



## EFFECT OF FLY ASH AND GROUND GRANULATED BLAST - FURNACE SLAG ON STRENGTH OF HIGH PERFORMANCE FINE GRAINED-CONCRETE

Ngô Duc Chinh\*, Lê Thanh Hà, Đỗ Anh Tú

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

### ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 13/08/2024

Revised: 22/11/2024

Accepted: 11/12/2024

Published online: 15/12/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.9.10>

\* *Corresponding author*

Email: chindhnd@utc.edu.vn; Tel: +84965810381

**Abstract.** The use of fly ash (FA) and ground granulated blast-furnace slag (GGBFS) as partial replacements for cement in concrete is currently attracting significant attention from both domestic and international scientists. This approach aims to address large volumes of industrial waste sustainably. This paper presents the effects of FA and GGBFS on the flexural and compressive strength of high-performance fine-grained concrete (HPFGC). In this study, FA replaced 30% of the cement by weight, while GGBFS replaced cement in amounts ranging from 15% to 45% by weight. The results indicate that FA and GGBFS reduce the amount of superplasticizer needed and improve the workability of the concrete mixture. It is possible to produce HPFGC with up to 75% of FA and GGBFS replacing cement while achieving a compressive strength of up to 80 MPa. Increasing the FA and GGBFS content in the placement of cement reduces the compressive strength of the concrete at an early age of 3 days; however, at 7 days and especially at 28 days, the compressive strength of HPFGC is equal to or higher than that of concrete using 100% cement, depending on the amount of FA and GGBFS used. However, the flexural strength of concrete with FA and GGBFS at 3 days, 7 days, and 28 days is consistently lower than the flexural strength of the concrete using 100% cement.

**Keywords:** Fine grained-concrete, high performance, fly ash, ground granulated blast-furnace slag, compressive strength, flexural strength.

@ 2024 University of Transport and Communications



## ẢNH HƯỞNG CỦA TRO BAY VÀ XỈ LÒ CAO ĐẾN CƯỜNG ĐỘ CỦA BÊ TÔNG HẠT NHỎ TÍNH NĂNG CAO

Ngô Đức Chinh\*, Lê Thanh Hà, Đỗ Anh Tú

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 13/08/2024

Ngày nhận bài sửa: 22/11/2024

Ngày chấp nhận đăng: 11/12/2024

Ngày xuất bản Online: 15/12/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.9.10>

\* Tác giả liên hệ

Email: chinhnd@utc.edu.vn; Tel: +84965810381

**Tóm tắt.** Sử dụng tro bay (TB) và xỉ lò cao (XLC) thay thế một phần xi măng trong bê tông hiện nay đang được sự quan tâm lớn của các nhà khoa học trong nước cũng như trên thế giới, nhằm giải quyết lượng lớn phế thải công nghiệp này theo hướng phát triển bền vững. Bài báo trình bày ảnh hưởng của TB và XLC đến cường độ chịu uốn và nén của bê tông hạt nhỏ tính năng cao (BTHNTNC). Trong nghiên cứu này, TB được thay thế xi măng với hàm lượng 30% theo khối lượng, XLC được thay thế xi măng từ 15-45% theo khối lượng. Kết quả cho thấy, TB và XLC làm giảm lượng dùng phụ gia siêu dẻo và làm tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông; có thể chế tạo BTHNTNC với tổng lượng dùng TB và XLC lên tới 75% thay thế xi măng và cường độ chịu nén đạt đến 80 MPa. Tăng hàm lượng TB và XLC thay thế xi măng làm giảm cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi sớm 3 ngày, nhưng ở 7 ngày và đặc biệt ở 28 ngày cường độ chịu nén của BTHNTNC bằng hoặc cao hơn bê tông sử dụng 100% xi măng tùy theo lượng TB và XLC thay thế. Tuy nhiên, cường độ chịu uốn của bê tông sử dụng TB và XLC ở 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày nhỏ hơn cường độ chịu uốn của bê tông 100% xi măng.

**Từ khóa:** Bê tông hạt nhỏ, cường độ cao, tro bay, xỉ lò cao nghiền mịn, cường độ chịu nén, cường độ chịu uốn.

@ 2024 Trường Đại học Giao thông vận tải

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, tro bay nhiệt điện và xỉ lò cao là hai trong số phế thải công nghiệp được thải ra nhiều nhất trên thế giới cũng như ở nước ta. Tro bay là bụi khí thải dưới dạng hạt nhỏ thu được từ quá trình đốt cháy nhiên liệu than đá trong các nhà máy nhiệt điện. Xỉ lò cao là phế thải của ngành công nghiệp luyện quặng sắt thành gang. Theo quy hoạch phát triển ngành

điện nước ta đến năm 2030, nhiệt điện than vẫn chiếm tỷ trọng lớn đến 51,6%. Khoảng 200 triệu tấn than sẽ được dùng cho nhiệt điện và gần 40 triệu tấn tro xỉ sẽ thải ra môi trường [1]. Việc tận dụng phế thải tro xỉ không những làm giảm thiểu ô nhiễm môi trường, bảo vệ tài nguyên thiên nhiên, tiết kiệm có hiệu quả nguồn tài nguyên thiên nhiên không tái tạo được mà còn mang lại hiệu quả kinh tế bằng cách tạo nên các sản phẩm có giá trị và tiết kiệm được diện tích đất lớn làm bãi chứa hoặc chôn lấp.

Các nghiên cứu về sử dụng riêng rẽ tro bay [2-7], xỉ lò cao nghiền mịn [8, 9] hay kết hợp giữa hai loại phụ gia khoáng trên [10-14] cho bê tông đã được tiến hành ở Việt Nam và nhiều nước trên thế giới. Một số nghiên cứu cho thấy, tro bay làm tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông hạt nhỏ, phù hợp với các hạng mục đòi hỏi bê tông có độ linh động cao [6]. Ngoài ra, tro bay làm giảm cường độ của bê tông hạt nhỏ ở tuổi sớm (3, 7 ngày), cường độ chịu nén có thể giảm từ 5-20%, cường độ chịu uốn giảm 4-16% khi hàm lượng TB thay thế xi măng từ 10-30% ở 28 ngày [6]. Nghiên cứu khác cho thấy, có thể chế tạo bê tông sử dụng đến 60% tro bay thay thế xi măng cho cường độ ở tuổi dài ngày (28 ngày hoặc hơn) cao hơn so với bê tông đối chứng (BTĐC) [5]. Sử dụng 40% XLC thay thế xi măng có thể cho cường độ nén cao hơn BTĐC đến 40% ở tuổi muộn (28 ngày hoặc hơn) và cường độ của bê tông giảm đi so với BTĐC khi sử dụng 60%, 75% hoặc 90% XLC thay thế xi măng [8, 9].

