

Ảnh hưởng của độ cứng của sợi thép phân tán đến cường độ nén của bê tông

Effect of Stiffness of Dispersed Steel Wire on Compressive Strength of Concrete

ThS. Cao Quốc Khánh^{1,*} và ThS. Nguyễn Văn Độ²

¹ Khoa Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây;

² Ban Quản lý dự án và Phát triển quỹ đất huyện Cai Lậy, tỉnh Tiền Giang;

*Tác giả liên hệ: caoquockhanh@mtu.edu.vn

■Nhận bài: 29/07/2024 ■Sửa bài: 06/10/2024 ■Duyệt đăng: 01/11/2024

TÓM TẮT

Nghiên cứu trong bài báo này tập trung đánh giá sự ảnh hưởng của độ cứng sợi thép tới cường độ chịu nén của bê tông. Thông qua các thực nghiệm, nhóm nghiên cứu đã phát hiện ra rằng việc bổ sung sợi thép vào bê tông có thể cải thiện đáng kể cường độ chịu nén của nó, với điều kiện độ cứng sợi thép được kiểm soát hợp lý. Cụ thể, thí nghiệm cho thấy khi trộn sợi thép với độ cứng từ gấp 150 lần độ cứng bê tông thì cường độ chịu nén của bê tông tăng lên đáng kể so với bê tông không có sợi thép. Tuy nhiên, khi độ cứng sợi thép nhỏ giá trị này thì cường độ chịu nén của bê tông bắt đầu bị ảnh hưởng tiêu cực, dẫn đến việc giảm cường độ chịu nén một cách đáng kể. Tỷ lệ cường độ chịu nén của bê tông giảm đi cũng tương đồng với tỷ lệ độ cứng sợi thép bị giảm đi. Từ những kết quả thu được, nghiên cứu đề xuất rằng việc sử dụng sợi thép trong bê tông là một phương pháp khả thi để cải thiện cường độ chịu nén, nhưng cần được điều chỉnh cẩn thận về hàm lượng và chiều dài để đảm bảo độ cứng của sợi nhằm tránh ảnh hưởng tiêu cực đến tính cường độ chịu nén của bê tông.

Từ khóa: bê tông, cường độ chịu nén, độ cứng, sợi thép, thí nghiệm.

ABSTRACT

The research in this paper focuses on evaluating the impact of steel fiber stiffness on the compressive strength of concrete. Through experiments, the research team discovered that adding steel fibers to concrete can significantly improve its compressive strength, provided that the fiber stiffness is properly controlled. Specifically, the experiments showed that mixing steel fibers with a stiffness 150 times that of the concrete resulted in a significant increase in compressive strength compared to concrete without steel fibers. However, when the steel fiber stiffness was below this value, the compressive strength of the concrete began to be negatively affected, leading to a substantial decrease in compressive strength. The rate of decrease in concrete compressive strength corresponded with the reduction in steel fiber stiffness. Based on these findings, the study suggests that using steel fibers in concrete is a viable method to enhance compressive strength, but it requires careful adjustment of the fiber content and length to ensure appropriate stiffness and avoid negative impacts on the concrete's compressive strength.

Keywords: concrete, compressive strength, stiffness, steel fibers, experiments.

1. GIỚI THIỆU

Có rất nhiều yếu tố có thể dẫn đến các vết nứt trong kết cấu bê tông như cường độ kéo - nén kém của bê tông, độ co ngót, từ biến hoặc

các tải trọng động phức tạp khiến vật liệu bị nứt. Hơn nữa, bê tông làm theo cách truyền thống không đủ bền. Gần đây đã có nhiều cuộc nghiên cứu nhằm tìm ra giải pháp cho vấn đề này, nhiều cách tiếp cận khác nhau,

như dự ứng lực cho cốt thép, sử dụng các chất phụ gia chống co ngót hoặc đặt các loại cốt liệu đặc biệt vào các khu vực nhất định.... Nghiên cứu này hướng đến cách tiếp cận liên quan đến việc gia cố bê tông bằng sợi, đặc biệt là sợi thép.

