

Nghiên cứu biến dạng từ biến của bê tông tự đầm cường độ cao sử dụng tro trấu, Metakaolin và các dòng phụ gia siêu dẻo thế hệ mới

Tạ Văn Phan^{1*}

¹ Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi

TỪ KHOÁ

Bê tông tự đầm
Từ biến
Tro trấu
Metakaolin
Phụ gia siêu dẻo

TÓM TẮT

Biến dạng dài hạn, đặc biệt là từ biến, là một trong những chỉ tiêu quan trọng nhất đối với bê tông tự đầm cường độ cao (HSSCC) trong các kết cấu nhịp lớn và dự ứng lực. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm về ảnh hưởng của phụ gia khoáng hoạt tính bao gồm Metakaolin (MK) và Tro trấu (RHA) kết hợp với các loại phụ gia siêu dẻo (GP) dòng Ether Polycarboxylate đến trị số từ biến (C0) của đá xi măng (sản phẩm sau khi hồ hợp vữa xi măng đóng rắn) và cũng là của bê tông. Thí nghiệm được thực hiện trên các mẫu đầm kích thước 25x40x550 mm trong thời gian 180 ngày. Kết quả chỉ ra rằng tro trấu giúp giảm đáng kể độ từ biến (đến 50%), trong khi sự tương thích giữa phụ gia khoáng và loại phụ gia siêu dẻo đóng vai trò quyết định. Phụ gia dòng Melflux giúp giảm trị số từ biến từ 50-120%, ngược lại dòng Glenium (đặc biệt là Glenium 30) có thể làm tăng độ từ biến lên tới 4 lần.

KEYWORDS

Self-compacting concrete
Creep
Rice husk ash
Metakaolin
Superplasticizers

ABSTRACT

Long-term deformations, particularly creep, are among the most critical parameters for High-Strength Self-Compacting Concrete (HSSCC) used in long-span and prestressed structures. This paper presents experimental research findings on the influence of active mineral admixtures, including Metakaolin (MK) and Rice Husk Ash (RHA), in combination with Polycarboxylate Ether (PCE) superplasticizers, on the creep measure (C0) of hardened cement paste and concrete. The experiments were conducted on beam specimens measuring 25x40x550 mm over a duration of 180 days. The results indicate that Rice Husk Ash significantly reduces creep (by up to 50%), while the compatibility between the mineral admixture and the type of superplasticizer plays a decisive role. Melflux-series additives were found to reduce the creep measure by 50-120%; conversely, the Glenium series (notably Glenium 30) can increase creep by up to four times.

1. Giới thiệu

Bê tông tự đầm cường độ cao (HSSCC) ngày càng khẳng định ưu thế trong xây dựng hiện đại nhờ khả năng thi công vượt trội và tính năng cơ lý cao. Hỗn hợp bê tông tự đầm cho phép thực hiện việc đổ bê tông cho hầu hết mọi loại kết cấu, kể cả các kết cấu có mật độ cốt thép dày đặc. Chính vì vậy, thời gian gần đây loại bê tông này ngày càng được sử dụng rộng rãi trong việc xây dựng các công trình độc đáo và đặc biệt. Tuy nhiên, việc sử dụng hàm lượng chất kết dính lớn và tỷ lệ Nước/Xi măng (N/X) thấp dẫn đến những đặc thù về biến dạng dài hạn. Từ biến (creep) – sự gia tăng biến dạng theo thời gian dưới tác dụng của tải trọng tĩnh không đổi – có thể gây ra hiện tượng mất mát ứng suất trong bê tông dự ứng lực, làm gia tăng độ võng và nứt kết cấu.

Việc sử dụng các phụ gia khoáng hoạt tính siêu mịn như Metakaolin (MK) và Tro trấu (RHA - một phế phẩm nông nghiệp dồi dào tại Việt Nam) giúp tinh chỉnh cấu trúc vi mô của đá xi măng. Tuy nhiên, tương tác giữa các loại phụ gia này với phụ gia siêu dẻo (GP) đến đặc tính từ biến vẫn chưa được nghiên cứu đầy đủ. Bài báo này tập trung giải quyết vấn đề trên thông qua các thực nghiệm chuyên sâu.

