

## TÍNH CHẤT CƠ HỌC CỦA BÊ TÔNG GEOPOLYMER SỬ DỤNG TRO BAY GIA CƯỜNG SỢI POLY-PROPYLENE

TS. PHAN ĐỨC HÙNG

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh

TS. LÊ ANH TUẤN

Trường Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh

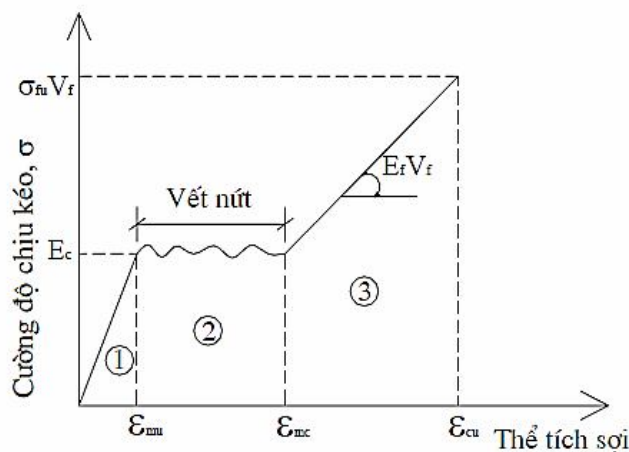
Tóm tắt: Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của sợi poly-propylene đến các tính chất của bê tông geopolimer. Sợi poly-propylene với hàm lượng 0.5% - 1.5% theo thể tích và tỷ lệ chiều dài trên đường kính sợi từ 100 đến 500 được sử dụng trong nghiên cứu này. Bê tông geopolimer hoạt hóa từ tro bay đạt cấp độ bền B25. Kết quả cho thấy sợi poly - propylene làm giảm độ linh động của hỗn hợp bê tông. Hàm lượng sợi, chiều dài sợi và tỷ lệ giữa chiều dài trên đường kính sợi ảnh hưởng nhiều đến tính chất của bê tông. Tính chất cơ học của bê tông geopolimer được gia cường 0.5% hàm lượng sợi được cải thiện tốt nhất. Kết quả thực nghiệm cho thấy giá trị biến dạng của bê tông dùng sợi thay đổi từ 0.0022-

0.0031, mô đun đàn hồi thay đổi từ 21.32 GPa - 26.1GPa và hệ số Poisson đạt từ 0.12 - 0.152.

Từ khóa: Sợi poly-propylene, bê tông geopolimer, tro bay, dung dịch hoạt hóa.

### 1. Giới thiệu

Nghiên cứu đặc tính cơ học của bê tông geopolimer đã được nhiều tác giả thực hiện và so sánh với bê tông xi măng nhằm ứng dụng vật liệu này trong nhiều công trình. Đặc tính của bê tông geopolimer có các tính chất về cường độ, khả năng lưu biến và mối quan hệ giữa ứng suất biến dạng gần như tương đồng với bê tông xi măng [1-4]. Các nghiên cứu ứng dụng một số loại sợi khác nhau thêm vào trong bê tông geopolimer để xem xét các ứng xử cơ học của bê tông nền và sợi như trên hình 1.



Hình 1. Mối quan hệ giữa ứng suất – biến dạng trong bê tông sử dụng sợi

Sợi tổng hợp, sợi thép và các loại sợi khác đã được nghiên cứu ứng dụng trong bê tông xi măng nhằm gia cường một số tính chất cơ học đã được nghiên cứu từ những năm 1960. Đối với bê tông geopolimer, tác giả Monita Olivia [5] đã nghiên cứu sử dụng sợi poly-propylene cho vào bê tông geopolimer để xác định các đặc tính cơ lý của nó và nhận xét sự bám dính của sợi poly propylene với bê tông geopolimer

có sự khác biệt so với bê tông xi măng. Nghiên cứu của Zhang và cộng sự [6] cho thấy khi sử dụng sợi poly –propylene có khả năng gia cường khả năng chịu kéo của vật liệu geopolimer. Sự xuất hiện của vết nứt trong bê tông geopolimer cho thấy rằng sợi có thể tạo nên một hiệu ứng chuyển tiếp qua các lỗ rỗng có hại, các khuyết tật và thay đổi cách mở rộng các vết nứt.

Nghiên cứu này sử dụng vật liệu nền là bê tông geopolimer tổng hợp từ tro bay, kết hợp sử dụng sợi poly-propylene có tỷ lệ chiều dài trên đường kính sợi (l/d) thay đổi từ 100 đến 500 với các hàm lượng 0 đến 1.5% để đánh giá khả năng làm việc của sợi trong bê tông geopolimer đến các tính chất của bê tông geopolimer.