Việc gia cố có thể được thực hiện bằng nhiều loại sợi khác nhau, bao gồm sợi thép, sợi carbon, sợi thủy tinh, sợi nhựa, sợi thực vật và các loại sợi khác. Tuy nhiên, sợi thép là một lựa chọn thiết thực hơn sợi carbon và sợi thủy tinh do giá thành thấp hơn và khả năng chịu lực cao hơn so với sợi nhựa và sợi thực vật. Một trong những loại sợi thép được sử dụng rất phổ biến và quan trọng trong xây dựng là sợi kẽm buộc – là một biến thể của thép cacbon, được chế tạo đặc biệt để đáp ứng nhu cầu đa dạng của các dự án xây dựng và cuộc sống hiện nay.

Năm 2019 đã có nhiều nghiên cứu thực nghiệm về đầm bê tông cốt thép đã được tiến hành và các kết quả sau đó đã được xác minh thông qua việc sử dụng mô hình số của phần mềm ANSYS. Các nghiên cứu này khảo sát ảnh hưởng của việc thay đổi số lượng sợi thép Dramix trong bê tông, đường kính và số lượng thanh thép, khoảng cách giữa các cốt đai, v.v. Kết quả của nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng số của ANSYS đều thống nhất với nhau. Các nghiên cứu chứng minh tính hiệu quả của các thanh thép Dramix gia cường, bê tông được tăng cường, ít bị nứt hơn và được cải thiện theo nhiều cách khác nhau [1–7]. Các nghiên cứu tiếp theo về mái vòm cong với các lớp bê tông kép đã chứng minh được tác dụng gia cường và giảm thiểu các vết nứt của bề mặt mái vòm. Nghiên cứu này đã đưa ra giải pháp để sửa chữa bề mặt bê tông bị nứt bằng cách thêm vào một lớp bê tông sợi thép [8–10].

Torres JA và Lantsoght EOL đã thực hiện thực nghiệm nhằm xem xét hàm lượng sợi ảnh hưởng như thế nào đến cường độ uốn của đầm bê tông cốt sợi thép không có đai. Kết quả nghiên cứu này đã chỉ ra rằng sợi thép có thể chống cắt trong các tấm và đầm được gia cố chắc chắn mà không cần đai giúp nối liền cho các vết nứt cắt, tăng khả năng chống cắt và

ngăn ngừa sự phá hủy giòn. Hơn nữa nghiên cứu còn đề xuất bổ sung các quy định về bê tông cốt sợi thép vào ACI 318-14, Eurocode 2 để tăng cường sử dụng trong ngành xây dựng [11].

Dựa trên các kết quả nghiên cứu trên đã minh chứng tính hữu hiệu của sợi thép trong việc tăng cường khả năng chịu lực và giảm thiểu vết nứt của bê tông. Tuy nhiên các nghiên cứu trên chưa đưa ra các yếu tố cần thiết để lựa chọn hình dạng kích thước của sợi thép được đưa vào kết cấu. Một trong các yếu tố đặc biệt cần xem xét là độ cứng của sợi thép khi đưa vào bê tông. Do đó, nghiên cứu này sẽ xem xét ba loại sợi với độ cứng khác nhau nhằm xem xét ảnh hưởng của độ cứng sợi kẽm ở dạng thanh chịu kéo nén dọc trục đến cường độ chịu nén của bê tông. Nghiên cứu này thay thế sợi thép Dramix bằng dây thép 1mm lần lượt có chiều dài là 30mm, 40mm và 50mm với hàm lượng là 2%.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nhóm sẽ tiến hành đúc các mẫu bê tông lập phương có kích thước 15x15x15 cm để so sánh cường độ chịu nén của bê tông không có và có sợi kẽm phân tán. Toàn bộ các mẫu bê tông được thực hiện sử dụng cấp phối theo Bảng 2 với mác bê tông là 250. Các mẫu dùng sau khi đúc đều được bảo dưỡng trong 28 ngày từ lúc đúc đến ngày thử nghiệm mẫu

2.1. Độ cứng của sợi kẽm:

Độ cứng có thể chỉ mức độ chịu đựng của vật liệu rắn đối với lực tác dụng vào. Đối với một vật thể đàn hồi thì ngoài mô đun đàn hồi ra độ cứng còn phụ thuộc vào các kích thước vật lý cũng như hình dáng của vật liệu đó. Cụ thể đối với một phần tử dạng thanh tiết diện tròn độ cứng có thể được xác định như sau:

$$k = \frac{EA}{L} = \frac{E\pi D^2}{4L}$$

trong đó: E là mô đun đàn hồi của vật liệu (đơn vị: N/mm²); A là diện tích mặt cắt ngang (đơn vị: mm²); L là chiều dài của vật liệu (đơn vị: mm).

Với chiều dài L lần lượt là 30mm, 40mm và 50mm; đường kính sợi kẽm D = 1mm và

mô đun đàn hồi thép lấy $E = 21.10^4 \text{ N/mm}^2$ thì tỷ lệ độ cứng của sợi kẽm giảm đi khi tăng chiều dài như bảng bên dưới:

Bảng 1: Độ cứng sợi kẽm

Chiều dài sợi kẽm	Độ cứng (N/mm)	Tỷ lệ giảm (%)
30 mm	5497 (EA/30)	100
40 mm	4123 (EA/40)	75
50 mm	3298 (EA/50)	60

2.2. Thành phần nguyên vật liệu:

Bê tông được dùng thực hiện đúc mẫu là bê tông thông thường là một hỗn hợp gồm: cát, đá, xi măng và nước. Hỗn hợp này được trộn theo cấp phối được thiết kế với mác bê tông là 250 được thể hiện trong Hình 1 và Bảng 2 bên dưới:



a) Xi măng



b) Cát



c) Đá

Hình 1. Thành phần cốt liệu đúc mẫu lập phương

Bảng 2: Thành phần cấp phối trong 20 lít bê tông

Nguyên liệu	Khối lượng (kg)
Nước	3,86
Xi măng	8,18
Đá	26,38
Cát	8,03

Sợi kẽm sử dụng được thể hiện trong Hình 2 và Bảng 3 bên dưới:



a) Sợi kẽm 1 ly



b) 30mm



c) 40mm



d) 50mm

Hình 2. Sợi kẽm

Bảng 3: Độ bền của sợi kẽm

Đường kính	Độ bền
1 mm	300-400 N/mm ²

Các thiết bị sử dụng đúc mẫu và đo lường nguyên liệu.

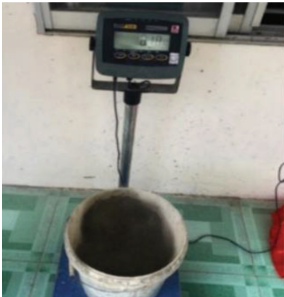


a) Cát



b) Đá

Hình 3. Tiến hành cân cát và đá



a) Xi măng



b) Kẽm

Hình 4. Tiến hành cân xi măng và kẽm



a) Dụng cụ lấy mẫu



b) Dụng cụ đo độ sụt c) Máy trộn bê tông

Hình 5. Các thiết bị hỗ trợ đúc mẫu bê tông

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả nghiên cứu

Tính chất của quá trình trộn bê tông là rất quan trọng và tạo điều kiện thuận lợi trong các công tác liên quan trong quá trình sử dụng bê tông. Bê tông cốt sợi khó trộn lẫn và khó đổ hơn bê tông thông thường. Tuy nhiên các phương pháp vẫn phải đảm bảo tính chất của bê tông cốt sợi thép. Sự sai lầm có thể dẫn đến kết quả là phá hoại thành phần bê tông và như vậy sẽ gây mất cường độ và tính dẻo của bê tông.