2. Nguyên vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên vật liệu



Hình 1. Nguyên vật liệu thí nghiệm.

*Liên hệ tác giả: tavanphan@gmail.com

Nhận ngày 23/03/2026, sửa xong ngày 02/04/2026, chấp nhận đăng ngày 03/04/2026

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2026.1291>

- **Xi măng (XM)** [3]: Sử dụng xi măng Portland loại PC50 (tương đương mẫu xi măng Nghi Sơn hoặc Hoàng Thạch tại Việt Nam) có hàm lượng C_3S và độ mịn cao.

- **Cốt liệu nhỏ** [1] [2]: Cát dùng cho công tác xây dựng (loại tự nhiên đã qua sàng tuyển) được sử dụng làm cốt liệu nhỏ. Cát được cung cấp dưới dạng hai thành phần hạt (phân đoạn): hạt lớn (kích thước hạt từ 1,25 đến 5 mm) và hạt nhỏ (kích thước hạt từ 0,16 đến 0,63 mm), đáp ứng tiêu chuẩn TCVN 7570:2006.

- **Nước** [4]: Nước được sử dụng để chế tạo hỗn hợp vữa là nước máy, đáp ứng các yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 4506:2012.

- **Phụ gia khoáng** [6]:

+ **Tro trấu (RHA)**: Được sản xuất bằng phương pháp đốt kiểm soát, hàm lượng SiO_2 vô định hình chiếm 90-95 %, độ mịn đạt $10.000\text{ cm}^2/\text{g}$.

+ **Phụ gia khoáng Metakaolin (MK)**: Sản phẩm nhiệt hoạt hóa aluminosilicate, diện tích bề mặt riêng $15.000\text{ cm}^2/\text{g}$.

- **Phụ gia siêu dẻo gồm Glenium 30, 51, Melflux 2651, 5581 (GP)** [5]:

+ Dòng Melflux (2651F, 5581F) dạng bột.

+ Dòng Glenium (Ace 30, 51) dạng lỏng.

2.2. Thành phần cấp phối

Dựa theo nguyên lý chế tạo bê tông tự đầm cường độ cao [11][12][13] thành phần cấp phối của bê tông tự đầm cường độ cao thường bao gồm các nguyên vật liệu chính như:

- Xi măng, cốt liệu lớn (đá), cốt liệu nhỏ (cát), phụ gia khoáng mịn, phụ gia hóa học (phụ gia siêu dẻo thế hệ mới), nước.

Tuy nhiên để xét đến tính từ biến của bê tông, ta chỉ cần xét đến tính từ biến của hỗn hợp vữa sau khi đã đông cứng mà không cần có cốt liệu lớn. [14] [15]

Do vậy thành phần cấp phối của hỗn hợp vữa để xác định chỉ số từ biến, không mất tính đại diện ta chọn theo bảng 1 sau đây:

Bảng 1. Thành phần cấp phối xác định chỉ số từ biến.

Cấp phối	Xi măng, gam	Cát mịn, gam	Tro trấu, gam	Metakaolin, gam	Glenium 30, ml	Glenium 51, ml	Melflux 2651, ml	Melflux 5581, ml	Nước, ml
1	1900	1900							640
2	1710	1900	190						640
3	1710	1900		190					640
4	1520	1900	190	190					640
5	1520	1900	190	190	20,9				640
6	1520	1900	190	190		22,8			640
7	1520	1900	190	190			8,9		640
8	1520	1900	190	190				7,6	640

2.3. Thiết lập thí nghiệm từ biến



Hình 2. Các mẫu đầm được bọc kín để đảm bảo độ ẩm không đổi trong suốt quá trình thử nghiệm.

Để nghiên cứu biến dạng từ biến thuần túy và loại bỏ co ngót khô, các mẫu đầm kích thước $25 \times 40 \times 550\text{ mm}$ được bọc kín bằng màng nilon ngay sau khi bảo dưỡng (Hình 2).

Thiết bị đo từ biến bao gồm khung thép cứng và hệ thống gia tải bằng quả cân tập trung tại giữa nhịp đầm (Hình 3). Biến dạng (độ võng) được theo dõi qua đồng hồ so có độ chính xác $0,01\text{ mm}$.