**2. Nguyên vật liệu và phương pháp thí nghiệm**

**2.1 Nguyên vật liệu**

Vật liệu sử dụng chế tạo bê tông geopolimer bao gồm: Tro bay có hàm lượng calcium thấp như là vật liệu nguồn cung cấp alumium-silicate, dung dịch hoạt hóa, cốt liệu là đá dăm và cát.

Ngoài ra, sợi poly-propylene được thêm vào với các hàm lượng và tỷ lệ chiều dài sợi trên đường kính sợi (l/d) khác nhau để khảo sát ứng xử của loại bê tông này.

Cốt liệu bao gồm đá dăm và cát sông được sử dụng có khối lượng riêng theo thứ tự là 2700 và 2650kg/m<sup>3</sup>. Cỡ hạt lớn nhất của đá dăm Dmax là 20mm. Cát có mô đun độ lớn 1.85.

Tro bay loại F sử dụng có nguồn gốc từ nhà máy nhiệt điện, khối lượng riêng 2500 kg/m<sup>3</sup>, độ mịn 94% lượng lọt qua sàng có cỡ sàng là 0.08 mm. Thành phần hóa học của tro bay được trình bày trong bảng 1.

**Bảng 1. Thành phần hóa học của tro bay**

Thành phần hoá học	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	MgO	SO <sub>3</sub>	MKN(*)
% khối lượng	51.7	31.9	3.48	1.21	1.02	0.81	0.25	9.63

(\*) MKN : mất khi nung

Dung dịch hoạt hóa được sử dụng trong thí nghiệm để hoạt hóa quá trình geopolimer hóa của bê tông. Dung dịch này là sự kết hợp giữa sodium hydroxide và sodium silicate. Sodium hydroxide khan có dạng vảy rắn, màu trắng đục, độ tinh khiết trên 90% và khối lượng riêng là 2130kg/m<sup>3</sup>. Để chế tạo dung dịch sodium hydroxide, NaOH khan được hòa tan vào nước theo nồng độ 16mol/l cho trước, tỷ trọng 1.17 g/cm<sup>3</sup>. Dung dịch sodium silicate sử dụng với hàm lượng Na<sub>2</sub>O và SiO<sub>2</sub> dao động từ 36% đến 38%, tỷ trọng 1.42±0.01 g/cm<sup>3</sup>.

**a. Sợi poly-propylene**

Trong phạm vi nghiên cứu, sợi poly-propylene được dùng để chế tạo mẫu với nhiều tỷ lệ chiều dài sợi trên đường kính sợi (l/d) khác

nhau. Hình dáng và đặc tính loại sợi trình bày trong hình 2 và bảng 2.



**Hình 2. Sợi poly - propylene**

**Bảng 2. Đặc tính sợi sợi poly - propylene**

Loại sợi	Đường kính (mm)	Chiều dài (mm)	Tỷ lệ l/d	Khối lượng riêng (kg/m <sup>3</sup> )	Mô đun đàn hồi (MPa)	Cường độ chịu kéo (MPa)
Sợi PP	0.05	5	100	910	3500	700
		10	200			
		15	300			
		20	400			
		25	500			

## 2.2 Cấp phối

Các cấp phối bê tông geopolimer sử dụng dung dịch sodium hydroxide có nồng độ 16 mol/lít, tỷ lệ dung dịch alkaline – tro bay là 0.7, trong đó tỷ lệ dung dịch sodium silicate-dung dịch sodium hydroxide là 2.5. Sợi

polypropylene với các tỷ lệ chiều dài – đường kính khác nhau được thêm vào với hàm lượng là 0, 0.5, 1.0 và 1.5% theo thể tích. Tỷ lệ chiều dài – đường kính sợi thay đổi từ 100 đến 500. Cấp phối bê tông geopolimer nền được trình bày trong bảng 3.

**Bảng 3. Cấp phối cho bê tông geopolimer ( $kg/m^3$ )**

Đá dăm	Cát	Tro bay	Dung dịch sodium silicate	Dung dịch sodium hydroxide 16M
1079	556	418	213	86

Hỗn hợp bê tông geopolimer có sử dụng sợi poly - propylene được chế tạo khuôn hình trụ theo ASTM C39 và ASTM C78. Mẫu sau khi tạo hình được để tĩnh định 2 ngày rồi tháo khuôn và đem dưỡng hộ nhiệt ở 90°C trong 10 giờ để quá trình geopolimer hóa diễn ra.

Sau quá trình dưỡng hộ nhiệt, mẫu được đặt trong môi trường phòng thí nghiệm và thực hiện thí nghiệm xác định cường độ chịu nén và cường độ chịu uốn ở 7 ngày tuổi.

- Xác định mối quan hệ ứng suất - biến dạng và các hệ số poisson, mô đun đàn hồi khi

nén theo ASTM C39 với tốc độ gia tải là 0.2MPa/giây.