Các nghiên cứu và thực tế sản xuất chỉ ra rằng, TB từ nhà máy nhiệt điện và XLC từ nhà máy luyện gang thép là chất kết dính phụ thêm rất tốt có thể thay thế một phần hoặc hoàn toàn xi măng và vật liệu gốc xi măng để chế tạo bê tông tính năng cao hạt nhỏ. Với tỷ lệ TB/XLC dao động từ 20/80 đến 80/20, bê tông phát triển cường độ rất tốt, dao động từ 71,1 MPa đến 83,7 MPa [12]. Cường độ uốn của bê tông hạt nhỏ ở các độ tuổi sớm, đặc biệt là ở 3 ngày tuổi thì XLC và TB làm giảm cường độ. Với hàm lượng TB không đổi là 20%, khi sử dụng XLC với hàm lượng 15%-35%, cường độ của bê tông từ 7 ngày trở đi tăng nhẹ theo chiều hướng gia tăng XLC và đạt cường độ cao nhất khi ở 35% XLC. Khi hàm lượng XLC lên đến 45%, cường độ của bê tông giảm xuống đáng kể. Cụ thể, bê tông có hàm lượng 20% TB và 45% XLC có cường độ uốn đạt 69,7% và 71,9% so với bê tông đối chứng tương ứng ở 3 và 7 ngày. Tuy nhiên ở 28 và 56 ngày, cường độ của các loại bê tông chứa TB và XLC chỉ thấp hơn không đáng kể so với bê tông đối chứng [13, 14].

Bài báo trình bày ảnh hưởng của TB và XLC đến lượng dùng phụ gia siêu dẻo, tính công tác (độ chảy loang) cường độ chịu uốn và cường độ chịu nén của bê tông hạt nhỏ tính năng cao (BTHNTNC). TB được thay thế xi măng với hàm lượng 30% theo khối lượng, XLC được thay thế xi măng từ 15-45 % theo khối lượng.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vật liệu chế tạo

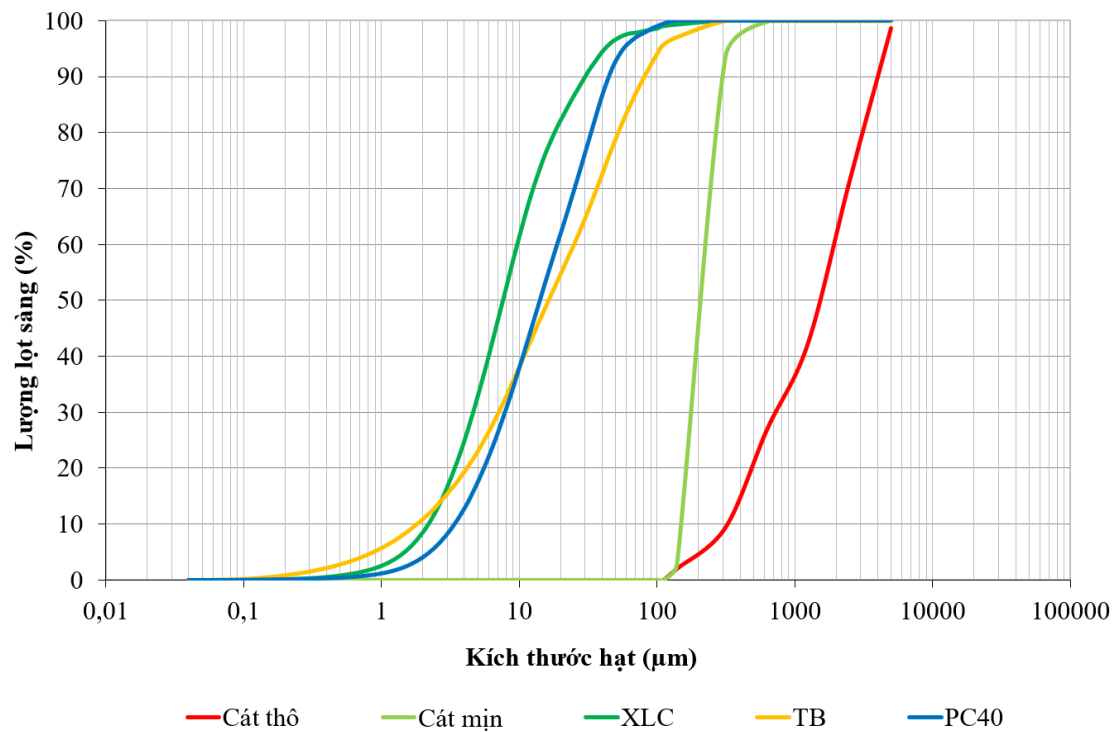
Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu gồm: xi măng Bút Sơn PC40, tro bay nhiệt điện Phả Lại (TB), xỉ lò cao nghiền mịn Hòa Phát loại F (XLC) S95 xuất khẩu đảm bảo chất lượng theo TCVN 11586:2016, cát mịn Móng Cái có kích thước hạt < 0,63 mm, cát thô sông Lô có kích thước hạt < 5,0 mm (khối lượng riêng của cát là 2,65g/cm<sup>3</sup>), và phụ gia siêu dẻo của hãng Sika (PGSD-3000 20M). Bảng 1 thể hiện thành phần hóa của xi măng, TB và XLC. Bảng 2 là các chỉ tiêu cơ lý cơ bản của xi măng, TB và XLC. Hình 1 là phân bố kích thước hạt phân tích laser của xi măng PC40, TB, XLC; cát mịn và cát thô được xác định thành phần hạt theo phương pháp sàng. Cấu trúc hạt của xi măng PC40, TB và XLC dưới kính hiển vi điện tử (chụp tại Viện hàn Lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam) được trình bày trong Hình 2.

Bảng 1. Thành phần hóa (%) của xi măng, TB và XLC.

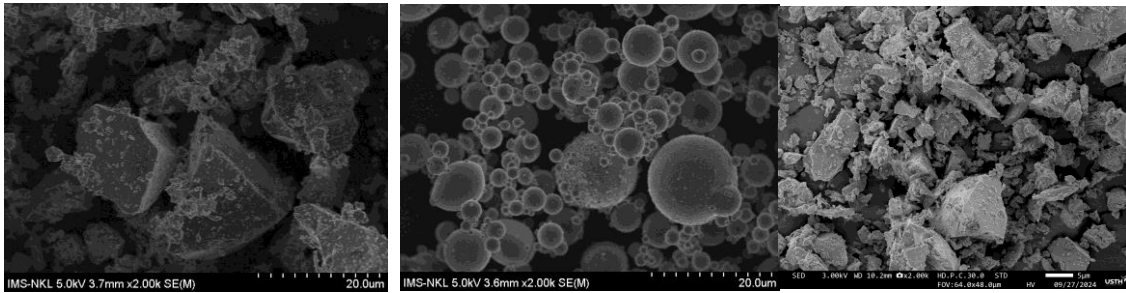
Oxit	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MKN
<b>Xi măng</b>	21,29	3,30	5,72	63,18	1,10	1,50	0,30	0,12	0,20
<b>TB</b>	53,88	6,70	21,82	4,27	1,45	0,20	3,40	0,67	6,27
<b>XLC</b>	35,88	-	12,99	38,13	7,5	-	0,78	0,23	1,0

Bảng 2. Chỉ tiêu cơ lý cơ bản của XM, TB và XLC.