Hình 3. Sơ đồ gia tải tập trung và vị trí đặt đồng hồ đo độ võng tại giữa nhịp đầm.

Quy trình đo được thực hiện liên tục trong 180 ngày (Hình 4). Trong tuần đầu tiên, số liệu được thu thập hàng ngày, sau đó là 1 lần/tuần và 2 tuần/lần trong các tháng tiếp theo.



Hình 4. Hệ thống thiết bị thử nghiệm từ biến đồng thời cho nhiều tổ mẫu tại phòng thí nghiệm.

2.4. Phương pháp nghiên cứu

Việc xác định ảnh hưởng của các chất biến tính đến chỉ số từ biến (độ từ biến) của đá xi măng được thực hiện theo phương pháp [10], phù hợp theo [7] [8] [9]. Bản chất của phương pháp này là xác định độ võng của mẫu đầm nhỏ làm từ đá xi măng dưới tác động kéo dài của một tải trọng cố định (Hình 4), tương tự như mô tả trong mục 2.3. Thử nghiệm tiến hành trên các mẫu đầm kích thước 25x40x550 mm. Các mẫu được bảo dưỡng trong điều kiện tiêu chuẩn trước khi gia tải. Thử nghiệm được thực hiện trong thời gian 180 ngày (24 tuần).

Hệ số từ biến (φ) được tính toán bằng tỷ lệ giữa biến dạng từ biến (f_{cr}) và biến dạng đàn hồi tức thời (f_{el})

$$\varphi = \frac{f_{cr}}{f_{el}} = \frac{f - f_{el}}{f_{el}}$$

Trị số từ biến (C_0) được xác định thông qua độ võng của đầm theo thời gian dưới tải trọng tĩnh không đổi.

$$C_0 = \frac{\varphi}{E_0}$$

E_0 : là mô đun đàn hồi của đá xi măng [14]

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả đo lường chỉ số từ biến của đá xi măng (Bảng 2)

Bảng 2. Chỉ số từ biến của đá xi măng theo thời gian.

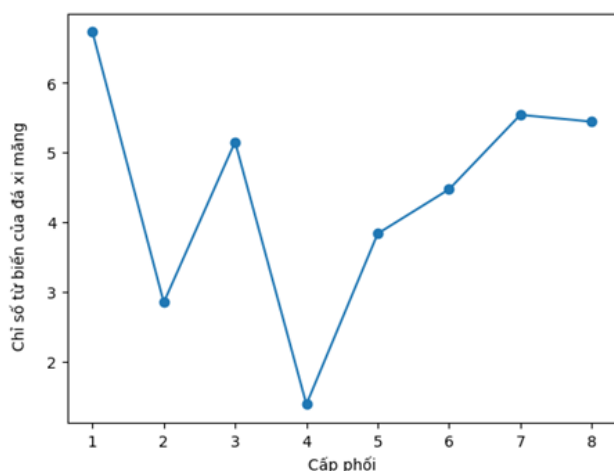
Cấp phối	Chỉ số từ biến của đá xi măng						
	0	1 tuần	2 tuần	4 tuần	6 tuần	8 tuần	10 tuần
1	6.728	6.757	6.773	6.801	6.821	6.842	6.85
2	2.85	2.886	2.89	2.896	2.9	2.904	2.908
3	5.152	5.18	5.202	5.23	5.242	5.242	5.242
4	1.389	1.423	1.443	1.477	1.5	1.51	1.522
5	3.837	3.882	3.932	4.051	4.155	4.24	4.28
6	4.472	4.478	4.5	4.542	4.58	4.608	4.612
7	5.54	5.547	5.552	5.558	5.566	5.575	5.575
8	5.442	5.463	5.472	5.488	5.504	5.52	5.532

Cấp phối	Chỉ số từ biến của đá xi măng						
	12 tuần	14 tuần	16 tuần	18 tuần	20 tuần	22 tuần	24 tuần
1	6.86	6.874	6.885	6.885	6.892	6.892	6.892
2	2.91	2.917	2.932	2.932	2.943	2.943	2.948
3	5.242	5.255	5.255	5.262	5.262	5.262	5.256
4	1.53	1.536	1.536	1.553	1.553	1.605	1.608