- Thực nghiệm xác định khả năng chịu uốn bê tông geopolimer theo ASTM C78 với tốc độ gia tải là 4MPa/phút.

- Thực nghiệm khả năng chịu kéo gián tiếp của bê tông geopolimer theo ASTM C496 với tốc độ gia tải là 1MPa/phút.

## 3. Kết quả thí nghiệm

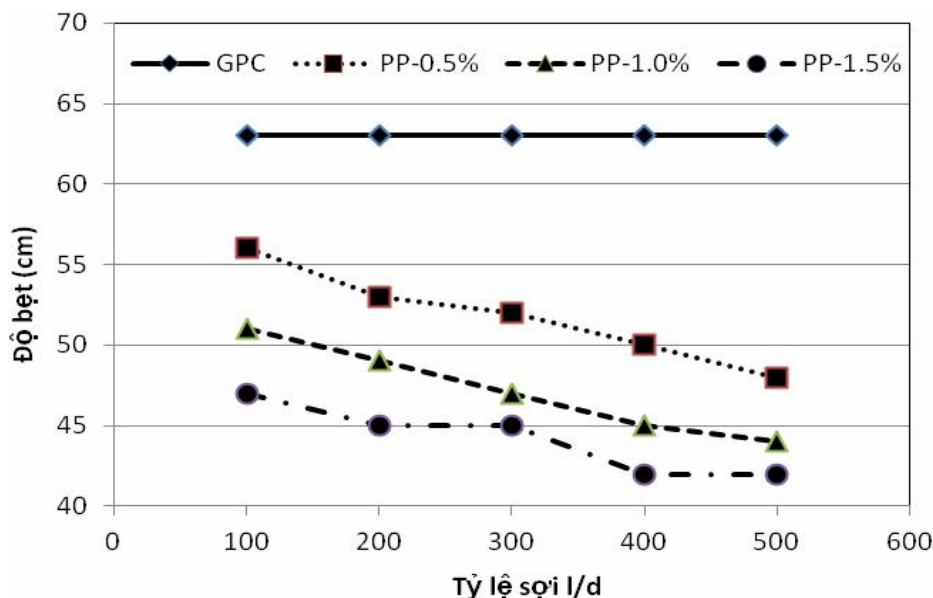
Kết quả thí nghiệm chịu nén, kéo gián tiếp (ép chẻ), uốn, mô đun đàn hồi và hệ số Poisson của bê tông geopolimer (GPC) có gia cường sợi poly - propylene (PP) được trình bày trong bảng 4.

**Bảng 4. Kết quả thí nghiệm**

Ký hiệu	Tỷ lệ (l/d)	Hàm lượng sợi (%)	Cường độ chịu nén (MPa)	Cường độ kéo gián tiếp (ép chẻ) (MPa)	Cường độ chịu uốn (MPa)	Độ bệt (cm)	Mô đun đàn hồi (GPa)	Hệ số Poisson
GPC	0	0.0	32.61	3.7	5.89	63	25.40	0.128
P1-05	100	0.5	34.68	4.05	6.27	56	25.80	0.141
P1-10	100	1.0	34.14	3.92	6.55	51	24.02	0.132
P1-15	100	1.5	30.86	3.84	6.71	47	22.71	0.129
P2-05	200	0.5	36.21	4.20	6.31	53	26.10	0.152
P2-10	200	1.0	34.72	4.11	6.69	49	25.37	0.139
P2-15	200	1.5	33.29	3.95	6.90	45	23.09	0.132
P3-05	300	0.5	35.59	4.11	6.45	52	25.82	0.146
P3-10	300	1.0	32.24	3.87	7.45	47	25.15	0.140
P3-15	300	1.5	28.21	3.88	7.98	45	21.32	0.129
P4-05	400	0.5	35.77	3.97	6.30	50	26.08	0.143
P4-10	400	1.0	34.34	3.60	7.17	45	25.23	0.128
P4-15	400	1.5	28.73	3.52	7.32	42	21.87	0.122
P5-05	500	0.5	35.08	3.85	6.27	48	25.93	0.140
P5-10	500	1.0	32.29	3.75	6.69	44	22.98	0.125
P5-15	500	1.5	28.07	3.64	7.11	42	21.88	0.120

## 3.1 Độ linh động của bê tông geopolimer cốt sợi poly-propylene

Xác định ảnh hưởng của hàm lượng và tỷ lệ l/d của sợi đến độ linh động của bê tông geopolimer thông qua thí nghiệm độ bệt, kết quả thể hiện trên hình 3.