Chỉ tiêu	Xi măng	Tro bay	Xi lò cao
<b>Khối lượng riêng (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>3,12</b>	<b>2,24</b>	<b>2,89</b>
<b>Kích thước hạt trung bình (μm)</b>	<b>14,12</b>	<b>16,42</b>	<b>7,87</b>



Hình 1. Phân bố kích thước hạt của TB, XLC, xi măng PC40, cát mịn và cát thô.



Hình 2. Cấu trúc hạt lần lượt của xi măng, TB và XLC dưới kính hiển vi điện tử SEM.

## 2.2. Thành phần cấp phối bê tông hạt nhỏ tính năng cao

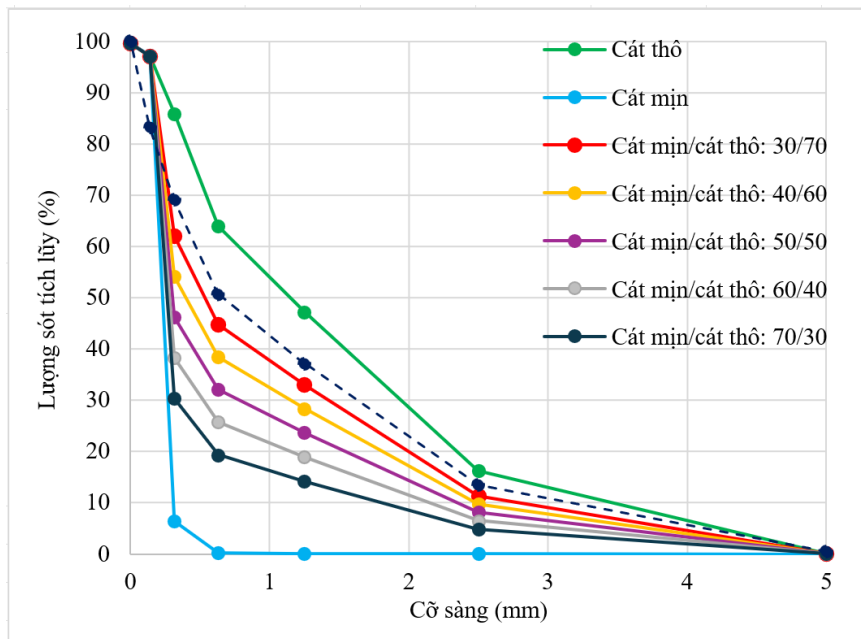
Trong thiết kế thành phần cấp phối bê tông hạt nhỏ (BTHN) có tính công tác tốt (độ chảy loang lớn (260-300mm)), thành phần hạt của hỗn hợp cốt liệu được tính theo lý thuyết độ lèn chặt Funk and Dinger với  $q = 0,25$  [15], theo phương trình sau:

$$P(D) = \frac{D^q - D_{min}^q}{D_{max}^q - D_{min}^q} \quad (1)$$

Trong đó,

- $P(D)$  là phần trăm khối lượng của cốt liệu lọt sàng kích thước  $D_{mm}$ ;
- $D_{min}$  và  $D_{max}$  lần lượt là kích thước hạt nhỏ nhất và lớn nhất trong hỗn hợp cốt liệu, mm.

Tỷ lệ phối hợp giữa các loại cốt liệu sẽ cho phân bố kích thước hạt của hỗn hợp cốt liệu phù hợp với đường cong lý thuyết với độ lệch chuẩn nhỏ nhất. Trong nghiên cứu này, lý thuyết độ lèn chặt Funk and Dinger được áp dụng với  $q = 0,25$ ;  $D_{max} = 5$  mm and  $D_{min} = 0,14$  mm. Đường biểu diễn thành phần cấp phối hạt của hỗn hợp cốt liệu với các tỷ lệ cát mịn /cát thô khác nhau được biểu diễn trong Hình 3.



Hình 3. Cấp phối hạt của cốt liệu.

Từ các kết quả thực nghiệm trên, có thể thấy rằng, tỷ lệ cát mịn/cát thô = 30/70 cho hỗn

hợp cốt liệu phù hợp với đường cong lý thuyết nhất. Do vậy tỷ lệ cát mịn/cát thô = 30/70 được lựa chọn để tính toán thành phần cấp phối BTHNTNC.

Bê tông được coi là có tính năng cao thì tính công tác phải cao, khả năng lấp đầy khuôn tốt, khả năng tự lèn, tự chảy tốt. Bê tông được coi là có tính năng cao thì cường độ chịu nén phải cao, đạt từ 55 MPa trở lên (đến 100 MPa) (TCVN 10306:2014). Mục tiêu chế tạo hỗn hợp BTHNTNC trong nghiên cứu này có độ chảy cao, tính công tác tốt (độ chảy loang từ 260-300mm) và cường độ nén cao (>75 MPa).

Thành phần cấp phối của bê tông hạt nhỏ độ chảy cao được xác định theo lý thuyết thể tích đặc tuyệt đối. Tỷ lệ N/X được xác định theo cường độ nén [15, 16], TB thay thế xi măng với hàm lượng 30% theo khối lượng, XLC được thay thế xi măng với hàm lượng 15%, 30% và 45% theo khối lượng. Thành phần cấp phối của BTHNTNC nghiên cứu sau tính toán được thể hiện trong Bảng 3.

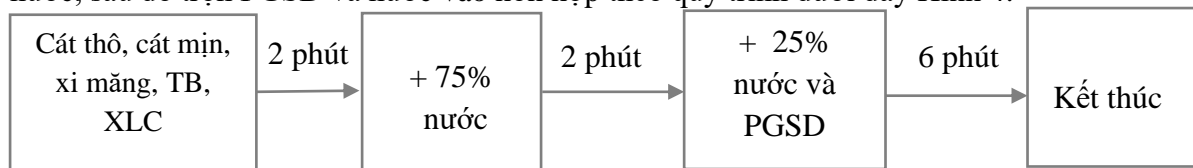
Bảng 3. Thành phần cấp phối BTHNTNC nghiên cứu.

Hỗn hợp	XM (kg)	TB (kg)	XLC (kg)	N (kg)	PGSD (kg)	Cát mịn (kg)	Cát thô (kg)
100XM	745	0	0	209	14,90	438	1022
0TB30XLC	521	0	223	209	11,92	438	1022
30TB0XLC	521	223	0	209	9,68	438	1022
30TB15XLC	410	223	112	209	8,94	438	1022
30TB30XLC	298	223	223	209	8,19	438	1022
30TB45XLC	186	223	335	209	7,45	438	1022

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu

**Các phương pháp thí nghiệm:** Trong nghiên cứu này, các phương pháp thí nghiệm tiêu chuẩn được sử dụng để xác định các tính chất cơ lý của các thành phần cấp phối và các tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông hạt nhỏ cường độ cao. Các phương pháp thí nghiệm tiêu chuẩn gồm: TCVN 141:2023, Xi măng - Phương pháp phân tích hóa học; TCVN 8262:2009, TB - Phương pháp phân tích hóa học; TCVN 7572 - 2:2006 cốt liệu cho bê tông và vữa - phương pháp thử - phần 2: xác định thành phần hạt; TCVN 7572 - 4:2006 cốt liệu cho bê tông và vữa - phương pháp thử - phần 4: xác định khối lượng riêng, khối lượng thể tích và độ hút nước.

