

NGHIÊN CỨU ỨNG XỬ CƠ HỌC CỦA BÊ TÔNG GEOPOLYMER SỬ DỤNG SỢI THÉP

Study on strength behavior of geopolymer concrete reinforced steel fiber

Lê Vũ Bình¹ và Đỗ Đại Thắng²

¹Trường Đại học Kinh tế Công nghiệp Long An, Long An, Việt Nam

binh.kysu.07@gmail.com

²Đại học Quốc gia TP.HCM, Việt Nam

ddthang@vnuhcm.edu.vn

Tóm tắt — Bê tông geopolymer thân thiện môi trường vì sử dụng tro bay là phế thải của công nghiệp nhiệt điện thay thế cho xi măng trong bê tông truyền thống. Nghiên cứu này sử dụng sợi thép với hàm lượng sợi lần lượt là 0,1 đến 1% theo thể tích. Trong đó, tỷ lệ giữa chiều dài và đường kính sợi là 50 và 100. Kết quả thực nghiệm cho thấy hàm lượng sợi thép ảnh hưởng đến khả năng làm việc của hỗn hợp bê tông geopolymer. Giá trị cường độ nén giảm khoảng 10 – 15% trong khi đó cường độ uốn tăng đến 30%. Giá trị mô đun đàn hồi của bê tông geopolymer đạt khoảng 18 GPa với hàm lượng sợi 1%. Bên cạnh đó, sợi thép có tỷ lệ chiều dài và đường kính càng cao thì cường độ chịu uốn có khả năng tăng cường.

Abstract — This document gives formatting instructions for authors preparing papers for publication in the Journal of Economics and Industry. The authors must follow the instructions given in the document for the papers to be published.

Từ khóa — Bê tông geopolymer, sợi thép, geopolymer concrete, steel fiber.

1. Giới thiệu

Bê tông dùng cốt sợi là sự kết hợp của bê tông và sợi chịu lực trong đó các loại sợi thép, sợi thủy tinh, sợi amiang, sợi carbon các sợi khác nhau sẽ có những tính năng khác nhau. Ngày nay xu hướng sử dụng những vật liệu xây dựng mới với tính năng ưu việt và tối ưu chi phí. Bê tông cốt sợi có chứa các vật liệu sợi được phân bố rải rác và trải đều trong cấu trúc của nó. Ngoài ra bê tông cốt sợi còn phụ thuộc vào loại bê tông, loại sợi, độ phân tán, chiều hướng và mật độ phân bố của các loại sợi đó (Nguyễn Việt Trung và cộng sự, 2005; Nguyễn Quang Chiếu, 2008; Nguyễn Việt Trung, 2010).

Trong điều kiện ảnh hưởng môi trường do quá trình công nghiệp hóa và sử dụng năng lượng, đặc biệt là sự phát triển của các nhà máy nhiệt điện đốt than làm ảnh hưởng môi trường do phế thải của nó nên bê tông geopolymer được xem là vật liệu thân thiện môi trường do sử dụng phế thải tro bay thay thế xi măng. Việc sử dụng bê tông geopolymer có thể thay thế cho bê tông truyền thống trong nhiều lĩnh vực nhằm bảo vệ môi trường và thay thế cho vật liệu trong xây dựng công trình (Davidovits, 2011; Hardjito và Rangan, 2005; Zu-hua, 2009).

Nghiên cứu này nhằm sử dụng sợi thép trong thành phần cấp phối của bê tông geopolymer để xem xét các tính chất cơ học, ứng xử của sợi thép trong môi trường bê tông. Đánh giá ảnh hưởng của thành phần và hàm lượng sợi thép đến các tính chất cường độ của bê tông, qua đó so sánh với các tính chất cơ học của bê tông geopolymer.

2. Phương pháp thực nghiệm

2.1. Xi măng

Xi măng được sử dụng là PCB40 có khối lượng riêng 3,18 g/cm³, khối lượng thể tích 1,24 g/cm³.