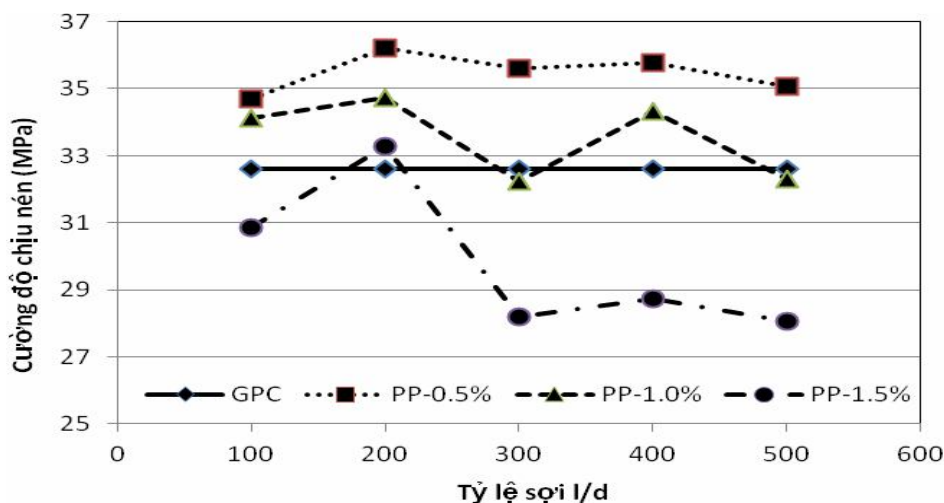


Hình 3. Mối quan hệ giữa độ bệt với hàm lượng và tỷ lệ l/d của sợi

Kết quả cho thấy hàm lượng sợi và tỷ lệ l/d của sợi càng tăng thì độ bệt của hỗn hợp bê tông càng giảm. Nguyên nhân là do khi hàm lượng sợi cao dẫn đến vật liệu nền bị các sợi chiếm chỗ và dễ gây vón cục, do đó làm hạn chế độ linh động của bê tông nền.

**3.2 Khả năng chịu nén của bê tông geopolymer nền sử dụng sợi poly - propylene**

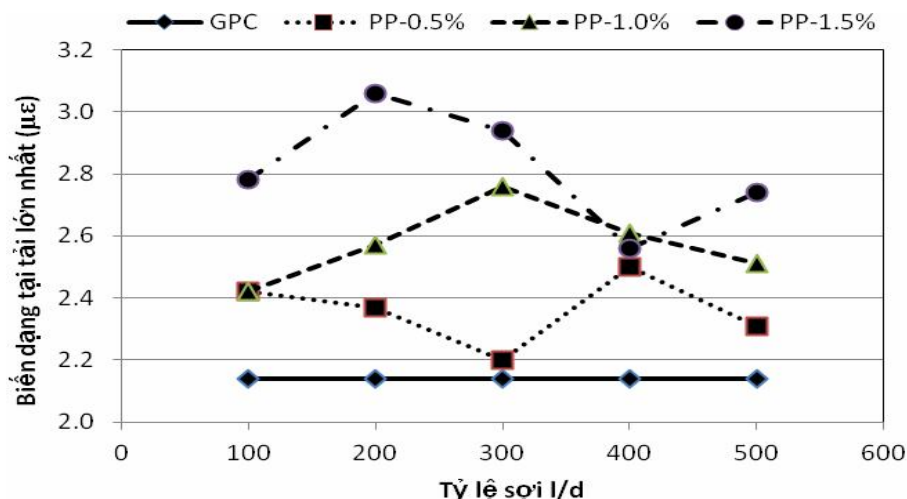
Thí nghiệm nén mẫu kết hợp với đo biến dạng mẫu bằng strain gauge được thực hiện nhằm xác định khả năng làm việc khi chịu nén của bê tông geopolymer cốt sợi poly-propylene. Hình 4 thể hiện ảnh hưởng của hàm lượng sợi và tỷ lệ l/d của sợi đến cường độ chịu nén của các cấp phối bê tông geopolymer.



Hình 4. Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén với hàm lượng và tỷ lệ l/d của sợi

