



EXPERIMENTAL DETERMINATION OF LONG-TERM DEFORMATION DUE TO SHRINKAGE OF GEOPOLYMER CONCRETE WITH FLY ASH BINDING AND BLAST FURNACE SLAG

Nguyen Binh Ha, Vu Thanh Quang*, Le Ba Danh, Nguyen Van Quang

Hanoi University of Civil Engineering, No 55 Giai Phong Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 25/03/2024

Revised: 20/05/2024

Accepted: 28/05/2024

Published online: 15/06/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.5.5>

* *Corresponding author*

Email: vuthquang85@gmail.com; Tel: +84974436393

Abstract. Geopolymer concrete (GPC) is considered an environmentally friendly material. Due to the reduction of CO₂ emissions, there have been many studies on strength and elastic modulus. However, to widely apply in practice, it is necessary to perform the studies on long-term deformation over time of shrinkage. The content of this study presents the aggregate composition of GPC with binder (CKD) of fly ash and blast furnace slag, the experimental process of measuring long-term deformation due to shrinkage of GPC over a period of 6 months, and the treatment Analyze the data and coMPare the results with shrinkage deformation of cement concrete (OPC) calculated according to AASHTO LRFD 2017 standards (TCVN 11823-5:2017) and published research. The research results can determine the deformation of shrinkage over time, which can be used to calculate the loss of prestress due to shrinkage in prestressed cables, and redistribute stress in the steel beam section combined with GPC version, secondary internal force, and so on.

Key word: Geopolymer concrete, fly ash, blast furnace slag, shrinkage, GPC.

@ 2024 University of Transport and Communications



THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH BIẾN DẠNG DÀI HẠN DO CO NGÓT CỦA BÊ TÔNG GEOPOLYMER VỚI CHẤT KẾT DÍNH TRO BAY VÀ XỈ LÒ CAO

Nguyễn Bình Hà, Vũ Thành Quang*, Lê Bá Danh, Nguyễn Văn Quang

Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, Số 55 Giải Phóng, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 25/03/2024

Ngày nhận bài sửa: 20/05/2024

Ngày chấp nhận đăng: 28/05/2024

Ngày xuất bản Online: 15/06/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.5.5>

* Tác giả liên hệ

Email: vuthquang85@gmail.com; Tel: +84974436393

Tóm tắt. Bê tông Geopolymer (GPC) được xem là loại vật liệu thân thiện với môi trường, do giảm phát thải khí CO₂, đã có nhiều nghiên cứu về cường độ, mô đun đàn hồi. Tuy nhiên để áp dụng rộng rãi vào thực tiễn cần có những nghiên cứu về biến dạng dài hạn theo thời gian của co ngót. Nội dung của nghiên cứu này trình bày thành phần cốt liệu của GPC với chất kết dính (CKD) tro bay và xỉ lò cao, quá trình thực nghiệm đo đặc biến dạng dài hạn do co ngót của GPC trong thời gian 6 tháng, xử lý số liệu và so sánh kết quả với biến dạng do co ngót của bê tông xi măng (OPC) được tính toán theo tiêu chuẩn AASHTO LRFD 2017 (TCVN 11823-5:2017) và nghiên cứu đã công bố. Kết quả nghiên cứu có thể xác định được biến dạng của co ngót theo thời gian, sử dụng để tính toán mất mát ứng suất trước do co ngót trong cấp dự ứng lực, phân bố lại ứng suất trong tiết diện dầm thép liên hợp với bản GPC, nội lực thứ cấp...

Từ khóa: Bê tông Geopolymer, tro bay, xỉ lò cao, co ngót. GPC.

@ 2024 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

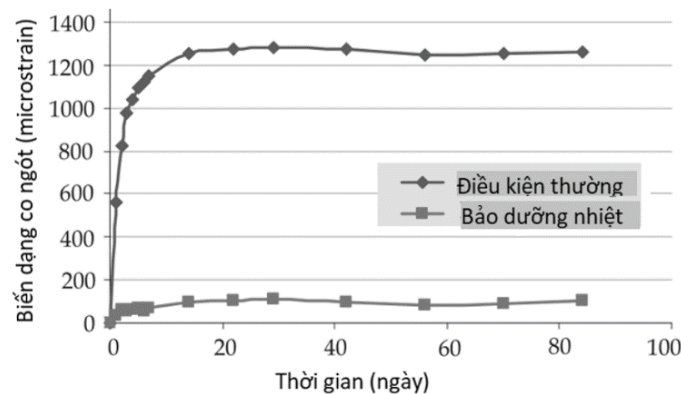
Tại Hội nghị thượng đỉnh về biến đổi khí hậu của Liên Hợp Quốc năm 2021 (COP 26), Chính phủ Việt Nam cam kết đạt mức phát thải ròng bằng 0 vào năm 2050 [1]. Hiện nay tại Việt Nam cứ 1 tấn xi măng sẽ phát thải 667,57kg CO₂, trong khi sản lượng xi măng năm 2022 của Việt Nam là 99,7 triệu tấn [2]. Do đó việc giảm lượng tiêu thụ xi măng trong quá trình xây dựng tại nước ta sẽ đóng góp tích cực cho cam kết của Chính phủ. Trong quá trình công nghiệp hoá hiện đại hoá đất nước không thể thiếu sự phát triển của các nhà máy nhiệt điện và nhà máy

luyện kim, ngoài những lợi ích mang lại thì sự phát triển những ngành công nghiệp này còn dẫn tới lượng chất thải tạo ra cần được xử lý là tro bay (nhà máy nhiệt điện chạy than) và xỉ lò cao (nhà máy luyện kim).