**Quy trình trộn:** Vật liệu sau khi được cân đúng đủ khối lượng cho 1 mẻ trộn thì tiến hành trộn. Máy trộn được sử dụng là máy trộn vữa cưỡng bức. Đối với phương pháp trộn hỗn hợp BTHNTNC, độ chảy cao, thời gian trộn thường dài hơn so với bê tông và vữa thường. Sau khi được trộn sơ bộ, hỗn hợp hạt rắn (cát thô, cát mịn, xi măng, TB và XLC) được nhào trộn với nước, sau đó trộn PGSD và nước vào hỗn hợp theo quy trình dưới đây Hình 4.



Hình 4. Quy trình trộn hỗn hợp BTHNTNC.

**Đo độ chảy loang:** Tính công tác của hỗn hợp bê tông hạt nhỏ được đánh giá thông qua chỉ tiêu độ chảy loang. Độ chảy loang được xác định bằng phương pháp mini-côn, theo tiêu chuẩn TCVN 3121-3:2022 và chỉ dẫn của EFNARC [17]. Mini-côn có kích thước đường kính đáy lớn  $100 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ , đáy nhỏ  $70 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ , chiều cao  $60 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ . Sau 02 phút, độ chảy loang của hỗn hợp BTHNTNC được xác định thông qua giá trị đo trung bình hai đường kính vuông góc với nhau. Một số bước quá trình đo độ chảy loang của BTHNTNC được thể hiện trên Hình 5.



Hình 5. Quy trình đo độ chảy loang của BTHNTNC.

Cường độ chịu uốn và nén của các mẫu thử được xác định theo TCVN 3121-11:2003 về vữa xây dựng-Phương pháp thử - phần 11. Mẫu thử có kích thước  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ . Mẫu sau khi đổ khuôn được bảo dưỡng 2 ngày trong thùng có nước ở dưới đáy đậy nắp kín, đảm bảo độ ẩm trên 80%; khuôn chứa mẫu để cách mặt nước 5 cm; sau 2 ngày mẫu được tháo khuôn và được bảo dưỡng ngâm ngập hoàn toàn trong nước.

Việc đổ mẫu và bảo dưỡng mẫu được thực hiện tại Phòng thí nghiệm của Bộ môn Vật liệu xây dựng, trường Đại học Giao thông vận tải. Cường độ chịu uốn và nén của BTHNTNC được xác định ở các tuổi 3, 7 và 28 ngày tại Trung tâm KHCN trường Đại học Giao thông vận tải, Hình 6.



Hình 6. Một số bước bảo dưỡng và thử nghiệm mẫu  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ .

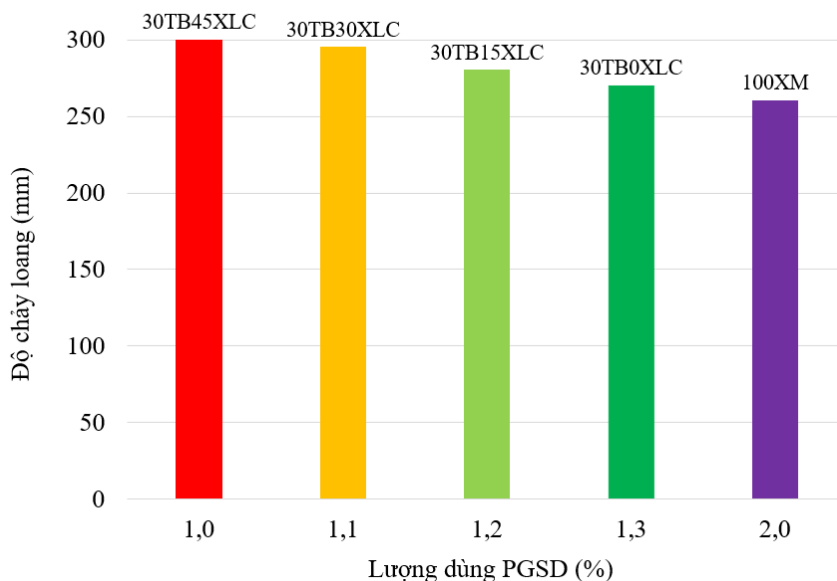
### 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Ảnh hưởng của TB và XLC đến lượng phụ gia siêu dẻo và tính công tác của BTHNTNC

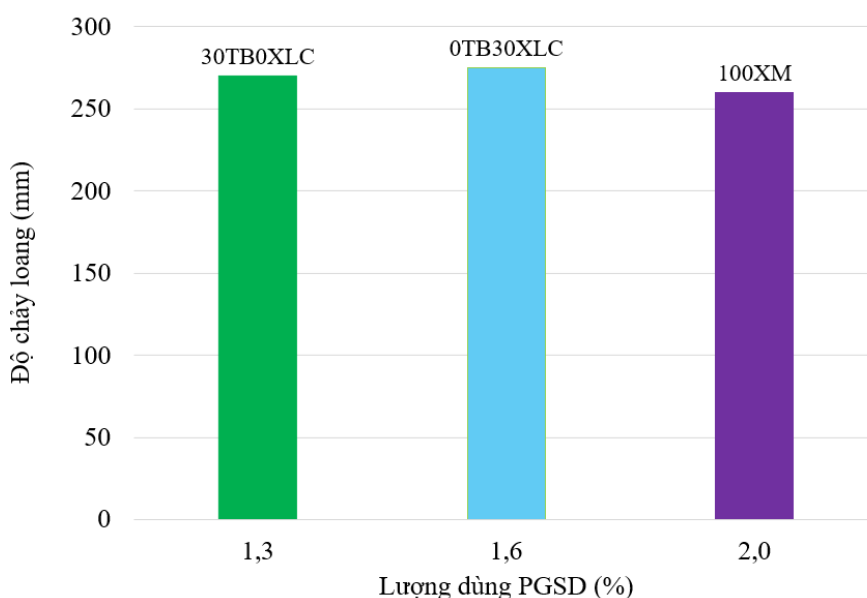
Để đạt được tính công tác tốt, trong nghiên cứu này, độ chảy loang của hỗn hợp BTHNTNC yêu cầu đạt từ 260 – 300mm. Để đạt được độ chảy loang yêu cầu này, việc xác định lượng dùng phụ gia siêu dẻo, hệ số dư vữa, lượng N/CKD sử dụng, được xác định bằng phương pháp thực nghiệm trên nhiều cấp phối khác nhau khi thay đổi các thành phần trên. Đối với mỗi cấp phối bê tông, độ chảy loang được xác định với lượng dùng PGSD tăng dần. Lượng PGSD được tăng với “bước nhảy” 0,1% đến khi hỗn hợp BTHNTNC đạt được mức độ

chảy loang tương đồng. Riêng 2 cấp phối 70XM0TB30XLC và 100XM (BTĐC), để đạt được độ chảy loang tương đồng phải thêm lượng PGSD với bước nhảy là 0,3% và 0,4%.