Quá trình đúc các tổ mẫu bê tông, bảo dưỡng và tiến hành đo cường độ chịu nén được thể hiện qua Hình 6,7 và 8 bên dưới:



a) Làm phẳng bề mặt b) Dán thông tin mẫu

Hình 6. Quá trình đúc mẫu bê tông



Hình 7. Quá trình bảo dưỡng bê tông

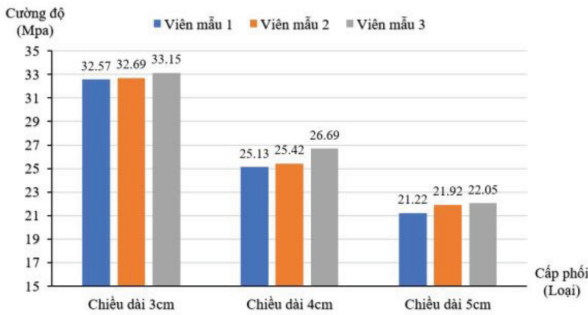


Hình 8. Kết quả kiểm tra cường độ mẫu

Kết quả kiểm tra cường độ chịu nén của bê tông được thể hiện qua Bảng 4 và Hình 9 bên dưới:

Bảng 4: Cường độ chịu nén của bê tông

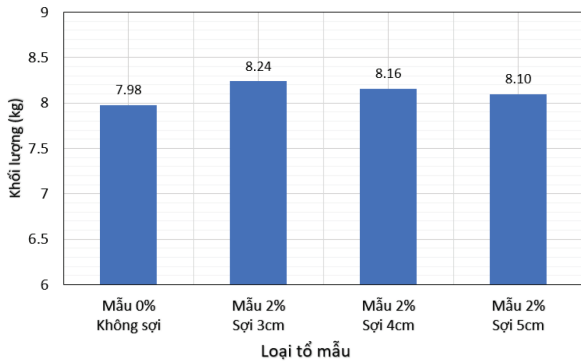
TT	Tên mẫu	Cường độ chịu nén (Mpa)	Giá trị trung bình (Mpa)
1	Sợi kẽm 0%		27,83
	Mẫu 1	27,13	
	Mẫu 2	27,84	
	Mẫu 3	28,52	
2	Sợi kẽm 2%, 3 cm		32,80
	Mẫu 1	32,57	
	Mẫu 2	32,69	
	Mẫu 3	33,15	
3	Sợi kẽm 2%, 4 cm		26,08
	Mẫu 1	25,13	
	Mẫu 2	25,42	
	Mẫu 3	26,69	
4	Sợi kẽm 2%, 5 cm		21,73
	Mẫu 1	21,22	
	Mẫu 2	21,92	
	Mẫu 3	22,05	



Hình 9. Cường độ chịu nén của mẫu bê tông

Kết quả cho thấy sự giảm mạnh cường độ chịu nén của mẫu bê tông khi chiều dài sợi kẽm được tăng lên.

Trọng lượng trung bình của các tổ mẫu trước khi thí nghiệm đo cường độ chịu nén được thể hiện như Hình 10 bên dưới:



Hình 10. Trọng lượng trung bình của mẫu bê tông

Trọng lượng của các mẫu bê tông có sự chênh lệch không đáng kể. Tỷ lệ chênh lệch giữa mẫu nhẹ nhất và nặng nhất chỉ là 3,15%.

3.2. Thảo luận

Ta có thể dễ dàng nhận thấy rằng cường độ nén của bê tông được cải thiện đáng kể với hàm lượng sợi là 2% và chiều dài 30 mm. Tuy nhiên khi chiều dài sợi kẽm tăng lên 40 mm thì cường độ bê tông thay đổi gần như thay đổi không đáng kể so với mẫu hàm lượng 0% và giảm mạnh từ 32,80 MPa xuống chỉ còn 21,73 MPa khi chiều dài sợi kẽm tăng từ 30 mm lên 50 mm.