Theo Joseph Davidovits [3] Bê tông Geopolymer (GPC) là loại bê tông không sử dụng xi măng làm chất kết dính mà sử dụng nguồn vật liệu giàu khoáng Al_2O_3 và Si_2O_3 (alumino-silicat) có trong nguồn phế thải của quá trình sản xuất công nghiệp như tro bay của nhà máy nhiệt điện, xỉ lò cao của nhà máy luyện gang, thép... và được hoạt hóa trong môi trường kiềm, vì vậy GPC sẽ giảm đáng kể phát thải CO_2 , do đó trên thế giới GPC được coi là loại vật liệu thân thiện với môi trường. Như vậy, đối với ngành xây dựng nói chung để giảm phát thải CO_2 thì hoàn toàn có thể sử dụng GPC để thay thế OPC.

Các nghiên cứu về GPC chỉ ra rằng, GPC có khả năng phát triển cường độ nhanh [4], khả năng chịu nhiệt tốt [5], [6], không phát sinh nhiệt trong quá trình đông cứng, làm việc tốt trong môi trường sâu thực [7], [4], cường độ chịu nén có thể đạt tới 80-90 MPa [8],...

Một số nghiên cứu cho thấy biến dạng tỷ đối do co ngót của GPC tro bay nhỏ hơn của OPC, co ngót của bê tông GPC tại 56 ngày khoảng 300 microstrain hoặc thấp hơn [5]. Theo B.V. Rangan 2014 [9] GPC tro bay được bảo dưỡng nhiệt trải qua quá trình co ngót rất nhỏ, biến dạng khoảng 100×10^{-6} sau 1 năm (Hình 1). Giá trị này là nhỏ hơn so với biến dạng do co ngót của OPC là từ 500×10^{-6} đến 800×10^{-6} . Theo Mobili và cộng sự [10], Ma và Ye [11], độ co tự sinh của tro bay hoạt tính kiềm (AAF) tương tự hoặc nhỏ hơn OPC.



Hình 1. Co ngót của GPC tro bay [9].

Một số nghiên cứu trong thời gian gần đây cho thấy rằng biến dạng tỷ đối do co ngót của GPC tro bay và xỉ lò cao lớn hơn của OPC; Cartwright và cộng sự 2014 [12] cho rằng độ co ngót tự sinh của xỉ lò cao hoạt tính kiềm (AAS) có thể cao gấp 5 lần so với vữa OPC với tỷ lệ N/XM là 0,4; Các kết quả tương tự cũng đạt được đối với vữa AAS của Kumarappa và cộng sự [13] và S. Uppalapati và cộng sự [14]. Fang và cộng sự [15] cũng cho rằng đối với vữa AAS, ở tuổi 2 ngày giá trị co ngót tự sinh cao hơn nhiều. Chi Hou Un 2021 [16], cũng đã có nghiên cứu về co ngót của GPC và OPC và so sánh độ co ngót tự sinh của chúng với nhau, kết quả độ co tự sinh của GPC gần như gấp đôi so với OPCC. Độ co ngót tự sinh đóng góp khoảng 70% tổng độ co ngót của GPC, trong khi đối với OPCC chỉ khoảng 45% [16]. Như vậy cũng tương tự OPC biến dạng tỷ đối do co ngót phụ thuộc vào tỷ lệ tro bay, xỉ lò cao, chất hoạt hóa và quá trình bảo dưỡng, và giá trị biến dạng tỷ đối do co ngót của GPC cao hơn hoặc nhỏ hơn OPC.

Tại Việt Nam, tác giả Nguyễn Văn Dũng chế tạo GPC từ tro bay, cốt liệu cát Túy Loan và đá Phước Tường, đã khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ của GPC như môđun silicat, nhiệt độ, thời gian dưỡng hộ và lượng nước trộn [17]. Nghiên cứu xác định được thành phần,

các tính chất cơ học như cường độ nén, kéo, uốn, các tính chất về độ bền trong môi trường biển và chịu nhiệt độ cao của vữa và GPC tro bay của Đào Văn Đông [18] [19]. Các tác giả Trần Việt Hưng, Nguyễn Ngọc Long, Đào Văn Đông đã nghiên cứu các tính chất cơ học của GPC tro bay của [20]. Về mô hình quan hệ ứng suất biến dạng khi nén của GPC tro bay được nghiên cứu bởi Trần Việt Hưng, Phạm Duy Hữu, Nguyễn Ngọc Long và Đào Văn Đông [21].