Cấp phối	Chỉ số từ biến của đá xi măng						
	12 tuần	14 tuần	16 tuần	18 tuần	20 tuần	22 tuần	24 tuần
5	4.32	4.363	4.382	4.41	4.44	4.457	4.498
6	4.63	4.647	4.654	4.655	4.678	4.678	4.695
7	5.58	5.59	5.598	5.598	5.602	5.602	5.602
8	5.537	5.54	5.546	5.549	5.549	5.554	5.555

3.2. Ảnh hưởng của Metakaolin (MK) và Tro trấu (RHA) và phụ gia siêu dẻo (GP) đến chỉ số từ biến của đá xi măng

Trị số từ biến (C_0) là chỉ tiêu đặc trưng cho khả năng biến dạng của đá xi măng dưới tác dụng của một đơn vị ứng suất. Dựa trên dữ liệu thực nghiệm, chúng tôi xác định được:



Hình 5. Ảnh hưởng của Metakaolin (MK) và Tro trấu (RHA) và phụ gia siêu dẻo (GP) đến chỉ số từ biến của đá xi măng.

Nhận xét kết quả từ biểu đồ:

- Hiệu quả của Phụ gia khoáng (RHA & MK):

Sự kết hợp giữa Tro trấu và Metakaolin (cấp phối 4) cho kết quả tốt nhất, làm giảm trị số từ biến xuống mức thấp nhất (từ khoảng 6,89 xuống khoảng 1,61). Điều này chứng tỏ cấu trúc đá xi măng trở nên đặc chắc hơn đáng kể.

Chỉ riêng Tro trấu (cấp phối 2) đã có khả năng giảm từ biến tốt hơn so với chỉ dùng Metakaolin (Cấp phối 3).

- Ảnh hưởng "ngược" của Phụ gia siêu dẻo (GP):

Dữ liệu cho thấy: Khi thêm phụ gia siêu dẻo (Glenium hoặc Melflux) vào hỗn hợp RHA + MK, trị số từ biến lại tăng lên so với khi không có phụ gia siêu dẻo (so sánh cấp phối 5, 6, 7, 8 với cấp phối 4).

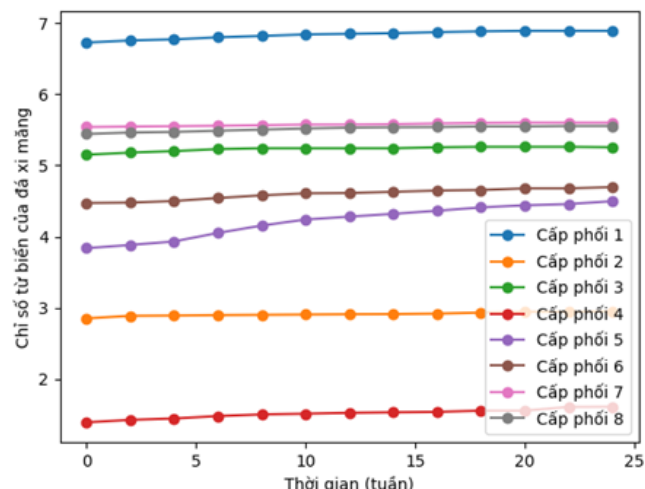
Cụ thể, Glenium 30 (cấp phối 5) khiến từ biến tăng mạnh hơn so với khi chỉ dùng phụ gia khoáng đơn thuần. Tuy nhiên, tất cả các cấp phối có phụ gia vẫn có chỉ số từ biến thấp hơn so với cấp phối đối chứng (cấp phối 1).

- Tính tương thích:

Dòng Melflux (cấp phối 7, 8) cho thấy chỉ số từ biến cao hơn so với dòng Glenium trong thí nghiệm này (khoảng 5,5 – 5,6). Điều này khẳng định nhận định về việc "sự tương thích giữa phụ gia khoáng và loại phụ gia siêu dẻo đóng vai trò quyết định.

