng làm việc tại vết nứt. Trong khi đó, với dầm bê tông cốt sợi thép, ngay vị trí nứt vẫn có sự làm việc của các cốt

sợi thép và có khả năng truyền lực từ bên này qua bên kia, làm tăng khả năng chịu lực của dầm ngay tại vị trí vết nứt.



Hình 11. So sánh đặc tính cơ học của dầm bê tông cốt sợi thép giữa hai hàm lượng khác nhau: SFRC-0.19% và SFRC-0.32% và độ lệch chuẩn của thí nghiệm

Từ Hình 11 có thể thấy hàm lượng cốt sợi thép được trộn cũng làm tăng cường độ ứng suất kéo uốn của vật liệu, với độ tăng hàm lượng thép là 67% (15kg/m^3 lên 25kg/m^3) thì cường độ ứng suất kéo uốn của vật liệu tăng 4% (4.52MPa lên 4.68MPa). Từ điều này có thể kết luận việc tăng hàm lượng cốt sợi thép không làm ảnh hưởng nhiều đến cường độ ứng suất kéo uốn của vật liệu.

Khi xét đến sự biến thiên của kết quả thí nghiệm (Hình 11), độ lệch chuẩn của SFRC-0.32% và SFRC-0.19% gần như giống nhau cho toàn bộ kết quả thí nghiệm trong suốt giá trị của CMOD và giá trị độ lệch khá nhỏ, nằm trong khoảng $CV=(0.2\div 0.3)$. Điều này một lần nữa khẳng định sự phân bố của cốt sợi thép trong quá trình trộn bê tông là có sự tương đồng giữa các mẻ trộn và các dầm làm thí nghiệm khi dùng đầm dùi trong quá trình đổ hỗn hợp bê tông cốt sợi thép vào khuôn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- TCVN 8828, 2011, “Bê tông – Yêu cầu bảo dưỡng ẩm tự nhiên”, Hà Nội.
 ACI Committee 544, 1996, “State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete”, ACI 544.1R-96, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
 Arnon Bentur and Sidney Mindess, 2007, “Fiber reinforced cementitious Composites”, Second edition, Taylor and Francis, London and New York.

4. KẾT LUẬN

Qua thí nghiệm có thể thấy rằng bê tông cốt sợi thép có nhiều đặc tính nổi trội hơn so với bê tông thông thường, đặc biệt là trong giai đoạn sau nứt bê tông. Lúc này, nhờ sự hiện diện của cốt sợi thép, bê tông vẫn có khả năng làm việc tại vị trí vết nứt, nếu như tại vị trí đó có cốt sợi thép nổi vết nứt lại. Với những kết cấu tấm vỏ mỏng, do khó có thể bố trí được cốt thép chịu lực theo đúng tiêu chuẩn, nên việc củng cố sợi thép sẽ là lựa chọn khá tốt để tăng cường khả năng chịu lực của kết cấu.

Ngoài ra, việc tăng hàm lượng cốt sợi thép không có nghĩa là cường độ ứng suất kéo uốn của vật liệu sẽ được tăng cường.

Khi dùng kỹ thuật trộn bê tông giống nhau thì sự phân bố của cốt sợi thép là giống nhau cho các mẻ trộn với độ lệch chuẩn nhỏ và giống nhau.

- C.D.Johnston, 1974, “*Steel fiber reinforced mortar and concrete*”, A review of mechanical properties. In fiber reinforced concrete ACI – SP 44 – Detroit.
- Colin D.Johnson, 2010, “*Fiber-Reinforced cement and concrete*”, Volume 3, Taylor & Francis, London and New York.
- EN:14651, 2005, “*Test method for metallic fibered concrete - Measuring the flexural tensile strength*” (limit of proportionality (LOP), residual).
- Hannant, D.J., 1978, “*Fiber Cements and Fibre Concretes*”, Wiley.
- Ingemar Löfgren, 2005, “*Fiber-reinforced Concrete for Industrial Construction*”, Doctoral thesis, Chalmers University of Technology, Sweden.
- SFRC Consortium, 2014, “*Design guideline for structural applications of steel fiber reinforced concrete*”.

Abstract:

STUDY ON THE BEHAVIORS OF STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE

This article studies prominent mechanical behaviors of steel fiber reinforced concrete (SFRC) with respect to plain concrete structure at the post-cracking phase by studying the existing researches and doing the three points bending tests on SFRC-beam with two different fiber volume fractions, the flexural tensile stress- crack mouth opening displacement (CMOD) relations of SFRC will be deeply studied and be a foundation for further researches in the future. Finally, from these studies, new material could be introduced for using in slabs and shells structures for improving the load carrying capacity of these types of structures.

Keywords: Fiber reinforced concrete, Steel fiber, Flexural tensile stress, Shell structure, Slab structure.

Ngày nhận bài: 14/11/2018

Ngày chấp nhận đăng: 28/12/2018