Đối với kết cấu cầu có bài báo “Nghiên cứu ứng dụng bê tông GPC cho kết cấu dầm dự ứng lực công trình cầu hướng tới phát triển bền vững” của nhóm tác giả Lê Bá Danh, Phạm Duy Hoà, Nguyễn Bình Hà và Cao Bắc Đẳng đã kết luận rằng việc sử dụng bê tông GPC cho dầm dự ứng lực trong công trình cầu là rất khả thi và đảm bảo các điều kiện về mặt kỹ thuật [22]. Việc sử dụng GPC trong công trình cầu có tính khả thi cao, nhất là đối với các công trình phải chịu ăn mòn cao như các công trình ven biển và trên biển đã được nhóm tác giả Nguyễn Bình Hà, Nguyễn Quốc Bảo, Vũ Thành Quang đưa ra [23].

Luận án tiến sĩ của Trần Việt Hưng (2017) [24] đã tập trung nghiên cứu thành phần, các tính chất cơ học, xây dựng mô hình vật liệu khi nén của GPC tro bay, phân tích ứng xử uốn của các dầm GPC tro bay cốt thép và đề xuất mô hình xác định sức kháng uốn của mặt cắt dầm bê tông geopolymer tro bay cốt thép áp dụng cho kết cấu cầu. Phạm Quang Đạo (2021) [25] đã đề xuất: Cấp phối chế tạo bê tông GPC trong điều kiện không dưỡng hộ nhiệt có cường độ chịu nén trung bình mẫu trụ đến 50 MPa từ tro bay và xỉ lò cao trong nước, sử dụng chất hoạt hóa kiềm dạng bột khô; Xây dựng được quan hệ giữa các đặc trưng cơ học chủ yếu và mô hình quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông GPC; Đề xuất được lý thuyết tính toán khả năng chịu lực theo phương pháp nội lực giới hạn và công thức tính gần đúng mô men kháng nứt có kể đến biến dạng bê tông không đàn hồi của dầm GPC cốt thép phù hợp với tiêu chuẩn TCVN 5574:2018; Xây dựng mô hình vật liệu và mô phỏng số bằng phương pháp PTHH sự làm việc của dầm GPC cốt thép. Từ đó, đánh giá được ứng xử của vật liệu GPC theo mô hình vật liệu đề xuất [26].

Nghiên cứu liên quan đến biến dạng dài hạn do co ngót của GPC tại Việt Nam hiện chưa thấy được công bố. Do đó để việc áp dụng GPC tại nước ta đi vào thực tiễn thì việc nghiên cứu thực nghiệm về biến dạng dài hạn của GPC chế tạo tại Việt Nam là rất cần thiết, cấp bách và có ý nghĩa khoa học, thực tiễn.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Đối tượng nghiên cứu trong bài báo này là biến dạng tỷ đối do co ngót của GPC chế tạo tại Việt Nam, phương pháp nghiên cứu là tiến hành thực nghiệm đo đạc biến dạng co ngót theo tiêu chuẩn ASTM C157/C157M-17 [27] và TCVN 3117-2022 [28]. So sánh các kết quả đo đạc với mô hình co ngót của tiêu chuẩn thiết kế cầu AASHTO LRFD 2017 [29], với các nghiên cứu đã công bố. Quá trình thí nghiệm được thực hiện tại Phòng thí nghiệm và kiểm định công trình LAS XD125 - Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.

3. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Các nghiên cứu trên thế giới về GPC sử dụng cho bay có bảo dưỡng nhiệt cho kết quả biến dạng tỷ đối do co ngót rất nhỏ so với biến dạng của OPC và bằng khoảng 100.10^{-6} sau một năm. Tuy nhiên cần phải bảo dưỡng nhiệt dẫn đến việc áp dụng vào thực tiễn khó khăn. Với mục đích chế tạo ra loại GPC sử dụng tro bay và xỉ lò cao và không phải bảo dưỡng nhiệt, một số nghiên cứu trên thế giới và Trường Đại học Xây dựng Hà Nội đã nghiên cứu chế tạo ra GPC đạt được cường độ 45 MPa đến 55 MPa để có thể áp dụng cho các kết cấu xây dựng nói chung

Transport and Communications Science Journal, Vol 75, Issue 5 (06/2024), 1763-1774
 và kết cấu cầu nói riêng. Qua nhiều thử nghiệm đã chọn được thành phần cốt liệu như trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần cốt liệu GPC mẫu thí nghiệm.

Cát (kg)	Đá (kg)	Xi lò cao (kg)	Tro bay (kg)	Chất hoạt hóa (kg)	Nước (kg)	SD (kg)
700	1120	330	110	43,75	175	5,5

Trong các nghiên cứu về thành phần vật liệu của GPC chỉ có các thí nghiệm về cường độ kéo, cường độ nén, mô đun đàn hồi, các thí nghiệm về biến dạng theo thời gian như co ngót, từ biến chưa có, đặc biệt là biến dạng tỷ đối do co ngót khi thành phần vật liệu của GPC có tro bay và xi lò cao có thể lớn hơn của OPC. Kế thừa kết quả nghiên cứu về GPC, để tiếp tục nghiên cứu ứng dụng vào kết cấu công trình nhóm tác giả tiếp tục các nghiên cứu về tính chất cơ học của GPC trong đó có biến dạng tỷ đối do co ngót.