2.2. Tro bay

Tro bay loại F theo tiêu chuẩn ASTM C618, khối lượng riêng 2,5 g/cm³, độ mịn 94% lượng lọt qua sàng có cỡ sàng là 0,08 mm, và thành phần hóa học trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Thành phần hóa học của tro bay

Oxit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	SO ₃	MKN
Hàm lượng (%)	54.2	29.5	5.4	1.7	0.8	4.1

Nguồn: Tác giả tổng hợp

2.3. Dung dịch hoạt hóa geopolymer

Dung dịch hoạt hóa là sự kết hợp giữa sodium hydroxide và sodium silicat. Sodium silicate có thành phần gồm Na₂O và SiO₂. Tổng hàm lượng Na₂O và SiO₂ dao động từ 36 đến 38%, tỷ trọng 1.42 ± 0.01 g/ml.

2.4. Cát đá

Cát sông có tính chất cơ lý khối lượng riêng 2,55 g/cm³; khối lượng thể tích 1,41 g/cm³, mô đun độ lớn 185. Đá được sử dụng có D_{max} là 20 mm và khối lượng riêng 2,72 g/cm³; khối lượng thể tích 1,49 g/cm³.

2.5. Sợi thép

Lựa chọn loại sợi thép loại sợi trơn. Gia công kích thước sợi theo các tỷ lệ khác nhau giữa chiều dài – đường kính (L/D) = 50 và 100. Tính chất cơ học của sợi trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Thành phần cơ học của sợi thép

Loại sợi	Đường kính (mm)	Khối lượng riêng (T/m ³)	Mô đun đàn hồi (Gpa)	Nhiệt độ chảy (°c)	kháng kiềm, muối, a xít
Thép không ri	0,12	8,0	193	1400	cao

Nguồn: Tác giả tổng hợp

2.6. Phương pháp thực nghiệm

Các thành phần nguyên liệu sau khi định lượng được nhào trộn thành hỗn hợp khô, sau đó được nhào trộn với hàm lượng sợi từ 0,1 đến 1% theo thể tích. Hỗn hợp dung dịch geopolymer chuẩn bị trước được đổ vào hỗn hợp khô bắt đầu quá trình nhào trộn trong khoảng 1-2 phút. Sau đó, hỗn hợp được đúc vào khuôn theo TCVN để thí nghiệm cường độ uốn, nén và mô đun đàn hồi. Mẫu sau khi đúc được để tĩnh định 2 ngày rồi tháo khuôn và đem dưỡng hộ nhiệt ở nhiệt độ 80°C trong 8 giờ. Thành phần tính chất cơ học của bê tông được trình bày trong bảng 3, bảng 4 và bảng 5.

Bảng 3. Tính chất cơ học của bê tông xi măng và bê tông geopolymer dùng sợi thép, đường kính sợi L/D = 50

Cấp phối	S (%)	SN (cm)	Rn (N/mm ²)	Ru (N/mm ²)	E (kN/mm ²)
B0	0	12	26,7	3,1	21,1
B1	0,1	11	25,8	3,4	20,6
B2	0,2	9	25,1	3,8	19,8
B3	0,5	7	23,9	4,1	19,3
B4	1	4	22,7	4,8	18,5
G0	0	10	27,8	3,2	20,7
G1	0,1	9	26,9	3,9	20,2
G2	0,2	7	25,2	4,3	19,7
G3	0,5	6	24,7	4,8	18,3
G4	1	5	23,1	5,1	17,6

Nguồn: Tác giả tổng hợp

Ghi chú: Bi: Cấp phối dùng xi măng; Gi: Cấp phối dùng geopolymer; S: Hàm lượng sợi thép; SN: độ sụt; Rn: cường độ nén; Ru: Cường độ uốn; E: Mô đun đàn hồi.