Kết quả thực nghiệm về ảnh hưởng của lượng dùng PGSD đến độ chảy loang của hỗn hợp BTHNTNC được thể hiện trong Hình 7 và Hình 8.



Hình 7. Lượng dùng phụ gia siêu dẻo của các cấp phối 30%TB và 100%XM.



Hình 8. Lượng dùng phụ gia siêu dẻo của các cấp phối 30% TB, 30% XLC và 100% XM.

Thực nghiệm cho thấy, khi lượng TB và XLC thay thế xi măng trong hỗn hợp bê tông tăng lên làm giảm lượng dùng PGSD để đạt được độ chảy loang cao tương đương (260-300mm) và TB có tác dụng hơn XLC trong việc tăng tính công tác và giảm lượng sử dụng PGSD. Cụ thể, ở Hình 7 cho thấy, bước nhảy PGSD là 0,1% khi tăng lượng CKD (gồm cả TB và XLC) lên mỗi 15% thay thế xi măng. Hình 8 cho thấy, chỉ cần sử dụng 1,3% PGSD của cấp phối sử dụng 30% TB cũng đã đạt độ chảy loang tương đương với 1,6% PGSD của 30%



XLC và lượng PGSD cần dùng cho cấp phối 100% xi măng phải là 2% mới đạt được độ chảy loang tương đương. Như vậy, để đạt được tính công tác (độ chảy loang), hỗn hợp sử dụng TB sử dụng lượng PGSD (1,3%) ít hơn hỗn hợp sử dụng XLC (1,6%) là 0,3%. Sự thay đổi độ chảy loang giữa hỗn hợp sử dụng TB (260mm) và XLC (255mm) là không đáng kể.

Có được điều này là do khi quan sát các phần tử TB qua kính hiển vi điện tử SEM có dạng hình cầu, tròn nhẵn tỷ diện tích bề mặt nhỏ hơn so với các hạt xi măng có hình dạng góc cạnh, các phần tử XLC cũng ít góc cạnh hơn các phần tử xi măng (Hình 2). Chính những đặc tính này làm cho TB và XLC có sự hấp phụ PGSD và nước ít hơn so với xi măng, điều này đồng nghĩa với lượng nước tự do trong hệ tăng lên làm độ chảy loang tăng lên. Ngoài ra, khối lượng riêng của TB < XLC < XM (Bảng 2), nên khi tro bay và xỉ lò cao thay thế một khối lượng xi măng tương đương thì tổng khối lượng của chất kết dính không đổi, nhưng thể tích hồ chất kết dính sẽ tăng lên, tức là tỷ lệ thể tích của hồ và cốt liệu sẽ tăng lên, giúp tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông. Kết quả này phù hợp với những nghiên cứu trước đây, TB có dạng hạt hình cầu, tạo nên hiệu ứng ổ bi “ball bearing effect” [4], XLC cũng có hình dạng hạt kém sắc nhọn hơn các phần tử xi măng giúp giảm ma sát giữa các hạt cốt liệu, làm tăng tính công tác.

### 3.2. Cường độ chịu uốn của bê tông hạt nhỏ tính năng cao

Cường độ chịu uốn của bê tông sử dụng TB và XLC được trình bày trong Bảng 4 và Hình 9. TB thay thế cho xi măng với hàm lượng 30% theo khối lượng, XLC thay thế cho xi măng với hàm lượng từ 15%, 30% và 45% theo khối lượng. Cường độ chịu uốn của BTHN được xác định ở tuổi 3, 7 và 28 ngày. Kết quả cho thấy, tăng lượng dùng TB và XLC thay thế xi măng làm giảm cường độ chịu uốn của bê tông ở tất cả các ngày tuổi nghiên cứu.

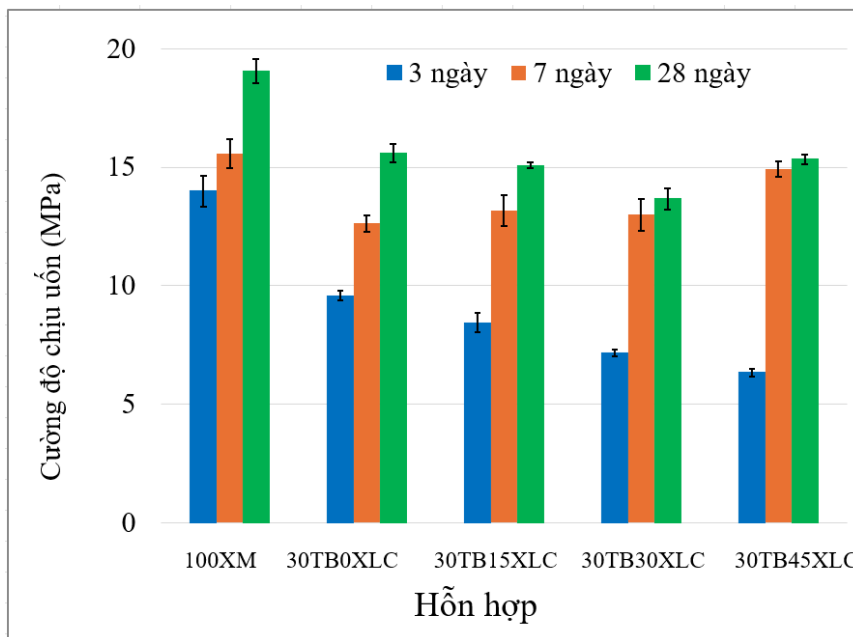
Bảng 4. Cường độ chịu uốn của bê tông sử dụng TB và XLC (MPa).

Hỗn hợp	3 ngày	7 ngày	28 ngày
100XM	13,99	15,57	19,05
30TB0XLC	9,57	12,63	15,59
30TB15XLC	8,44	13,15	15,07
30TB30XLC	7,16	12,98	13,67
30TB45XLC	6,33	14,92	15,34

Kết quả thực nghiệm chỉ ra rằng, cường độ chịu uốn của bê tông sử dụng đồng thời TB và XLC thay thế một phần xi măng giảm (Hình 9). Điều này xảy ra là do khả năng hoạt tính của TB thấp hơn xi măng và TB thường có xu hướng phát triển cường độ chịu uốn ở những ngày tuổi muộn (56, 90, 180 thậm chí muộn hơn).