Thí nghiệm xác định biến dạng tỷ đối do co ngót của GPC được thực hiện theo tiêu chuẩn TCVN 3105: 2022, với các nội dung sau:

- Đúc 01 tổ mẫu gồm không ít hơn ba viên mẫu lăng trụ có kích thước 70mm x 70mm x 280mm.
- Mẫu GPC được đúc và bảo dưỡng dưỡng cho tới khi tháo khuôn.
- Sau khi tháo khuôn, các mẫu trong tổ được giữ ở điều kiện nhiệt ẩm giống nhau cho đến khi tiến hành đo đạc (không quá 4h) và tránh không làm GPC bị mất ẩm.
- Mẫu được đặt nằm ngang, biến dạng co ngót được xác định bằng thiết bị đo CoMParator, có chiều dài thanh chuẩn là 300mm.
- Các số đo được tính từ lần đo đầu tiên, sau 2, 5, 8, 12 ngày... cho tới khi kết thúc ở 180 ngày (Bảng 2).

Sơ đồ bố trí dụng cụ và các mẫu thí nghiệm đo co ngót được thể hiện trên Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ thí nghiệm đo co ngót và bố trí thiết bị đo trên mẫu thí nghiệm.

Sử dụng đồng hồ đo có hệ số khuếch đại $K=1000$, chuẩn đo $l = 30\text{cm}$, ta xác định được biến dạng tại các thời điểm sau: Tại thời điểm ban đầu ($t=0$) ta có số đọc trên đồng hồ là c_0 , tại các thời điểm đo biến dạng sau - tại thời điểm ngày thứ t (ngày) ta có số đọc trên đồng hồ là c_t , Chênh lệch chiều dài biến dạng tại thời điểm t và t_0 là $\Delta_l(t)(\text{mm})$ được xác định như sau:

$$\Delta_l(t) = \frac{c_t - c_o}{K} (mm) \quad (1)$$

Do đó biến dạng tỷ đối do co ngót của từng mẫu bê tông tại thời điểm đo được tính như sau:

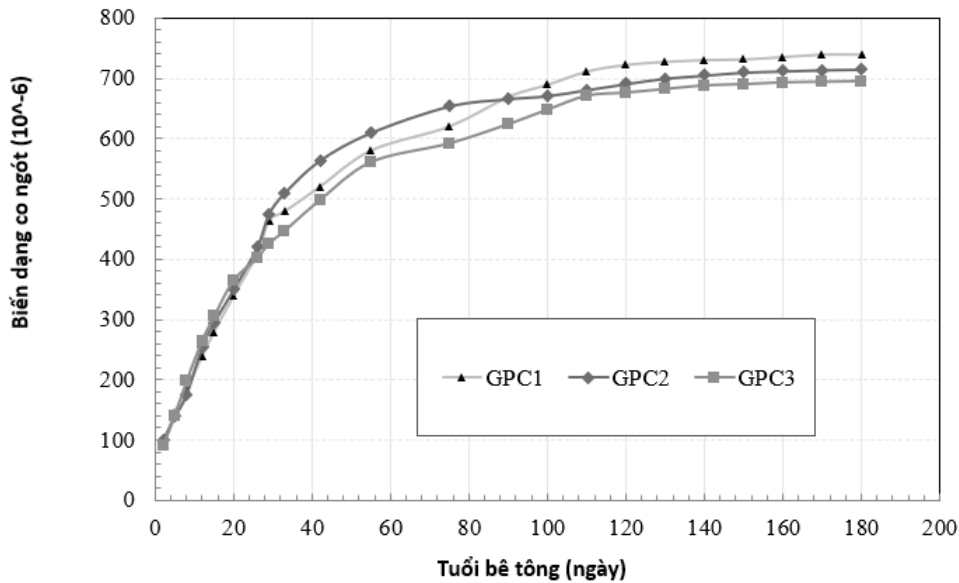
$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta_l(t)}{l} \quad (2)$$

Các kết quả đo biến dạng tỷ đối do co ngót của 3 mẫu GPC được tính toán và ghi trong Bảng 2.

Bảng 2. Bảng kết quả đo co ngót GPC trong thời gian 180 ngày.

Ngày	Biến dạng tỷ đối $\varepsilon(t) \times 10^{-6}$		
	GPC1	GPC2	GPC3
2	90	100	90
5	146	139	141
8	184	166	198
12	264	270	254
15	316	320	326
20	351	370	368
26	410	420	402
29	465	475	426
33	480	510	447
42	521	564	498
55	581	610	561
75	621	654	592
90	670	666	624
100	690	671	648
110	712	681	671
120	723	691	676
130	728	700	682
140	731	705	688
150	732	710	690
160	736	712	693
170	740	714	694
180	740	715	695

Biểu đồ biến dạng tỷ đối do co ngót theo thời gian của các mẫu GPC:



Hình 3. Quan hệ biến dạng tỷ đối do co ngót của các tổ mẫu theo thời gian t.

Qua kết quả đo được trình bày trong Bảng 2 và đồ thị trên Hình 3 cho thấy, số liệu của 3 mẫu là khá tập trung, không có đột biến, biến dạng tỷ đối do co ngót của GPC phát triển nhanh nhất trong thời gian từ 2 đến 26 ngày tuổi, từ ngày 26 đến ngày 75 biến dạng tỷ đối do co ngót vẫn tăng nhưng tốc độ đã giảm nhiều và từ 120 ngày đến 180 ngày gần như không phát triển, biểu đồ có dấu hiệu đi ngang.