Kết quả chỉ ra rằng tro trấu giúp giảm đáng kể độ từ biến (đến 50 %), trong khi sự tương thích giữa phụ gia khoáng và loại phụ gia siêu dẻo đóng vai trò quyết định. Phụ gia dòng Melflux giúp giảm trị số từ biến từ 50-120 % (chênh lệch độ từ biến của cấp phối 7 là 0,062 và cấp phối 1 là 0,164), ngược lại dòng Glenium (đặc biệt là Glenium 30) có thể làm tăng độ từ biến lên tới 4 lần (chênh lệch độ từ biến của cấp phối 5 là 0,661 và cấp phối 1 là 0,164).

3.3. Sự phát triển chỉ số từ biến của đá xi măng theo thời gian



Hình 6. Sự phát triển chỉ số từ biến của đá xi măng theo thời gian.

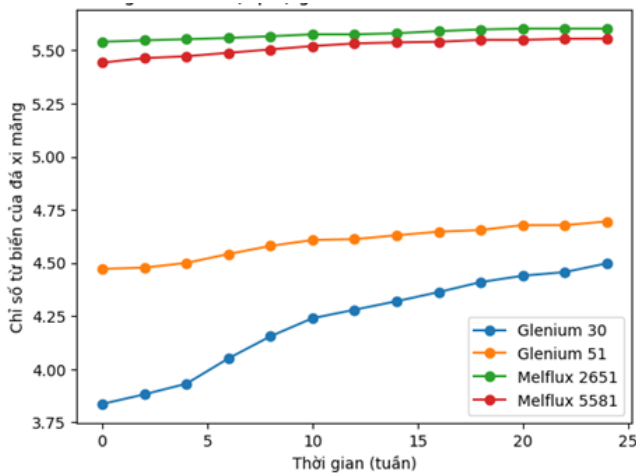
Nhận xét kết quả từ biểu đồ:

- Chỉ số từ biến tăng dần theo thời gian nhưng tốc độ tăng giảm dần sau khoảng 18-24 tuần.

- Cấp phối 4 (RHA & MK) cho giá trị thấp nhất, chứng tỏ hiệu quả của phụ gia khoáng hoạt tính trong việc giảm từ biến.

- Xi măng thuần (cấp phối 1) có từ biến lớn nhất, phản ánh cấu trúc mao quản kém đặc hơn.

3.4. Ảnh hưởng của từng loại phụ gia siêu dẻo (GP) đến từ biến của đá xi măng



Hình 7. Ảnh hưởng của từng loại phụ gia siêu dẻo (GP) đến từ biến của đá xi măng.

Nhận xét kết quả từ biểu đồ:

- Glenium 30 → từ biến thấp nhất trong nhóm GP.
- Melflux 2651 và 5581 → từ biến cao hơn, cho thấy cấu trúc polymer ảnh hưởng đến biến dạng dài hạn.
- Sự khác biệt không quá lớn → GP chủ yếu ảnh hưởng đến phân tán hạt và cấu trúc lỗ rỗng, không làm thay đổi cơ chế từ biến cơ bản.

4. Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu thực nghiệm, bài báo rút ra các kết luận sau:

- Sự kết hợp Metakaolin + tro trấu làm giảm đáng kể chỉ số từ biến của đá xi măng, còn phụ gia siêu dẻo GP chủ yếu ảnh hưởng đến mức độ phân tán và cấu trúc lỗ rỗng, dẫn đến thay đổi nhẹ giá trị từ biến. Tro trấu (RHA) là phụ gia khoáng tiềm năng giúp giảm từ biến hiệu quả cho bê tông cường độ cao nhờ khả năng tinh chỉnh cấu trúc lỗ rỗng mao dẫn.
- Kết quả thí nghiệm cho thấy chỉ số từ biến của đá xi măng tăng theo thời gian và có xu hướng ổn định sau khoảng 20–24 tuần. Việc bổ sung tro trấu và metakaolin làm giảm đáng kể từ biến so với mẫu chỉ có xi măng (mẫu đối chứng).
- Các loại phụ gia siêu dẻo gốc polycarboxylate ether có ảnh hưởng khác nhau đến chỉ số từ biến của đá xi măng. Trong đó Glenium 30 cho giá trị từ biến thấp nhất, trong khi các sản phẩm Melflux có xu hướng làm tăng nhẹ chỉ số từ biến.
- Đề tối ưu hóa đồng thời khả năng giảm từ biến, tổ hợp MK + BS + Melflux 2651 được khuyến nghị sử dụng cho bê tông tự đầm cường độ cao.