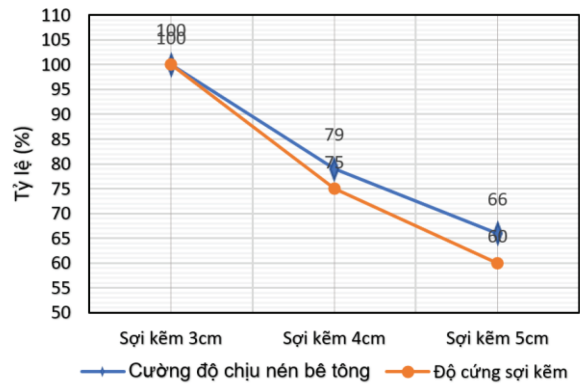
Điều này cho thấy khi sợi kẽm chỉ có tác dụng tăng cường độ bê tông khi đạt một độ cứng nhất định, nếu độ cứng sợi kẽm không đạt một mức nhất định chẳng những không giúp tăng cường độ nén của bê tông mà còn gây hiệu ứng xấu làm giảm mạnh cường độ nén của bê tông.

Việc chọn hàm lượng sợi kẽm ở mức 2% nhằm đảm bảo khả năng làm việc tốt nhất giữa thép và bê tông ở nhiều loại kết cấu khác nhau.

Thí nghiệm này chỉ xem xét độ cứng dọc trục của sợi kẽm với kết cấu dạng thanh và cũng không đi xa hơn việc phân tích sự phân phối của sợi kẽm trong khối bê tông. Ngoài các mục tiêu đã đạt được, nghiên cứu này vẫn còn tồn tại những vấn đề về độ dày, sự biến dạng của sợi kẽm và các đặc điểm khác của bê tông.

Biểu đồ so sánh tỷ lệ độ cứng sợi kẽm giảm đi và tỷ lệ cường độ chịu nén của mẫu bê tông giảm đi được biểu hiện như Hình 11 bên dưới:

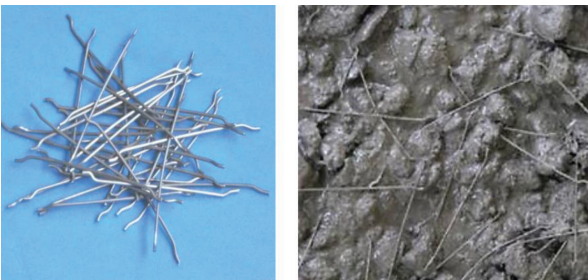
SO SÁNH TỶ LỆ GIẢM CƯỜNG ĐỘ CHỊU NÉN CỦA BÊ TÔNG VÀ ĐỘ CỨNG SỢI KẼM



Hình 11. Biểu đồ tỷ lệ giảm cường độ chịu nén của bê tông và độ cứng sợi kẽm

Biểu đồ này cho thấy tỷ lệ độ cứng sợi kẽm và cường độ chịu nén của bê tông đều giảm ở một mức độ gần như tương đồng nhau.

Trước đó tác giả L.T.Q. Khải [1] đã sử dụng sợi kẽm Dramix với chiều dài 30mm với cường độ kéo lên đến 1100 MPa lớn hơn 500 lần so với bê tông và hàm lượng lần lượt là 0% - 4% - 8%.



Hình 12. Sợi kẽm Dramix [1]

Kết quả đã mang lại hiệu quả tích cực trong việc giảm hình thành vết nứt. Việc này góp phần cho thấy rằng nếu sợi kẽm đủ cứng thì ta có thể tăng hàm lượng mà vẫn mang lại hiệu quả.

Với trường hợp bê tông sử cốt sợi mềm hơn sợi kẽm như cốt sợi thủy tinh, polyvinyl alcohol(PVA), bazan... thì tác giả N.V. Huynh đã công bố bài báo “Nghiên cứu sử dụng sợi PVA và sợi Bazan trong sản xuất tấm phẳng xi măng – sợi”. Kết quả nghiên cứu cho thấy với các sợi mềm thì cường độ bê tông sẽ giảm mạnh khi hàm lượng sợi vượt quá 2% [11].

4. KẾT LUẬN

Sau khi kết thúc thí nghiệm, kết quả nghiên cứu cho thấy cường độ nén của bê tông được cải thiện khi dây thép được thêm vào có độ cứng dọc trục lớn hơn khoảng 150 lần cường độ chịu nén của bê tông vào. Tuy nhiên, nếu độ cứng sợi kẽm thấp hơn giá trị này thì việc thêm vào sợi kẽm còn gây ra hiệu ứng xấu làm giảm đi cường độ chịu nén của bê tông đáng kể.