- Trong khoảng thời gian từ 2 đến 75 ngày, biến dạng tỷ đối do co ngót của mẫu GPC1 thay đổi từ 0 đến 84%, mẫu GPC2 từ 0 đến 91%, mẫu GPC3 từ 0 đến 85%. Tính chung trong khoảng 2 đến 75 ngày biến dạng tỷ đối do co ngót của GPC đạt khoảng 84% đến 91%.

- Trong khoảng thời gian từ 75 đến 120 ngày, biến dạng tỷ đối do co ngót của mẫu GPC1 thay đổi từ 84% đến 98%, mẫu GPC2 từ 91% đến 96%, mẫu GPC3 từ 85% đến 97%. Như vậy trong khoảng 75 đến 120 ngày biến dạng tỷ đối do co ngót của GPC tăng thêm khoảng 5% đến 14%.

- Trong khoảng thời gian từ 120 đến 180 ngày, biến dạng tỷ đối do co ngót của mẫu GPC1 tăng thêm 2%, mẫu GPC2 tăng thêm 3%, mẫu GPC3 tăng thêm 2,7%. Như vậy trong khoảng 120 đến 180 ngày biến dạng tỷ đối do co ngót của GPC tăng thêm khoảng 2% đến 3%.

Nhằm đánh giá kết quả đo được từ thực nghiệm của co ngót, chúng ta tiến hành so sánh biểu đồ co ngót theo thời gian của GPC với mô hình co ngót của OPC theo tiêu chuẩn AASHTO LRFD 2017 [29], TCVN 11823: 5.

Biến dạng tỷ đối do co ngót ϵ_{sh} của OPC tại thời điểm t được tính toán theo tiêu chuẩn AASHTO LRFD 2017 [29] và TCVN 11823:5 như sau:

$$\epsilon_{sh} = k_s k_{hs} k_f k_{td} 0,48 \times 10^{-3} \quad (3)$$

trong đó:

k_{hs} = hệ số độ ẩm cho co ngót, $k_{hs} = (2,00 - 0,014H)$; k_s = hệ số ảnh hưởng của tỷ lệ giữa thể tích với bề mặt cấu kiện, $k_s = 1,45 - 0,0051(V/S) \geq 1,0$; k_f = hệ số ảnh hưởng của cường độ bê tông, $k_f = \frac{35}{7+f'_{ci}}$; k_{td} = hệ số phụ thuộc thời gian, $k_{td} = \frac{t}{12\left(\frac{100-0,58f'_{ci}}{0,145f'_{ci}+20}\right)+t}$; t = tuổi

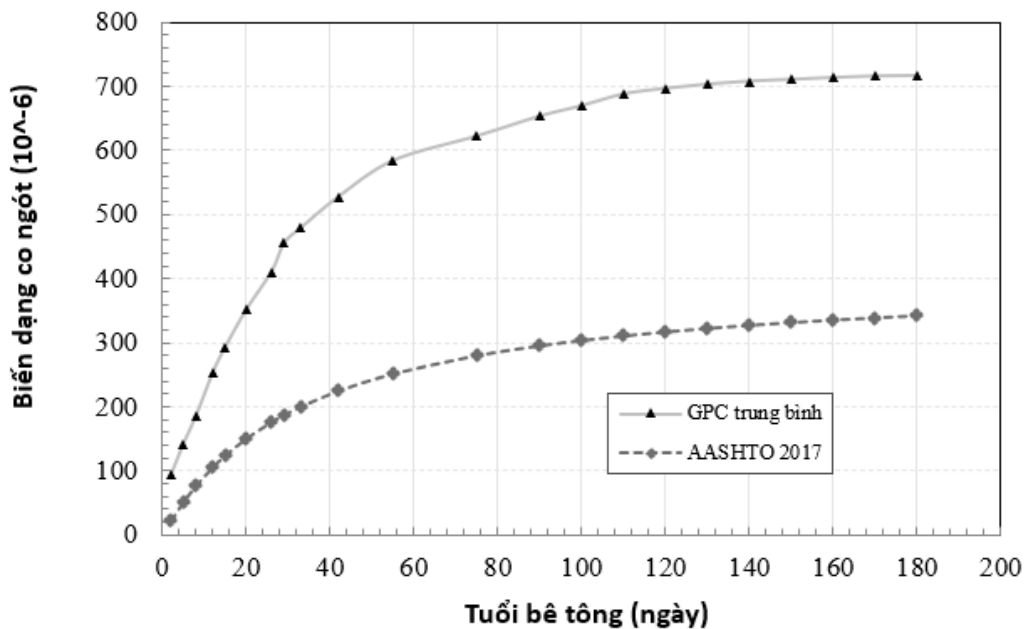
của bê tông (ngày); t_i = tuổi của bê tông tại thời điểm tác dụng của tải trọng (ngày); V/S = tỉ lệ giữa thể tích với bề mặt cấu kiện (mm); f'_{ci} = cường độ nén quy định của bê tông tại thời điểm căng dự ứng lực cho cấu kiện căng sau và tại thời điểm gia tải ban đầu của các cấu kiện không dự ứng lực.