Để hiểu rõ ảnh hưởng của TB và của XLC đến sự suy giảm cường độ của BTHN, nghiên cứu đã sử dụng riêng rẽ 30% TB và 30% XLC để thay thế xi măng theo khối lượng. Kết quả cho thấy, tại thời điểm tuổi sớm, TB và XLC đều làm giảm cường độ chịu uốn của bê tông, nhưng tại thời điểm 7 và 28 ngày, XLC đã thể hiện vai trò vượt trội của nó trong việc hình thành cường độ chịu uốn của bê tông, hỗn hợp cho kết quả hơn hẳn bê tông đối chứng đến 17,4% và cao hơn hỗn hợp chỉ có TB thay thế xi măng tới 47,6% ở 28 ngày tuổi (Bảng 5 và Hình 10). Điều này lý giải bởi TB có tính hoạt hóa chậm, thường thể hiện ở tuổi muộn (sau 28 ngày), XLC ngoài có hoạt tính Pozzolanic do SiO<sub>2</sub> vô định hình còn có hiệu ứng tự thủy hóa;

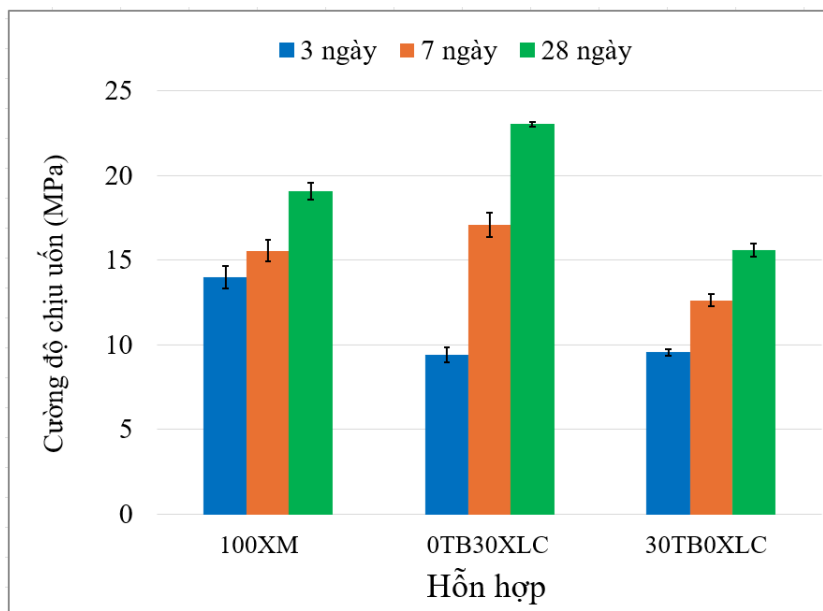
XLC chứa hàm lượng pha thủy tinh cao và thành phần hóa chứa chủ yếu các oxít canxi, oxít silic và oxít nhôm gần giống với clanhke xi măng poóc lăng nên XLC có khả năng tạo ra các phản ứng tạo ra khả năng kết dính dưới nhiệt độ, độ ẩm và môi trường kiềm thích hợp. Khi trộn hỗn hợp xi măng-XLC với nước, ở giai đoạn đầu, các khoáng trong xi măng thủy hóa tạo ra canxi hydroxit, các chất này sẽ phản ứng với XLC để tạo thành dạng gel hydrat CS-H (canxi silicate hydrate) và C-A-H (canxi aluminat hydrate) tương tự như sản phẩm thủy hóa của xi măng poóc lăng, đây chính là các khoáng tạo ra cường độ và cấu trúc đặc chắc cho bê tông [18]. Ở các tuổi ban đầu, XLC chủ yếu tham gia vào vi cấu trúc của đá xi măng với vai trò là hạt cốt liệu mịn. Ở các tuổi muộn từ 28 ngày trở lên, các sản phẩm hydrat hóa của xi măng được tạo ra nhiều hơn và quá trình phản ứng puzzolan xảy ra mức độ lớn hơn đóng góp đáng kể CSH thêm cho vi cấu trúc của đá xi măng, trong giai đoạn này, một số hạt xi lò cao có kích thước phù hợp sẽ đóng vai trò làm chất điền đầy các lỗ rỗng có kích thước lớn, hình thành trong đá xi măng làm mức độ suy giảm cường độ của đá xi măng ít hơn nên với những tỉ lệ thích hợp có thể tạo ra vi cấu trúc tốt hơn so với xi măng nền mà cụ thể hơn là ở hàm lượng xi lò cao 30%. Như vậy có thể sơ bộ thấy rằng, cường độ của bê tông giảm có nguyên nhân chính là do TB, còn XLC làm tăng cường độ của hỗn hợp bê tông. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với những nghiên cứu trước đây về ảnh hưởng của TB [2, 3, 5] và XLC [19, 20, 21] đến sự phát triển cường độ chịu uốn của bê tông.



Hình 9. Ảnh hưởng của hàm lượng TB và XLC đến cường độ chịu uốn.

Bảng 5. Cường độ chịu uốn của bê tông sử dụng 30% TB và 30% XLC (MPa).

Hỗn hợp	3 ngày	7 ngày	28 ngày
100XM	13,99	15,57	19,05
30TB0XLC	9,57	12,63	15,59
0TB30XLC	9,41	17,08	23,02



Hình 10. Ảnh hưởng của hàm lượng 30% TB và 30% XLC đến cường độ chịu uốn.

### 3.3. Cường độ chịu nén của bê tông hạt nhỏ tính năng cao

Cường độ chịu nén của bê tông hạt nhỏ sử dụng TB và XLC thay thế xi măng được trình bày trong Bảng 6, Hình 11 và Hình 12. Có thể thấy, khi chỉ sử dụng 30% TB thay thế xi măng, cường độ ở 3 ngày của bê tông đạt khoảng 80% so với BTĐC, và ở 28 ngày, cường độ của bê tông ngang với BTĐC (77,94 MPa và 77,02 MPa). Kết quả này tương đồng với các kết quả nghiên cứu trước đây [2, 3, 5]. Điều này được giải thích là do khả năng hoạt tính của tro bay thấp hơn xi măng nên khả năng hình thành cường độ ở tuổi sớm của TB thấp hơn xi măng. Tro bay thường có xu hướng phát triển cường độ ở những tuổi muộn.

Ngoài ra với cùng hàm lượng 30% TB, khi tăng hàm lượng XLC thay thế xi măng, cường độ chịu nén của bê tông giảm dần ở tuổi sớm 3 ngày; cường độ khá thấp ở tuổi sớm (3 ngày) và phát triển cường độ lên rất cao ở 28 ngày (cường độ đạt tới 1,9-2,9 lần so với 3 ngày), trong khi đó BTĐC ở tuổi 28 ngày cường độ chỉ hơn ở 3 ngày khoảng 1,4 lần.