Kết quả bảng 3 thể hiện mẫu cấp phối bê tông xi măng và bê tông geopolymer dùng sợi thép, đường kính sợi $L/D = 50$ như sau:

Với B0 mẫu cấp phối bê tông xi măng, S (0%) hàm lượng sợi (0%), SN (12 cm) độ sụt (12 cm), Rn (26,7 N/mm²) cường độ nén (26,7 N/mm²), Ru (3,1 N/mm²) cường độ uốn (3,1 N/mm²), E (21,1 kN/mm²) mô đun đàn hồi (21,1 kN/mm²). Tương tự B1; B2; B3 và B4 cho cấp phối bê tông xi măng, hàm lượng sợi tương ứng 0,1; 0,2; 0,5 và 1%, độ sụt tương ứng 11; 9; 7 và 4 cm, cường độ nén tương ứng 25,8; 25,1; 23,9 và 22,7 N/mm², cường độ uốn tương ứng 3,4; 3,8; 4,1 và 4,8 N/mm², mô đun đàn hồi tương ứng 20,6; 19,8; 19,3 và 18,5 kN/mm².

Với G0 mẫu cấp phối bê tông geopolymer, S (0%) hàm lượng sợi (0%), SN (10 cm) độ sụt (10 cm), Rn (27,8 N/mm²) cường độ nén (27,8 N/mm²), Ru (3,2 N/mm²) cường độ uốn (3,2 N/mm²), E (20,7 kN/mm²) mô đun đàn hồi (20,7 kN/mm²). Tương tự G1, G2, G3 và G4 cho cấp phối bê tông geopolymer, hàm lượng sợi tương ứng 0,1; 0,2; 0,5 và 1%, độ sụt tương ứng 9; 7; 6 và 5 cm, cường độ nén tương ứng 26,9; 25,2; 24,7 và 23,1 N/mm², cường độ uốn tương ứng 3,9; 4,3; 4,8 và 5,1 N/mm², mô đun đàn hồi tương ứng 20,2; 19,7; 18,3 và 17,6 kN/mm².

Bảng 4. Tính chất cơ học của bê tông geopolymer dùng sợi thép, đường kính sợi $L/D = 50$

Cấp phối	S (%)	SN (cm)	Rn (N/mm ²)	Ru (N/mm ²)	E (kN/mm ²)
G0	0	10	27,8	3,2	20,7
G1	0,1	9	26,9	3,9	20,2
G2	0,2	7	25,2	4,3	19,7
G3	0,5	6	24,7	4,8	18,3
G4	1	5	23,1	5,1	17,6

Nguồn: Tác giả tổng hợp

Ghi chú: Gi: Cấp phối dùng geopolymer; S: Hàm lượng sợi thép; SN: độ sụt; Rn: cường độ nén; Ru: Cường độ uốn; E: Mô đun đàn hồi.

Kết quả bảng 4 thể hiện mẫu cấp phối bê tông geopolymer dùng sợi thép, đường kính sợi $L/D = 50$. Với G0 mẫu cấp phối bê tông geopolymer, S (0%) hàm lượng sợi (0%), SN (10 cm) độ sụt (10 cm), Rn (27,8 N/mm²) cường độ nén (27,8 N/mm²), Ru (3,2 N/mm²) cường độ uốn (3,2 N/mm²), E (20,7 kN/mm²) mô đun đàn hồi (20,7 kN/mm²). Tương tự G1, G2, G3 và G4 cho cấp phối bê tông geopolymer, hàm lượng sợi tương ứng 0,1; 0,2; 0,5 và 1%, độ sụt tương ứng 9; 7; 6 và 5 cm, cường độ nén tương ứng 26,9; 25,2; 24,7 và 23,1 N/mm², cường độ uốn tương ứng 3,9; 4,3; 4,8 và 5,1 N/mm², mô đun đàn hồi tương ứng 20,2; 19,7; 18,3 và 17,6 kN/mm².