Dựa vào công thức trên ta tính toán được biến dạng tỷ đối do co ngót của OPC theo thời gian thí nghiệm của mẫu GPC. Bảng 3 trình bày kết quả biến dạng tỷ đối do co ngót của OPC tính theo công thức của tiêu chuẩn AASHTO LRFD 2017 [29], kết quả trung bình khi đo thực nghiệm của GPC và tỷ lệ phần trăm giữa chúng.

Bảng 3. Kết quả so sánh giá trị biến dạng tỷ đối co ngót giữa GPC thực nghiệm với OPC theo tiêu chuẩn AASHTO LRFD 2017.

Ngày	Biến dạng tỷ đối $\varepsilon(t) \times 10^{-6}$		GPC/OPC (%)
	GPC trung bình	AASHTO LRFD 2017	
2	93	23	411
5	142	52	271
8	186	78	239
12	253	106	238
15	293	125	235
20	352	151	233
26	411	177	232
29	455	188	243
33	479	201	239
42	528	225	234
55	584	252	232
75	622	280	222
90	653	296	221
100	670	304	220
110	688	311	221
120	697	317	220
130	703	323	218
140	708	328	216
150	711	332	214
160	714	336	213
170	716	339	211
180	717	342	209

Từ kết quả ở Bảng 3, ta có biểu đồ so sánh biến dạng tỷ đối do co ngót của GPC với OPC theo AASHTO LRFD 2017 như sau:

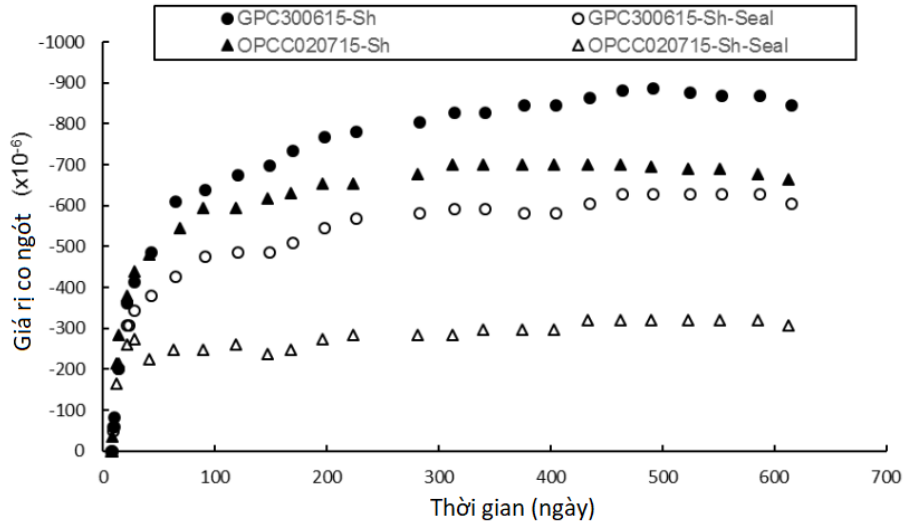


Hình 4. So sánh kết quả thực nghiệm biến dạng tỷ đối do co ngót GPC với OPC theo tiêu chuẩn AASHTO LRFD 2017.

Biểu đồ trên Hình 4 cho thấy biến dạng tỷ đối do co ngót của mẫu GPC luôn cao hơn của OPC. Biến dạng tỷ đối do co ngót của GPC và OPC tăng dần theo thời gian, tăng nhanh trong thời gian đầu và tăng không đáng kể ở thời điểm 120 ngày trở đi. Trong thời gian 33 ngày đầu, tốc độ biến dạng của GPC lớn hơn của OPC nhiều. So với OPC thì biến dạng tỷ đối do co ngót của GPC bằng 4 lần trong 2 ngày đầu và giảm dần về bằng 2 lần ở thời điểm 180 ngày. Giá trị của biến dạng tỷ đối do co ngót tại thời điểm 180 ngày bằng $\epsilon=717 \times 10^{-6}$.

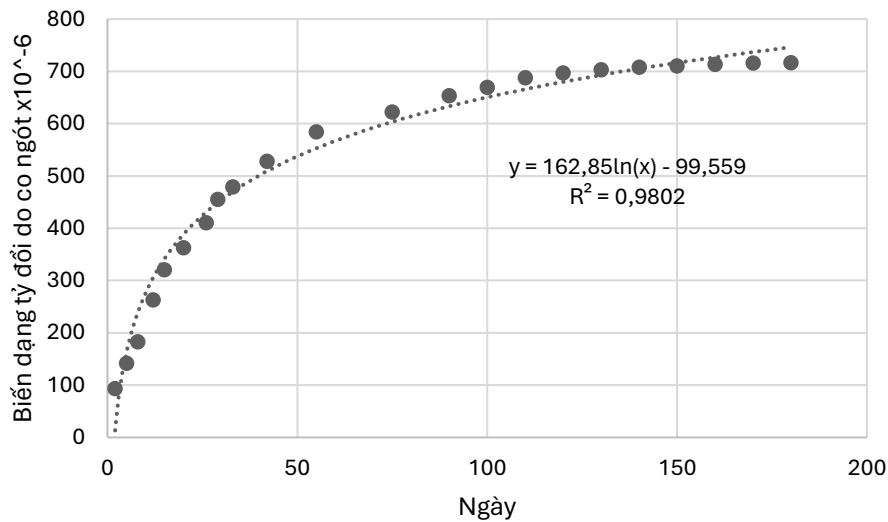
Đối với GPC co ngót do hai nguyên nhân chính là co ngót tự sinh và co ngót khô, trong thành phần hỗn hợp tro bay và xỉ lò cao kích hoạt kiềm thì phản ứng của kiềm với cả tro bay và xỉ có thể gây ra sự co ngót tự sinh, nhưng phản ứng giữa kiềm và xỉ tạo ra độ co ngót cao hơn so với giữa kiềm và tro bay, chủ yếu là do khả năng phản ứng của tro bay thấp hơn nhiều so với xỉ ở nhiệt độ môi trường xung quanh. Do đó khi có xỉ lò cao vào trong thành phần vật liệu thì co ngót của GPC sẽ lớn hơn khi chỉ dùng tro bay, điều này cũng có thể giải thích cho giá trị co ngót đo được trong thực nghiệm lớn hơn OPC.