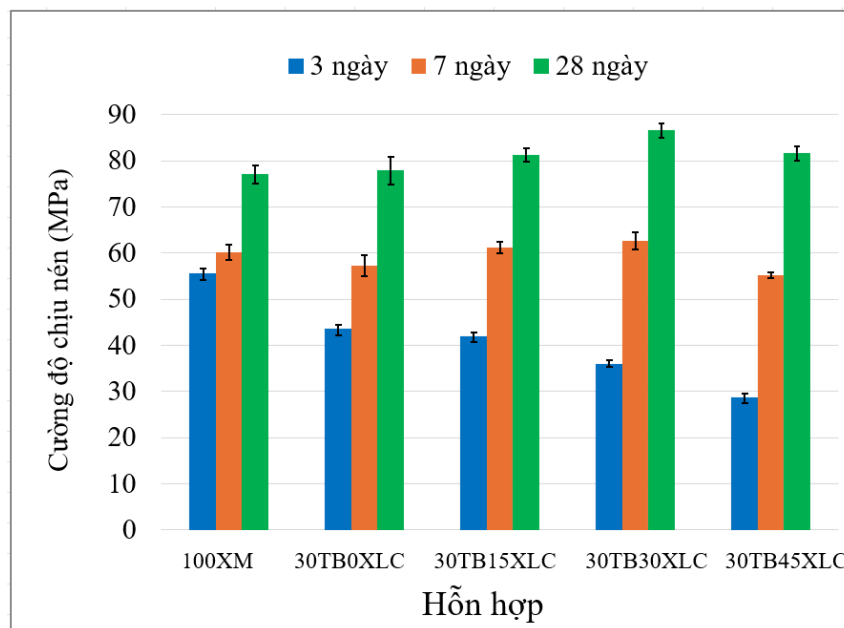
Tất cả các cấp phối sử dụng TB và XLC thay thế xi măng đều cho cường độ tăng lên ngang bằng thậm chí cao hơn cường độ của bê tông sử dụng 100% xi măng ở 28 ngày. Các kết quả này có được bởi lẽ, độ mịn của XLC lớn hơn độ mịn của TB và độ mịn của TB lớn hơn độ mịn xi măng nên khi cho một lượng nhất định XLC và TB thay thế xi măng sẽ làm tăng độ lèn chặt của hỗn hợp vật liệu (các hạt XLC, TB có thể lấp đầy giữa các hạt xi măng) làm cho cấu trúc vi mô của hỗn hợp đặc chắc hơn.

Tuy nhiên khi lượng TB+XLC trở nên dư thừa lại làm cho hỗn hợp bị giảm cường độ. Đó chính là lý do mà chúng ta thấy có kết quả: ở tuổi muộn (28 ngày), cùng hàm lượng 30% TB thì cường độ của BTHN đạt giá trị cao nhất khi hàm lượng XLC là 30% (86,51MPa) và giảm dần khi hàm lượng XLC sử dụng là 45%. Các kết quả này phù hợp với kết quả của những nghiên cứu trước đây khi kết hợp đồng thời TB và XLC [11, 13].

Bảng 6. Cường độ chịu nén của bê tông sử dụng TB và XLC (MPa).

Hỗn hợp	3 ngày	7 ngày	28 ngày
100XM	55,58	60,09	77,02
30TB0XLC	43,49	57,23	77,94
30TB15XLC	41,77	61,11	81,23
30TB30XLC	35,79	62,60	86,51
30TB45XLC	28,59	55,24	81,65

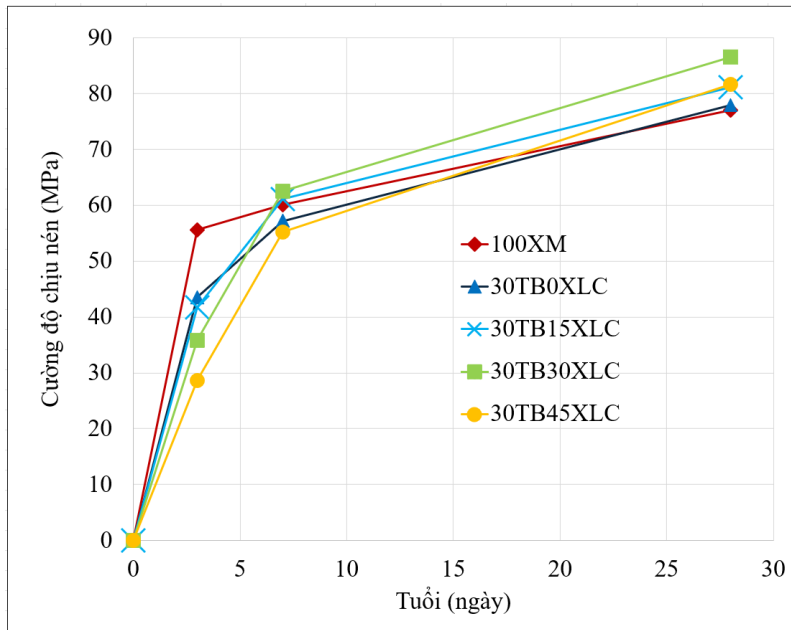
Kết quả sơ bộ cũng cho thấy, sự kết hợp 30% TB và 30% XLC cho kết quả chịu nén của hỗn hợp BTHNTNC đạt được là tối ưu nhất khi thay đổi hàm lượng sử dụng XLC từ 15-45% (cường độ chịu nén đạt 62,60 MPa ở tuổi 7 ngày và 86,51 MPa ở tuổi 28 ngày).



Hình 11. Ảnh hưởng của hàm lượng TB và XLC đến cường độ chịu nén của BTHNTNC.

Ở Bảng 7 và Hình 13, nghiên cứu đã sử dụng riêng rẽ chỉ 30% TB hoặc chỉ 30% XLC để thay thế xi măng theo khối lượng, kết quả cho thấy, tại thời điểm 3 ngày, TB và XLC đều làm giảm cường độ chịu nén của bê tông, nhất là TB đã làm giảm cường độ nhiều hơn XLC.

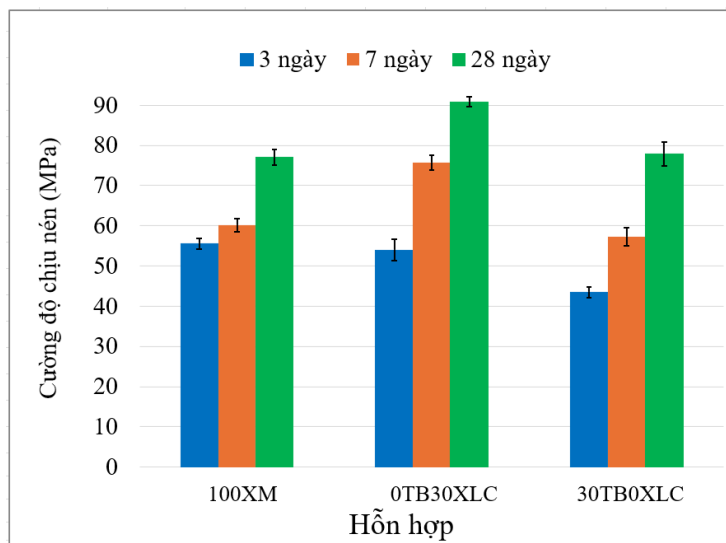
Ở các tuổi muộn (7 ngày và 28 ngày), XLC đã thể hiện vai trò vượt trội của nó trong việc hình thành cường độ, hỗn hợp cho kết quả cường độ nén cao hơn BTĐC đến 26,06% ở 7 ngày tuổi và 18% ở 28 ngày tuổi. Độ mịn của XLC lớn hơn TB cũng làm cho sự lèn chặt của hỗn hợp tăng lên dẫn đến độ đặc chắc của hỗn hợp tăng lên. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với những nghiên cứu trước đây về ảnh hưởng của TB [2, 3, 5] và XLC [19, 20, 21] đến sự phát triển cường độ chịu nén của hỗn hợp vữa bê tông, xi măng.



Hình 12. Ảnh hưởng của TB và XLC đến sự phát triển cường độ chịu nén của BTHNTNC.

Bảng 7. Cường độ chịu nén của bê tông sử dụng 30% TB và 30% XLC (MPa).