Bảng 5. Tính chất cơ học của bê tông geopolymer dùng sợi thép, đường kính sợi $L/D = 100$

Cấp phối	S (%)	SN (cm)	Rn (N/mm ²)	Ru (N/mm ²)	E (kN/mm ²)
G0	0	10	27,8	3,2	20,7
G1	0,1	9	26,3	3,8	19,4
G2	0,2	8	24,7	4,5	19,3
G3	0,5	6	23,3	4,7	18,1
G4	1	4	22,8	5,2	17,5

Nguồn: Tác giả tổng hợp

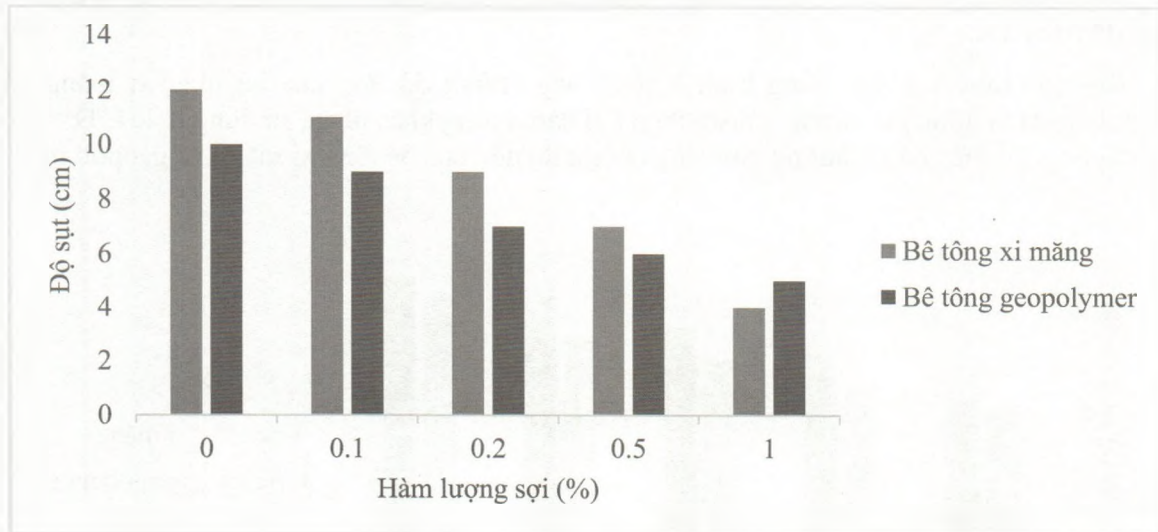
Ghi chú: Gi: Cấp phối dùng geopolymer; S: Hàm lượng sợi thép; SN: độ sụt; Rn: cường độ nén; Ru: Cường độ uốn; E: Mô đun đàn hồi.

Kết quả bảng 5 thể hiện mẫu cấp phối bê tông geopolymer dùng sợi thép, đường kính sợi $L/D = 100$. Với G0 mẫu cấp phối bê tông geopolymer, S (0%) hàm lượng sợi (0%), SN (10 cm) độ sụt (10 cm), Rn (27,8 N/mm²) cường độ nén (27,8 N/mm²), Ru (3,2 N/mm²) cường độ uốn (3,2 N/mm²), E (20,7 kN/mm²) mô đun đàn hồi (20,7 kN/mm²). Tương tự G1, G2, G3 và G4 cho cấp phối bê tông geopolymer, hàm lượng sợi tương ứng 0,1; 0,2; 0,5 và 1%, độ sụt tương ứng 9; 8; 6 và 4 cm, cường độ nén tương ứng 26,3; 24,7; 23,3 và 22,8 N/mm², cường độ uốn tương ứng 3,8; 4,5; 4,7 và 5,2 N/mm², mô đun đàn hồi tương ứng 19,4; 19,3; 18,1 và 17,5 kN/mm².

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Ảnh hưởng của sợi thép đến khả năng làm việc của hỗn hợp bê tông geopolimer

Hàm lượng sợi thép khi sử dụng trong bê tông xi măng có ảnh hưởng đến khả năng lưu động của hỗn hợp. Kết quả thực nghiệm trên hình 1 trình bày độ sụt của hỗn hợp bê tông xi măng có xu hướng giảm dần khi hàm lượng sợi thép tăng dần.