Kết quả đo biến dạng tỷ đối do co ngót của GPC sử dụng tro bay và xỉ lò cao theo thời gian chế tạo tại Trường Đại học Xây dựng khá tương đồng với kết quả của Chi Hou Un [23] được thể hiện trên Hình 5, trong đó giá trị biến dạng tỷ đối của co ngót ở thời điểm 180 ngày cũng gần với giá trị đo được từ thí nghiệm và qua đó củng cố thêm độ tin cậy của kết quả thí nghiệm. Có thể sử dụng đồ thị về biến dạng tỷ đối của co ngót của Chi Hou Un và kết quả thực nghiệm trong 180 ngày để suy đoán kết quả biến dạng tỷ đối do co ngót của GPC chế tạo tại Trường Đại học Xây dựng Hà nội trong thời gian từ 180 ngày đến hơn 600 ngày.



Hình 5. Co ngót tổng và co ngót tự sinh của GPC và OPC.

Dựa vào kết quả tính trung bình biến dạng tỷ đối do co ngót của ba mẫu GPC, sử dụng phương pháp hồi quy xác định được phương trình quan hệ giữa biến dạng tỷ đối do co ngót theo thời gian là $y = 162,85 \ln(x) - 99,559$ trong đó x được tính bằng ngày, biểu đồ và phương trình hồi quy được thể hiện trên Hình 6.



Hình 6. Phương trình hồi quy xác định biến dạng của GPC.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nội dung bài báo đã trình bày kết quả thực nghiệm đo đặc biến dạng dài hạn co ngót của vật liệu GPC. Kết quả đo đạc và xử lý số liệu đã được so sánh với tiêu chuẩn AASHTO 2017 và TCVN 11823:5-2017, và so sánh với kết quả nghiên cứu đã công bố.

Kết quả nghiên cứu cho thấy biến dạng tỷ đối do co ngót của GPC tăng dần theo thời gian, tăng nhanh trong thời gian đầu và tăng không đáng kể ở thời điểm 120 ngày trở đi.

So với OPC thì biến dạng tỷ đối do co ngót của GPC bằng 4 lần trong 2 ngày đầu và giảm dần về bằng 2 lần ở thời điểm 180 ngày. Biến dạng tỷ đối do co ngót tại thời điểm 180 ngày bằng $\varepsilon=717 \times 10^{-6}$.