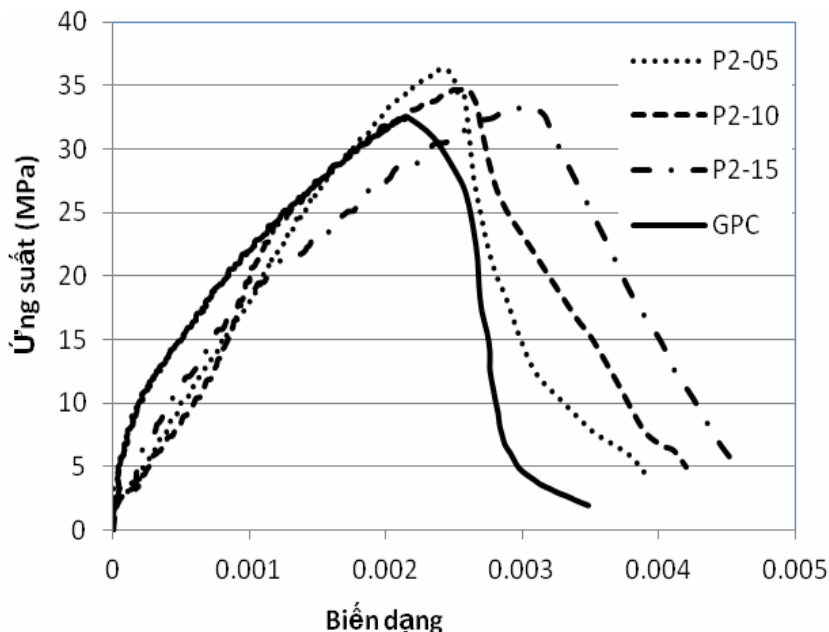
Kết quả cho thấy khi sử dụng hàm lượng sợi 0.5% thì cường độ chịu nén tăng, tuy nhiên khi tăng hàm lượng sợi lên 1% và 1.5% thì cường độ chịu nén lại có xu hướng giảm cho các loại sợi có tỷ lệ l/d từ 100 đến 500. Sự tăng cường độ chịu nén trong khoảng 6.36% đến 11.05% khi hàm

lượng sợi sử dụng là 0.5%, và tốt nhất đối với cấp phối sử dụng loại sợi có l/d bằng 200. Hầu hết các cấp phối sử dụng hàm lượng 1.5% đều nhỏ hơn so với cấp phối không sợi và sự giảm cường độ lớn nhất lên đến 13.91% xảy ra đối với cấp phối sử dụng loại sợi có l/d bằng 500.



Hình 5. Mối quan hệ giữa biến dạng tại tải lớn nhất với hàm lượng và tỷ lệ l/d của sợi

Ngoài ra, khi tăng hàm lượng sợi sử dụng thì bê tông geopolimer có khả năng biến dạng tăng lên (hình 5) do sợi poly - propylene đã phát huy tốt hiệu ứng bắc cầu trong bê tông geopolimer.

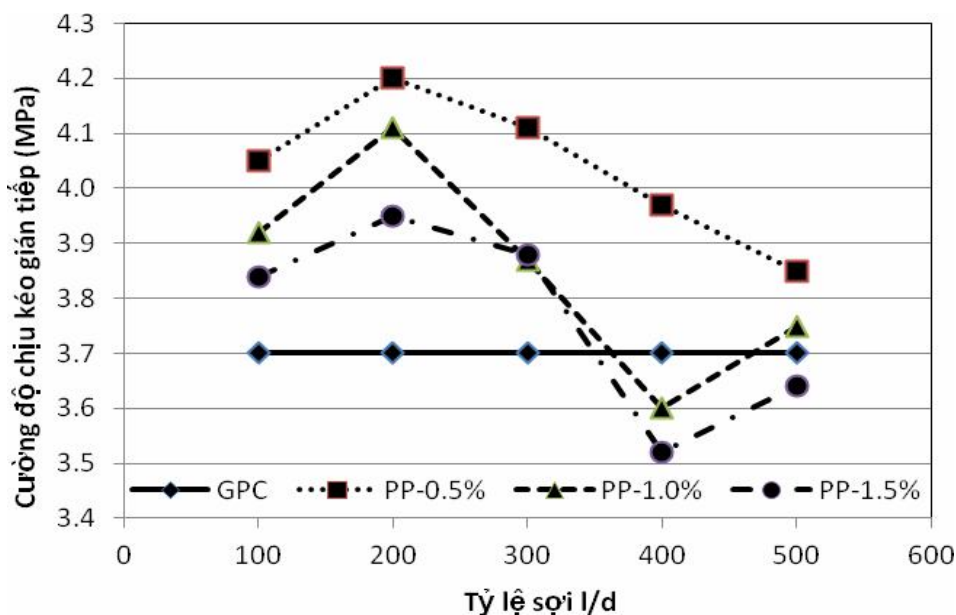


Hình 6. Mối quan hệ giữa ứng suất nén và biến dạng của các cấp phối bê tông geopolimer cốt sợi poly-propylene có tỷ lệ l/d 200

Hình 6 thể hiện ứng xử của bê tông geopolimer sử dụng sợi poly - propylene có tỷ lệ l/d 200 khi chịu nén. Các đường cong ứng suất-biến dạng cho thấy bê tông geopolimer nền có giá trị biến dạng tại ứng suất đỉnh đạt khoảng 0.0021, trong khi các cấp phối sử dụng sợi có tỷ lệ l/d 200 với các hàm lượng từ 0.5% đến 1.5% có giá trị biến dạng nằm trong khoảng từ 0.0024 đến 0.0031.