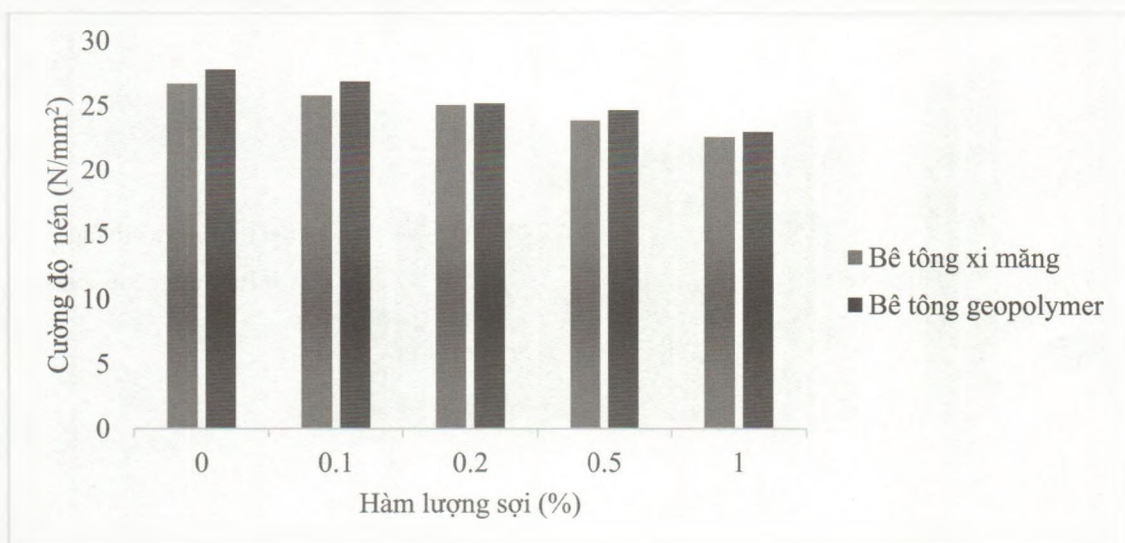


Hình 1. Hàm lượng sợi và độ sụt trong bê tông xi măng và geopolimer

Độ sụt của hỗn hợp bê tông đối chứng đạt 12 cm và giảm đến 70% còn 4 cm với hàm lượng sợi 1%. Điều này cho thấy sợi thép phân bố đều trong hỗn hợp bê tông có tác dụng làm liên kết các thành phần vữa và đá làm giảm khả năng làm việc của bê tông.

Hình 1 cho thấy độ sụt của hỗn hợp bê tông geopolimer có xu hướng giảm từ 10 cm đến 5 cm, giảm đến 50%, khi hàm lượng sợi sử dụng 1%. Nhận thấy, sợi thép cũng có xu hướng phân bố đều trong hỗn hợp bê tông geopolimer và làm giảm khả năng linh động của bê tông. Tuy nhiên hỗn hợp bê tông geopolimer có sử dụng dung dịch hoạt hóa nên bê tông có xu hướng có tính dính cao hơn nên việc giảm tính linh động thấp hơn khi phân bố sợi thép trong hỗn hợp bê tông xi măng.

3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến tính chất cường độ bê tông geopolimer