Kết quả nghiên cứu này có thể sử dụng cho các nghiên cứu tiếp theo để tính toán mất mát ứng suất trong cấp ứng suất trước của dầm GPC ứng suất trước, dầm thép liên hợp với bản GPC và nội lực phát sinh trong hệ siêu tĩnh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Minh Hanh, Khánh Ly, COP28, Hội nghị toàn diện đầu tiên về tiến trình thực hiện Thỏa thuận Paris, Cục biến đổi khí hậu - Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2023. <http://www.dcc.gov.vn/tin-tuc/3965/COP28:-Hoi-nghi-toan-dien-dau-tien-ve-tien-trinh-thuc-hien-Thoa-thuan-Paris.html>, truy cập ngày 15 tháng 12 năm 2023
- [2]. Xi măng Việt Nam, Thị trường xi măng - Sản lượng tiêu thụ xi măng kỳ vọng được phục hồi trong năm 2024 (2024). <https://ximang.vn/bien-dong-thi-truong/thi-truong-xi-mang/san-luong-tieu-thu-xi-mang-ky-vong-duoc-phuc-hoi-trong-nam-2024-18999.htm>, truy cập ngày 1 tháng 2 năm 2024.
- [3]. J. Davidovits, Geopolymers, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 37 (1991) 1633.
- [4]. Phan Duy Thuận và các cộng sự, Nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của hàm lượng muối sulphate đến cường độ chịu nén của bê tông thường và bê tông Geopolymer, Tạp chí Xây dựng, 608 (2018) 73-77.
- [5]. Jonh Day, James Aldred, Is Geopolymer concrete a suitable alternative to traditional concrete?, 37th Conference on Our World in Concrete & Structures, Singapore, (2012) 29-31, https://www.wagner.com.au/media/1517/jaldred_jday_geopolymer-concrete_singapore-2012.pdf, truy cập ngày 3/2/2024.
- [6]. T. Bakharev, Thermal Behaviour of Geopolymers Prepared Using Class F Fly Ash and Elevated Temperature Curing, Cement and Concrete Research, 36 (2006) 1134-1147. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.03.022>
- [7]. T. Bakharev, Resistance of geopolymer materials to acid attack, Cement and Concrete Research, 35 (2005) 658-670.
- [8]. Rangan, Djwantoro Hardjito, Development and properties of low-calcium fly ash-based geopolymer concrete, Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth, Australia, (2005).
- [9]. B. V. Rangan, Geopolymer concrete for environmental protection, The Indian Concrete Journal, 88 (2014) 41-48, 50-59.
- [10]. A. Mobili, A.B., C. Giosuè, T. Bellezze, F. Tittarelli, Metakaolin and fly ash alkaliactivated mortars compared with cementitious mortars at the same strength class, Cem. Concr. Res, 88 (2016) 198-210.
- [11]. Y. Ma, G.Y., The shrinkage of alkali activated fly ash, Cement and Concrete Research, 68 (2015) 75-82. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.10.024>
- [12]. C. Cartwright, F. Rajabipour, Aleksandra Radlińska, Shrinkage Characteristics of Alkali-Activated Slag Cements, Journal of Materials in Civil Engineering, 27 (2014). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001058](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001058)
- [13]. B.D. Kumarappa, S. Peethamparan, M. Ngami, Autogenous shrinkage of alkali activated slag mortars: Basic mechanisms and mitigation methods, Cement and Concrete Research, 109 (2018) 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.04.004>
- [14]. Siva Uppalapati, Shiju Joseph, Özlem Cizer, Autogenous shrinkage and strength development of alkali-activated slag/fly ash mortar blends, 5th International Slag Valorisation Symposium, Belgium, (2017) 393-396.

- [15]. G. Fang, W.T., Y. Zhu, M. Zhang, Autogenous shrinkage of alkali-activated fly ash-slag pastes with and without SAP, Proceedings of the 4th International Conference on Service Life Design for Infrastructures, (2018), 449–455. https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10060591/1/2018_SLD4.pdf
- [16]. Chi Hou Un, Creep Behaviour of Geopolymer Concrete, Doctoral Thesis, Swinburne University of Technology, Melbourne, Australia, (2017).
- [17]. Nguyễn Văn Dũng, Nghiên cứu chế tạo bê tông geopolymer từ tro bay, Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng, 5 (2014) 22-25.
- [18]. Đào Văn Đông, Nghiên cứu một số tính chất cơ học của bê tông Polyme vô cơ, Tạp chí Cầu đường Việt Nam, 12 (2009) 22-26.
- [19]. Đào Văn Đông, Nghiên cứu một số tính chất của vữa polyme vô cơ trong môi trường ăn mòn nước biển, Tạp chí Giao thông Vận tải, 6 (2011) 24-26.
- [20]. Trần Việt Hưng, Đào Văn Đông, Nguyễn Ngọc Long, Nghiên cứu xác định khả năng dính bám với cốt thép của GPC tro bay, Tạp chí Giao thông vận tải, 6 (2017) 49-52.
- [21]. Trần Việt Hưng, Phạm Duy Hữu, Nguyễn Ngọc Long, Đào Văn Đông, Mô hình quan hệ ứng suất biến dạng khi nén của GPC tro bay, Tạp chí Giao thông vận tải, 5 (2017).
- [22]. Lê Bá Danh, Phạm Duy Hoà, Nguyễn Bình Hà, Cao Bắc Đăng, Nghiên cứu ứng dụng bê tông Geopolymer cho kết cấu dầm dự ứng lực công trình cầu hướng tới phát triển bền vững, Tạp chí Xây dựng, 10 (2021) 148-152.
- [23]. Nguyễn Bình Hà, Nguyễn Quốc Bảo, Vũ Thành Quang, Nghiên cứu ứng dụng bê tông geopolymer cho cầu dầm liên tục bê tông cốt thép dự ứng lực, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, 17 (2023) 32-41.
- [24]. Trần Việt Hưng, Nghiên cứu thành phần, đặc tính cơ lý của bê tông Geopolymer tro bay và các ứng dụng cho kết cấu Cầu Hàm, Luận án tiến sỹ, Trường Đại học Giao thông Vận tải, 2017.
- [25]. Phạm Quang Đạo, Nghiên cứu sự làm việc của dầm bê tông cốt thép sử dụng tro bay và xi lò cao làm chất kết dính geopolymer, Luận án tiến sỹ, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 2021.
- [26]. TCVN 5574 : 2018, Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép, Tiêu chuẩn Quốc gia, Bộ Khoa học và Công nghệ, (2018).
- [27]. ASTM C157/C157M-17, Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete, American Society for Testing and Materials, 2017.
- [28]. TCVN 3117: 2022, Bê tông - Phương pháp xác định độ co, Tiêu chuẩn Quốc gia, Bộ Khoa học và Công nghệ, xuất bản lần 3, 2022.
- [29]. AASHTO, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. Section 5: Concrete Structures. 2017, Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2017.