5. Kiến nghị

Từ các kết quả nghiên cứu đạt được, nhóm tác giả đưa ra một số kiến nghị như sau:

- Về lựa chọn vật liệu: Trong thiết kế cấp phối bê tông tự đầm cường độ cao (HSSCC) cho các kết cấu nhịp lớn hoặc bê tông dự ứng lực (nơi từ biến gây mất mát ứng suất nghiêm trọng), ưu tiên sử dụng kết hợp Tro trấu (RHA) và Metakaolin (MK) để kiểm soát biến dạng dài hạn.
- Về sử dụng phụ gia: Cần đặc biệt lưu ý đến tính tương thích giữa phụ gia khoáng và phụ gia siêu dẻo. Khuyến cáo sử dụng phụ gia siêu dẻo dòng Melflux khi mục tiêu chính là giảm từ biến. Nếu sử dụng dòng Glenium, cần tính toán bù trừ độ vồng do hệ số từ biến có thể cao hơn.

Hướng nghiên cứu tiếp theo:

- Nghiên cứu ảnh hưởng của các loại phụ gia này đến biến dạng co ngót đồng thời với từ biến để có cái nhìn toàn diện về biến dạng dài hạn.
- Thực hiện các nghiên cứu về độ bền lâu của cấp phối có hàm lượng RHA và MK cao để đảm bảo tuổi thọ công trình trong điều kiện môi trường khắc nghiệt tại Việt Nam.
- Ứng dụng thực tiễn: Các đơn vị thiết kế và thi công có thể tham khảo tổ hợp cấp phối 4 (RHA + MK) để áp dụng cho các cấu kiện đòi hỏi độ ổn định kích thước cao, giúp giảm chi phí vật liệu thông qua việc tận dụng phế phẩm nông nghiệp (tro trấu).

Tài liệu tham khảo

- [1]. TCVN 7570:2006, Cốt liệu cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật.
- [2]. TCVN 7572-1 + 20:2006, Cốt liệu cho bê tông và vữa - Phương pháp thử.
- [3]. TCVN 2682:2009, Xi măng Poóc lăng - Yêu cầu kỹ thuật.
- [4]. TCVN 4506:2012, Nước cho bê tông và vữa - Yêu cầu kỹ thuật.
- [5]. TCVN 8826:2012, Phụ gia hóa học cho bê tông.
- [6]. TCVN 8827:2012, Phụ gia khoáng hoạt tính cao dùng cho bê tông và vữa - Silica fume và tro trấu nghiền mịn.
- [7]. TCVN 10306:2014, Bê tông cường độ cao - Thiết kế thành phần mẫu hình trụ.
- [8]. TCVN 12209:2018, Bê tông tự lèn - Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử.
- [9]. TCVN 10181:2014, Bê tông - Phương pháp thử từ biến.
- [10]. Цементы, бетоны, строительные растворы и сухие смеси Ч.1: Справ. Ч.1: Справ. Под ред. П.Г. Комохова. – С.-Пб.: НПО «Профессионал», 2007.
- [11]. Sidney Mindess, J.Francis Young and David Darwin, Concrete, Second edition, Pearson Education, Inc - Upper Saddle River, NJ 07548.
- [12]. Hajime Okamura and Masahiro Ouchi, Self-Compacting Concrete, Journal of Advanced Concrete Technology Vol 1, Japan, (2003).
- [13]. Benjamin A. Graybeal, Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete, FHWA – HRT – 06 – 103, US Department of Transportation Federal Highway Administration, (2006).
- [14]. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н. Самоуплотняющиеся бетоны: модуль упругости и мера ползучести// Строительные материалы. – 2009. - №.6 – С.
- [15]. Несветаев Г.В. Применение модели Хирча для прогнозирования меры ползучести бетона/Строительство 2008 Материалы межд. конф. Ростов-на-Дону: РГСУ, 2008. – С. 101 – 102.