### 3.3 Khả năng chịu kéo gián tiếp của bê tông geopolimer cốt sợi poly - propylene

Thí nghiệm kéo gián tiếp (ép chèn) và uốn mẫu được thực hiện nhằm xác định khả năng làm việc chịu kéo gián tiếp của bê tông geopolimer sử dụng sợi poly - propylene. Hình 7 thể hiện ảnh hưởng của hàm lượng sợi và tỷ lệ l/d của sợi đến cường độ chịu kéo gián tiếp của các cấp phối bê tông geopolimer.

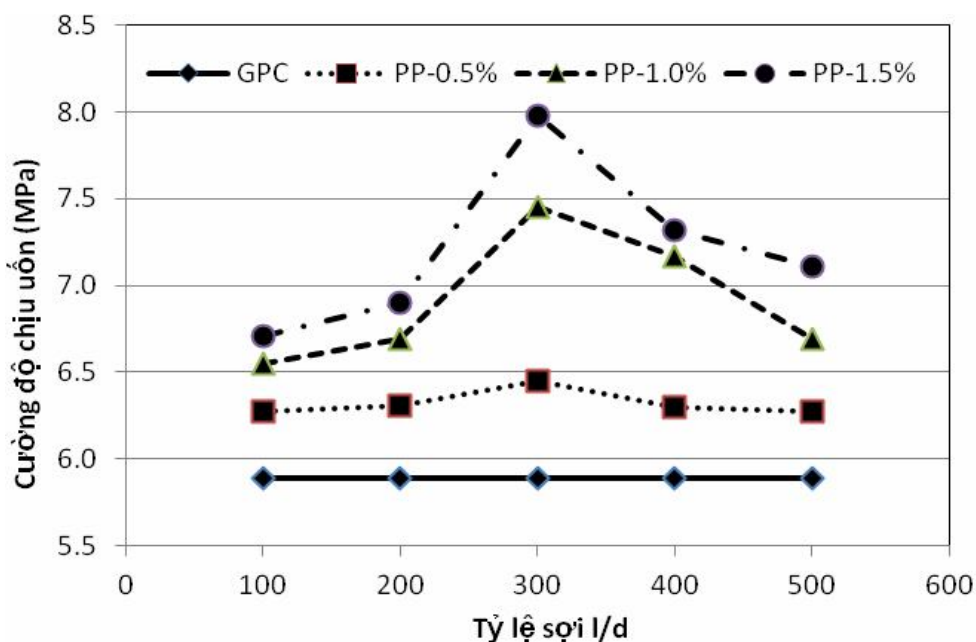


Hình 7. Mối quan hệ giữa cường độ chịu kéo gián tiếp với hàm lượng và tỷ lệ l/d của sợi

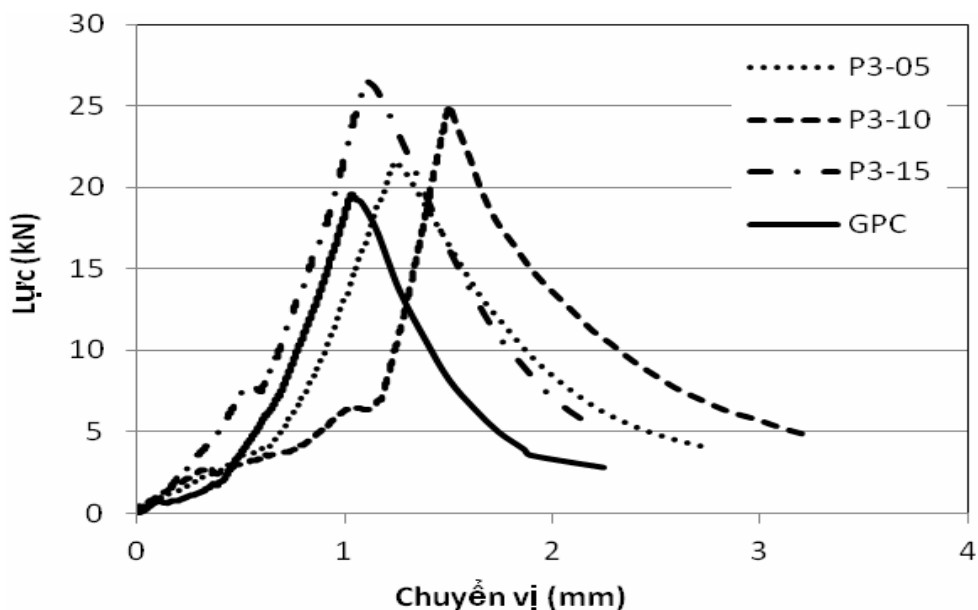
Kết quả cho thấy ảnh hưởng của sợi poly - propylene đến khả năng chịu kéo gián tiếp của bê tông geopolymer nền sử dụng sợi poly - propylene này cũng tương tự như khả năng chịu nén, trong đó cường độ chịu kéo gián tiếp có xu hướng tăng khi hàm lượng sợi sử dụng là 0.5% và giảm khi tăng hàm lượng sợi sử dụng lên 1% và 1.5%. Khi sử dụng hàm lượng sợi poly-propylene 0.5% có tỷ lệ l/d là 200 thì cường

độ chịu gián tiếp đạt 4.2MPa, tăng 13.51% so với cấp phối bê tông geopolymer nền.