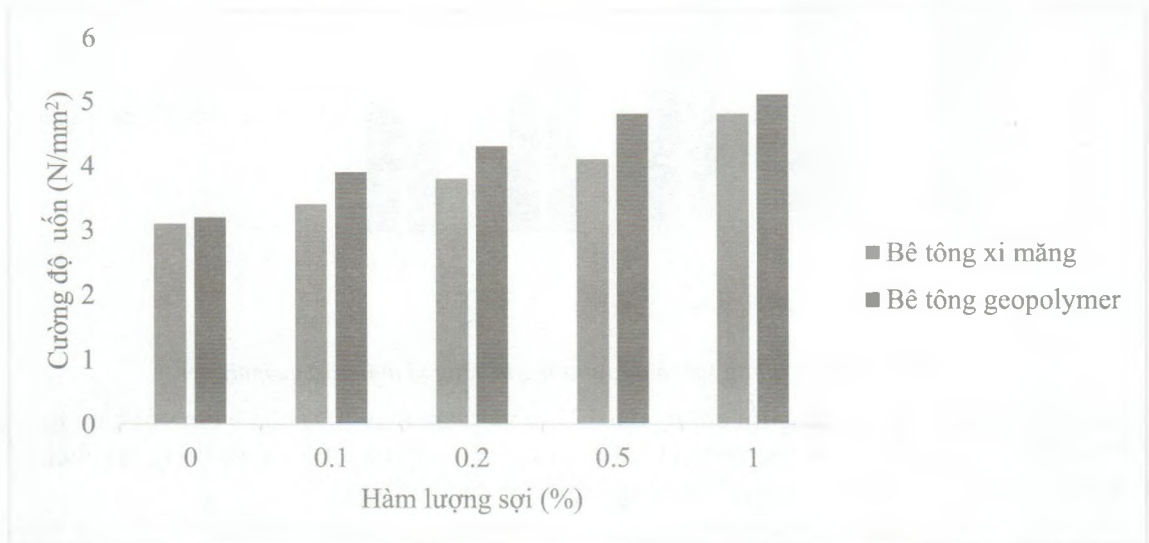


Hình 2. Mối quan hệ giữa cường độ nén và hàm lượng sợi thép

Kết quả thực nghiệm trong hình 2 trình bày cường độ của bê tông xi măng và geopolimer đạt được cấp độ bền B20 sau 28 ngày. Hàm lượng sợi thép có xu hướng làm giảm cường độ nén của bê tông xi măng và geopolimer.

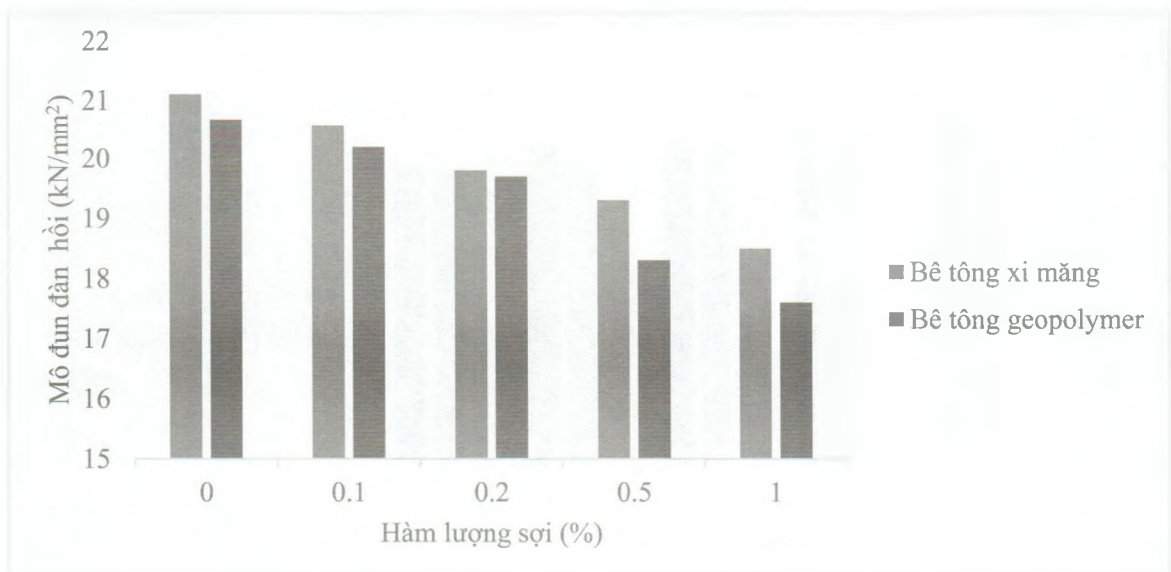
Khi hàm lượng sợi thép tăng dần từ 0,1 đến 1% thì cường độ nén của bê tông xi măng giảm dần từ 26 N/mm² đến 22 N/mm², giảm khoảng 20%. Đối với bê tông geopolimer, cường độ nén có xu hướng giảm dần từ 28 N/mm² xuống 23 N/mm², giảm đến 23%, khi hàm lượng sợi tăng dần đến 1%.