Hỗn hợp	3 ngày	7	28 ngày
<b>100XM</b>	55,58	60,09	77,02
<b>30TB0XLC</b>	43,49	57,23	77,94
<b>0TB30XLC</b>	53,98	75,75	90,88



Hình 13. Ảnh hưởng của 30% TB và 30% XLC đến cường độ chịu nén của BTHN.

## KẾT LUẬN

Từ kết quả trong nghiên cứu này có thể rút ra một số kết luận sau:

- Có thể chế tạo BTHN có cường độ nén đạt hơn 80 MPa ở tuổi 28 ngày, với lượng dùng tro bay và xỉ lò cao có thể thay thế tới 75% khối lượng xi măng.
- Sự có mặt của tro bay và xỉ lò cao làm giảm lượng dùng phụ gia siêu dẻo và tăng tính công tác của hỗn hợp BTHN. Tăng lượng dùng xỉ lò cao làm giảm lượng dùng PGSD nhưng vẫn làm tăng tính công tác của hỗn hợp BTHN.
- Sử dụng riêng 30% xỉ lò cao thay thế xi măng, cường độ chịu kéo và nén của bê tông đều tăng hơn bê tông sử dụng 100% xi măng. Hiệu quả tăng cường độ của xỉ lò cao cao hơn so với tro bay.
- Kết hợp đồng thời 30% tro bay và 15-45% xỉ lò cao làm giảm cường độ chịu uốn của bê tông ở tất cả các tuổi 3, 7 và 28 ngày.
- Sử dụng 30% TB kết hợp XLC thay thế xi măng từ 15-45% làm giảm cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi sớm 3 ngày, nhưng ở tuổi 7 ngày và đặc biệt ở 28 ngày cường độ chịu nén của bê tông hạt nhỏ ngang bằng hoặc cao hơn bê tông sử dụng 100% xi măng tùy theo hàm lượng TB và XLC thay thế xi măng.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Thị Tâm, Điều tra, khảo sát đánh giá và đề xuất giải pháp sử dụng triệt để nguồn tro xỉ nhiệt điện trong sản xuất vật liệu xây dựng, Viện vật liệu xây dựng – Vietnam institute for Building Materials, 2012.
- [2]. Chung-Ho Huang, Mix proportions and mechanical properties of concrete containing very high-volume of Class F fly ash, *Construction and Building Materials*, 46 (2013) 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.04.016>
- [3]. Thái Minh Quân, Một nghiên cứu thực nghiệm bê tông hàm lượng tro bay cao có cường độ cao làm mặt đường ô tô ở Việt Nam, *Tạp chí Cầu đường Việt Nam*, 3 (2021) 105-109.
- [4]. M. Zabihi Samani, S. Mokhtari, F. Raji, Effects of Fly Ash on Mechanical Properties of Concrete, *Journal of Applied Engineering Sciences*, 8 (2018) 35-40. <https://doi.org/10.2478/jaes-2018-0016>
- [5]. Nguyễn Trọng Lâm, Tống Tôn Kiên, Bùi Danh Đại, Nghiên cứu chế tạo bê tông cường độ cao sử dụng hàm lượng lớn tro bay của nhà máy nhiệt điện Quảng Ninh, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, ĐHXDHN*, 15 (2021) 1-11. [https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2021-15\(6V\)-01](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2021-15(6V)-01)
- [6]. Lê Thanh Hà, Ngô Đức Chinh, Nghiên cứu ảnh hưởng của tro bay và bột đá vôi đến tính chất cơ học và tính chống thấm nước của bê tông hạt nhỏ, *Tạp chí Cầu đường Việt Nam*, 5 (2022) 52-57.
- [7]. Nguyễn Trọng Lâm, Ảnh hưởng của tỉ lệ tro bay thay thế một phần xi măng đến các tính chất của bê tông thương phẩm, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, 14 (2020) 96-105. [https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(4V\)-09](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(4V)-09)
- [8]. Mohd Shariq, Jagdish Prasad, Amjad Masood, Effect of ground granulated blast furnace slag on time dependent compressive strength of concrete, *Construction and Building Materials*, 24 (2010) 1469-1478. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.01.007>
- [9]. Gideon Ayim-Mensah, Milan Radosavljevic, Influence of ground granulated blast furnace slag on the compressive strength and ductility of Ultra High-performance fibre reinforced cementitious composites, *Cement*, 8 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.cement.2022.100030>
- [10]. H. S. Chore, M. P. Joshi, Strength evaluation of concrete with fly ash and ground granulated blast furnace slag as cement replacing materials, *Advances in concrete construction*, 3 (2015) 223-236. <https://doi.org/10.12989/acc.2015.3.3.223>
- [11]. J.L. Wang, Effects of Fly ash and Ground Granulated Blast- Furnaces Slag on Properties of High Strength Concrete, *Key Engineering Materials*, 405-406 (2009) 219-225. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.405-406.219>

- [12]. Tăng Văn Lâm, Nguyễn Đình Trinh, Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng tro bay và xỉ lò cao hoạt tính đến tính chất của bê tông cường độ cao hạt mịn không sử dụng chất kết dính xi măng, Tạp chí Xây dựng, 10 (2021) 183-190.
- [13]. Hồ Văn Quân, Phan Nhật Long, Phạm Thái Uyết, Tính chất của bê tông tính năng cao kết hợp tro bay và xỉ lò cao, Tạp chí Giao thông vận tải, 7 (2021) 56-59.
- [14]. Văn Viết Thiên Ân, Bùi Danh Đại, Trần Đức Trung, Ảnh hưởng của tro bay và xỉ lò cao đến độ bền của bê tông chất lượng siêu cao trong môi trường xâm thực, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, 15 (2021) 49-57. [https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2021-15\(6V\)-05](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2021-15(6V)-05)
- [15]. J.E. Funk, D.R. Dinger, Predictive Process Control of Crowded Particulate Suspension, Applied to Ceramic Manufacturing, Kluwer Academic Press, 1994.
- [16]. H.T. Le, The mix design for self-compacting high performance concrete containing various mineral admixtures, Materials & Design, 72 (2015) 51-62. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.01.006>
- [17]. EFNARC, Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete, 2015.
- [18]. H.S. Wong, H. Abdul Razak, Efficiency of calcined kaolin and silica fume as cement replacement material for strength performance, Cement and Concrete Research, 35 (2005) 696-702. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.05.051>
- [19]. Ngô Sỹ Huy, Ảnh hưởng của hàm lượng xỉ lò cao nghiền mịn lên các tính chất vật lý và cơ học của vữa cường độ cao, Tạp chí Khoa học thủy lợi và môi trường, 78 (2022) 53-61.
- [20]. Lê Xuân Hậu, Ảnh hưởng của xỉ lò cao đến tính chất của xi măng, Tạp chí Khoa học Kiến trúc và Xây dựng, 53 (2024) 39-41.
- [21]. Lê Việt Hùng, Xây dựng chỉ dẫn kỹ thuật sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) cho sản xuất bê tông, Tạp chí Vật liệu & Xây dựng, Bộ xây dựng, 11 (2022) 125-130.