Khác với khả năng chịu nén và kéo gián tiếp, cường độ chịu uốn của bê tông geopolymer tăng theo hàm lượng sợi sử dụng cho với tất cả các tỷ lệ l/d của sợi poly - propylene, kết quả thể hiện trên hình 8. Trong đó, cấp phối sử dụng loại sợi có tỷ lệ l/d là 300 với hàm lượng 1.5% thì cường độ chịu uốn đạt 7.98MPa, tăng 35.48% so với cấp phối không sợi.



Hình 8. Mối quan hệ giữa cường độ chịu uốn với hàm lượng và tỷ lệ l/d của sợi

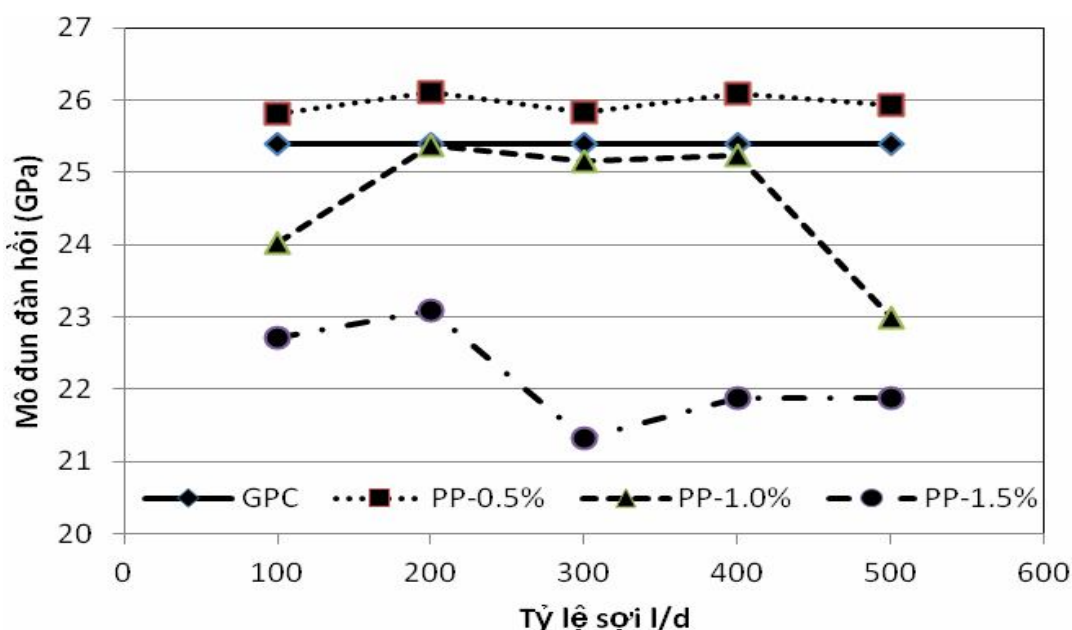


Hình 9. Mối quan hệ giữa lực uốn và chuyển vị của các cấp phối bê tông geopolymer cốt sợi polypropylene có tỷ lệ l/d 300

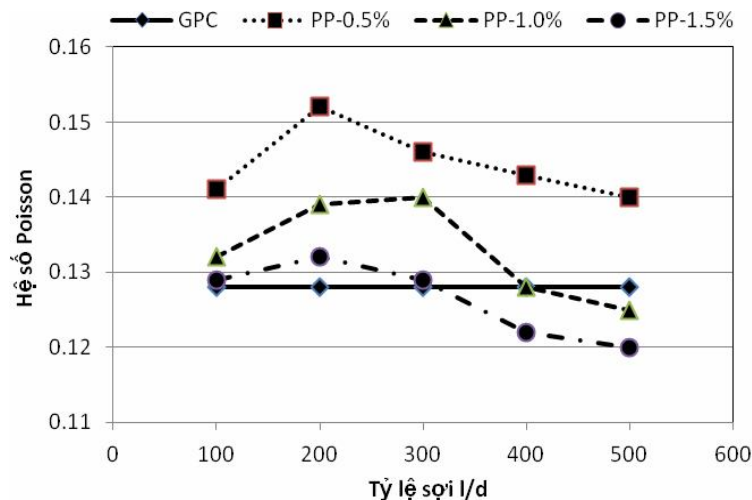
Hình 9 thể hiện ứng xử của bê tông geopolymer sử dụng sợi poly - propylene có tỷ lệ l/d 300 khi chịu uốn. Các đường cong lực - chuyển vị cho thấy khi cấp phối bê tông geopolymer nền sử dụng sợi poly - propylene với hàm lượng 0.5%, cường độ uốn của bê tông geopolymer tăng không đáng kể nhưng tính dẻo của bê tông cũng đã được cải thiện, chuyển vị của dầm cốt sợi poly - propylene cao hơn mẫu