Kết quả thực nghiệm trong hình 3 trình bày cường độ uốn của bê tông xi măng và geopolimer khi được gia cường với sợi thép với hàm lượng khác nhau, sử dụng tỷ lệ L/D = 50. Hàm lượng sợi thép có xu hướng làm tăng cường độ uốn của bê tông xi măng và geopolimer.



Hình 3. Mối quan hệ giữa cường độ uốn và hàm lượng sợi thép

Khi hàm lượng sợi thép tăng dần từ 0,1 đến 1% thì cường độ uốn của bê tông xi măng tăng dần từ 3,1 N/mm² đến 4,8 N/mm², tăng khoảng 50%. Đối với bê tông geopolimer, cường độ uốn cũng có xu hướng tăng dần từ 3,2 N/mm² đến 5,2 N/mm², tăng đến 60%, khi hàm lượng sợi tăng dần đến 1%.



Hình 4. Mối quan hệ giữa mô đun đàn hồi và hàm lượng sợi thép

Kết quả thực nghiệm trong hình 4 trình bày giá trị mô đun đàn hồi của bê tông xi măng và geopolymer khi được gia cường với sợi thép với hàm lượng khác nhau, sử dụng tỷ lệ $L/D = 50$. Hàm lượng sợi thép có xu hướng làm giảm mô đun đàn hồi của bê tông xi măng và geopolymer.

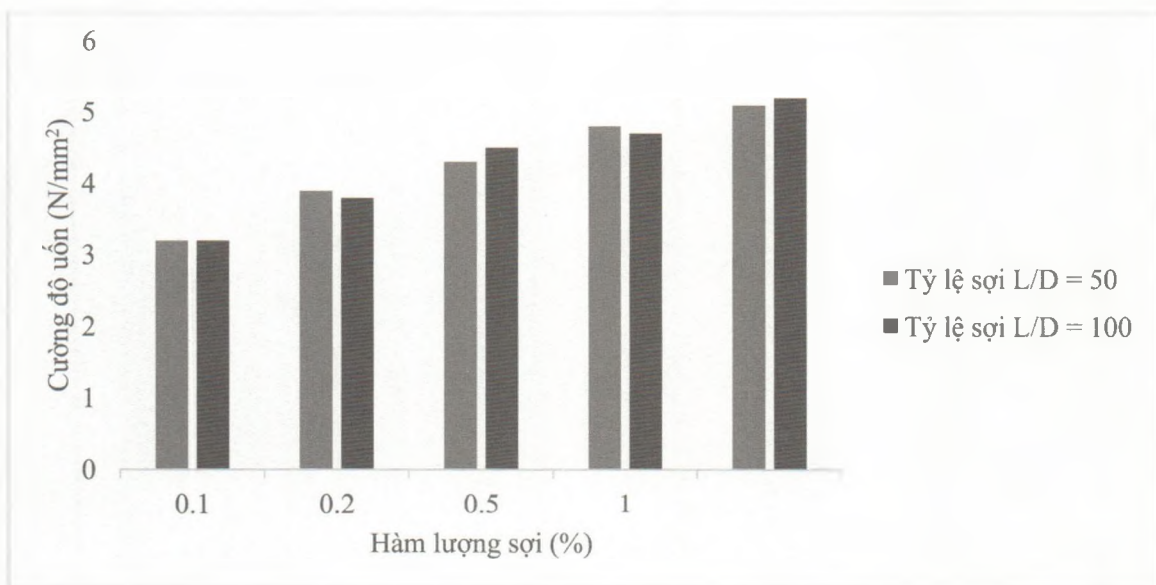
Khi hàm lượng sợi thép tăng dần từ 0,1 đến 1% thì mô đun đàn hồi của bê tông xi măng giảm khoảng 10%, từ $21,2 \text{ N/mm}^2$ xuống $18,5 \text{ N/mm}^2$. Đối với bê tông geopolymer, mô đun đàn hồi cũng có xu hướng giảm khoảng 15%, từ $20,7 \text{ N/mm}^2$ xuống $17,6 \text{ N/mm}^2$ khi hàm lượng sợi sử dụng đến 1%.