Việc tăng chiều dài sợi kẽm dẫn đến giảm độ cứng, việc này dẫn đến sợi kẽm dễ bị biến dạng hơn dưới tác động của lực thí nghiệm, sự trương nở của bê tông.

Tỷ lệ giảm của cường độ chịu nén của bê tông và độ cứng của sợi kẽm gần như bằng nhau.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn Trường Đại học Xây dựng Miền Tây nói chung và Trung tâm thí nghiệm Vật liệu xây dựng và Môi trường nói riêng đã tạo điều kiện cho nhóm thực hiện Nghiên cứu khoa học này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Lam TQK, Do TMD, Ngo VT, Nguyen TC, Huynh TP, “Numerical simulation and experiment on steel fiber concrete beams,” *J Phys Conf Ser* 1425:012007, 2020. DOI: 10.1088/1742-6596/1425/1/012007

[2] Lam TQK, Do TMD, Ngo VT, Nguyen TTN, Pham DQ, “Concrete grade change in the layers of three-layer steel fibre reinforced concrete beams,” *J Achievements Mater Manuf Eng* 102(1):16–29, 2020. DOI:

10.5604/01.3001.0014. 6325

[3] Do TMD, Lam TQK, “Design parameters of double layers steel fiber concrete beams,” *Lecture Notes Civil Eng* 130:299–321, 2021. DOI: 10.1007/978-981-33-6208-6_30

[4] Do TMD, Lam TQK “Design parameters of steel fiber concrete beams,” *Mag Civil Eng* 102(2), 2021. DOI: 10.34910/MCE.102.7

[5] Do TMD, Lam TQK, Ngo VT, Nguyen TTN “Two-layered steel fiber concrete beam with concrete grade change in layers,” *Lecture Notes Civil Eng* 202:427–443, 2021. DOI: 10.1007/978-981-16-6978-1_34

[6] Do TMD, Lam TQK “Cracks in single-layer and multi-layer concrete beams,” *Transp Res Procedia* 63:2589–2600, 2022. DOI: 10.1016/j.trpro.2022. 06.298

[7] Lam TQK, Do TMD “The behavior of RC beams strengthened with steel fiber concrete layer by ANSYS simulation,” *Adv Civil Eng* 4711699, 2023. DOI: 10.1155/2023/4711699

[8] Lam TQK, Do TMD “Analysis of nonlinear material and steel fiber content in the double layers concrete shell,” *AIP Conf Proc* 2283:020008, 2020. DOI: 10.1063/5.0024892

[9] Do TMD, Lam TQK, Nguyen TTN, Ngo VT, Vu HH, Nguyen TC, Doan VD “Initial parameters affecting the multilayer doubly curved concrete shell roof,” *Adv Civil Eng* 7999103, 2021. DOI: 10.1155/2021/7999103

10. Lam TQK, Do TMD (2023) “Experiment and simulation analysis on full scale double-layer concrete shell,” *Comput Concr* 31(1):9–21, 2023. DOI: 10.12989/cac.2023.31.1.009

[11] Nguyen VH, Trinh MD, Ninh XT, Nguyen QA (2021), “Nghiên cứu sử dụng sợi PVA và sợi bazan trong sản xuất tấm phẳng xi măng sợi,” *Tạp chí vật liệu và xây dựng*, 2021.

[12] Torres JA, Lantsoght EOL (2019) Influence of fiber content on shear capacity of steel fiberreinforced concrete beams. *Fibers* 7(102). DOI: 10.3390/fib7120102

[13] TCVN 7570 (2006) Aggregates for concrete and mortar-Specifications. Vietnam standards

[14] TCVN 6260 (2009) Portland blended cement-specifications. Vietnam standards

[15] TCVN 8828 (2011) Concrete-requirements for natural moist curing. Vietnam standards

[16] TCVN 3118 (1993) Hardened concrete-test method for compressive strength. Vietnam standards