không sợi như trên hình 8. Kết quả này tương đồng với nhận xét của tác giả Zhang và cộng sự [6] khi sử dụng sợi poly propylene có khả năng tăng độ dẻo dai nhiều cho bê tông geopolymer. Khi hàm lượng tăng lên 1% và 1.5%, khả năng chịu uốn tăng cao và chuyển vị của dầm cũng tăng lên.

**3.4 Xác định mô đun đàn hồi và hệ số Poisson của bê tông geopolymer cốt sợi poly - propylene**



Hình 10. Mối quan hệ giữa mô đun đàn hồi với hàm lượng và tỷ lệ l/d của sợi



Hình 11. Mối quan hệ giữa hệ số Poisson với hàm lượng và tỷ lệ l/d của sợi

Mối quan hệ giữa mô đun đàn hồi và hệ số Poisson với hàm lượng và tỷ lệ l/d của sợi cũng tương tự như cường độ chịu nén (hình 10 và hình 11). Khi sử dụng loại sợi poly - propylene có đường kính và chiều dài như trên, giá trị mô đun đàn hồi lớn nhất ứng với cấp phối bê tông nền geopolimer sử dụng sợi 0.5% có tỷ lệ l/d 200 đạt 26.1GPa. Hệ số Poisson của bê tông nền geopolimer đạt 0.128, các cấp phối bê tông geopolimer sử dụng các hàm lượng sợi với các tỷ lệ l/d khác nhau cho giá trị dao động từ 0.12 – 0.152.

#### 4. Kết luận

Bài báo nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của sợi poly-propylene có tỷ lệ chiều dài trên đường kính sợi thay đổi với các giá trị 100, 200, 300, 400 và 500 và hàm lượng sử dụng là 0.5%, 1.0% và 1.5% thể tích đến bê tông geopolimer nền sử dụng tro bay. Các đặc tính cơ học của bê tông geopolimer thay đổi như sau:

- Hỗn hợp bê tông geopolimer sử dụng sợi poly - propylene có độ linh động giảm nhiều so với cấp phối không sợi.
- Bê tông geopolimer nền có khả năng được gia cường về cường độ nén, cường độ kéo và mô đun đàn hồi khi sử dụng thêm sợi poly-propylene với hàm lượng sợi khoảng 0.5%.
- Tỷ lệ chiều dài trên đường kính sợi poly-propylene cũng ảnh hưởng đến các tính chất cơ học của bê tông geopolimer. Tỷ lệ l/d có giá trị tốt nhất trong khoảng từ 200 đến 300.
- Khi sử dụng sợi poly - propylene thì mô đun đàn hồi đạt giá trị trong khoảng từ 21.32 đến 26.1GPa và hệ số Poisson đạt khoảng từ 0.12 đến 0.152. Cần chú ý về hàm lượng và tỷ lệ l/d

của sợi khi sử dụng cho bê tông geopolimer vì có khả năng làm suy giảm mô đun đàn hồi và hệ số Poisson.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Davidovits J. (2011), *Geopolymer Chemistry and Application*, 3rd edition, Geopolymer Institute, French.
- [2] Hardjito D. and Rangan B.V. (2005), "Development and properties of low-calcium fly ash-based geopolimer concrete", Research Report GC1 Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth, Australia.
- [3] Palomo A., Grutzeck M.W. and Blanco M.T. (1999), "Alkali-activated fly ashes – A cement for the future". *Cement and Concrete Research*, 29(8), pp 1323–1329.
- [4] Van Jaarsveld, Van Deventer and Lukey G.C. (2003), "The characterization of source materials in fly ash based geopolymers". *Materials Letters*, 57(7), pp 1272-1280.
- [5] Monita Olivia (2011), "Durability Related Properties of Low Calcium Fly ash based Geopolymer Concrete". PhD Thesis. Department of Civil Engineering, School of Civil and Mechanical Engineering, Curtin University of Technology, Australia.
- [6] Zhang Zu-Hua et al. (2009), "Preparation and mechanical properties of polypropylene fiber reinforced calcined kaolin-fly ash based geopolimer". *Journal of Central South University of Technology*, 16, pp 49-52.

Ngày nhận bài: 14/12/2015.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 04/01/2016.