Bê tông geopolymer có giá trị cường độ nén, uốn và mô đun đàn hồi tương tự như bê tông xi măng. Hàm lượng sợi thép sử dụng đến 1% có xu hướng làm giảm khả năng làm việc của hỗn hợp bê tông. Sợi thép với tỷ lệ $L/D = 50$ có tác dụng tăng cường khả năng chịu uốn của bê tông xi măng nhưng làm giảm cường độ nén và mô đun đàn hồi của bê tông. Ứng xử của sợi thép trong bê tông xi măng và bê tông geopolymer có xu hướng tương tự nhau.

3.3. Ảnh hưởng của tỷ lệ sợi thép đến tính chất cường độ của bê tông geopolymer

Kết quả trên hình 5 trình bày cường độ bê tông geopolymer bị ảnh hưởng do sợi có hàm lượng khác nhau. Ảnh hưởng của hàm lượng sợi khi dùng tỷ lệ chiều dài – đường kính (L/D) = 100 cũng tương tự.

Cường độ nén của bê tông có xu hướng giảm dần theo hàm lượng sợi với tỷ lệ L/D là 50 và 100. Cường độ nén của bê tông dùng sợi thép có tỷ lệ $L/D = 100$, thấp 10% hơn cường độ nén của bê tông dùng sợi $L/D = 50$.



Hình 5. Mối quan hệ giữa cường độ uốn và tỷ lệ sợi khác nhau

4. Kết luận

Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép đến tính chất cơ học của bê tông geopolymer đạt được các kết quả như sau:

Hàm lượng sợi thép từ 0,1% đến 1% có tác dụng làm giảm khả năng làm việc của hỗn hợp bê tông xi măng và bê tông geopolymer. Ảnh hưởng của sợi thép đến bê tông xi măng và bê tông geopolymer có xu hướng tương tự nhau.

Khi tăng hàm lượng sợi thép trong hỗn hợp thì cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi của bê tông geopolymer có xu hướng giảm khoảng 10 – 15%.

Cường độ chịu uốn của bê tông geopolimer có khả năng tăng đến 30% khi dùng hàm lượng đến 1% sợi thép.

Sử dụng sợi thép có tỷ lệ chiều dài – đường kính cao hơn thì cường độ uốn có xu hướng được gia cường tốt hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Viết Trung, Nguyễn Ngọc Long và Phạm Duy Anh (2005). *Bê tông cốt sợi thép*. Nhà xuất bản Xây dựng.
- [2] Nguyễn Quang Chiêu (2008). *Bê tông cốt sợi và bê tông sợi thép*. Nhà xuất bản Giao thông Vận tải.
- [3] Nguyễn Viết Trung (2010). *Bê tông cốt sợi thép*, Nhà xuất bản Xây dựng.
- [4] Davidovits, J. (2011). *Geopolymer Chemistry and Application*, 3rd edition, Geopolymer Institute.
- [5] Hardjito, D., & Rangan, B.V. (2005). *Development and properties of low-calcium fly ash-based geopolymer concrete*. Research Report GC1 Faculty of Engineering, Curtin University of Technology Perth, Australia.
- [6] Zu-hua, Z. et al. (2009). Preparation and mechanical properties of polypropylene fiber reinforced calcined kaolin-fly ash based geopolymer. *Journal of Central South, University of Technology*, vol.16 (1), pp.49-52.

Ngày nhận: 06/01/2022

Ngày duyệt đăng: 30/05/2022