

KHOA KIẾN
TRÚC- XÂY DỰNG

**NGHIÊN CỨU KHOA HỌC KIẾN TRÚC
XÂY DỰNG**

**NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO BÊ TÔNG CHẤT LƯỢNG SIÊU CAO
SỬ DỤNG HỖN HỢP PHỤ GIA KHOÁNG SILICA FUME
VÀ TRO BAY SẴN CÓ Ở VIỆT NAM**

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO BÊ TÔNG CHẤT LƯỢNG SIÊU CAO SỬ DỤNG HỖN HỢP PHỤ GIA KHOÁNG SILICA FUME VÀ TRO BAY SẴN CÓ Ở VIỆT NAM

ThS. NGUYỄN CÔNG THẮNG, TS. NGUYỄN VĂN TUẤN,
PGS.TS. PHẠM HỮU HANH, ThS. NGUYỄN TRỌNG LÂM
Trường Đại học Xây dựng

Tóm tắt: *Bê tông chất lượng siêu cao là một trong những loại bê tông đầy triển vọng của thế kỷ 21, với các tính chất đặc biệt như độ chảy cao, cường độ cao, độ thấm thấp và độ bền cao. Tuy nhiên, trong bê tông chất lượng siêu cao, lượng xi măng sử dụng rất lớn, khoảng 900 – 1000 kg/m³, điều này sẽ ảnh hưởng lớn đến giá thành và tính chất của sản phẩm. Do vậy, việc nghiên cứu sử dụng phụ gia khoáng thay thế một phần xi măng trong bê tông chất lượng siêu cao có ý nghĩa to lớn về mặt kỹ thuật, kinh tế và môi trường, góp phần vào mục tiêu phát triển xây dựng bền vững.*

Bài báo này trình bày những kết quả nghiên cứu ban đầu về việc sử dụng tổ hợp phụ gia khoáng silica fume và tro bay để thay thế một phần xi măng trong chế tạo bê tông chất lượng siêu cao. Kết quả nghiên cứu cho thấy, việc sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng này cải thiện đáng kể tính công tác và tăng cường độ nén của bê tông. Điều này góp phần quan trọng trong việc phát triển và ứng dụng loại bê tông này trong công nghiệp xây dựng ở Việt Nam.

1. Giới thiệu

Bê tông chất lượng siêu cao (BTCLSC) là loại bê tông có độ chảy cao, cường độ nén rất cao (thường lớn hơn 150 MPa), cường độ uốn lớn (khi sử dụng cốt sợi), độ thấm thấp và độ bền cao [1]. Sự ra đời của bê tông chất lượng siêu cao đã đánh dấu một bước ngoặt trong công nghệ bê tông với các tính chất đặc biệt về cường độ, độ bền, và độ ổn định thể tích. Các nghiên cứu phát triển và ứng dụng loại bê tông này được bắt đầu từ năm 90 của thế kỷ 20 và kể từ đó loại bê tông này đã được áp dụng ở một số nước phát triển như dùng để chế tạo các cấu kiện bê tông đúc sẵn, dầm cầu đúc sẵn, tấm lát mặt cầu, chế tạo các silo,... hoặc dùng tại chỗ để sửa chữa các kết cấu đã bị hỏng, dùng cho các cột chịu tải trọng lớn, dùng cho các bể chứa phế thải hạt nhân,...

Vật liệu để chế tạo BTCLSC thông thường bao gồm cát thạch anh với kích thước khoảng 100-600µm, xi măng, silica fume, nước và phụ gia siêu dẻo. Trong đó, lượng xi măng khoảng 900-1000 kg/m³ [2] và đây là nhược điểm lớn nhất của loại bê tông này bởi vì sẽ làm tăng giá thành sản phẩm và ảnh hưởng đến tính chất kỹ thuật, đồng thời việc sử dụng nhiều xi măng sẽ kéo theo sự ảnh hưởng về môi trường do lượng khí cacbonic thải ra trong quá trình sản xuất xi măng [3]. Việc nghiên cứu sử dụng các loại phụ gia khoáng để thay thế một phần xi măng trong bê tông chất lượng siêu cao là rất cần thiết.

Trong số các phụ gia khoáng dùng cho bê tông, tro bay được đánh giá là có triển vọng để thay thế xi măng trong BTCLSC, với hiệu quả đạt được về kỹ thuật, về kinh tế và môi trường. Xét về mặt kỹ thuật, tro bay có thành phần hoá học với tổng hàm lượng các ôxyt ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) lớn hơn 70% (tro bay loại F theo ASTM C618 [4]). Các ôxyt hoạt tính này có khả năng phản ứng với sản phẩm thủy hoá của xi măng (phản ứng pozzolanic) tạo ra các sản phẩm dạng CSH có cường độ cao, bền với môi trường hơn, đặc biệt tăng khả năng chống ăn mòn cho bê tông [5]. Bên cạnh đó, với hình dạng đặc trưng là các hạt hình cầu, mịn (đường kính hạt trung bình khoảng 9-15µm) nên việc sử dụng tro bay sẽ cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông (*hiệu ứng ổ bi – Ball bearing effect*), làm tăng tính dẻo cho hỗn hợp bê tông, giảm lượng nước nhào trộn, tăng độ đặc cho bê tông, sẽ làm tăng cường độ cũng như khả năng chống thấm của bê tông [5]. Xét về mặt kinh tế - môi trường, theo thống kê [6], hàng năm ước tính các nhà máy nhiệt điện trên cả nước thải ra khoảng 2.3 triệu tấn tro bay, đến năm 2015 sẽ là 5 triệu tấn/năm, điều này sẽ ảnh hưởng rất lớn đến môi trường. Việc nghiên cứu sử dụng tro bay làm phụ gia khoáng sử dụng trong BTCLSC vừa góp phần làm giảm giá thành cho sản phẩm

bê tông, giảm ô nhiễm môi trường, góp phần vào mục tiêu phát triển xây dựng bền vững đồng thời vẫn đảm bảo các tính chất kỹ thuật của BTCLSC.

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu về sự ảnh hưởng của việc sử dụng hỗn hợp tro bay và silica fume đến một số tính chất cơ lý của bê tông ở các điều kiện dưỡng hộ khác nhau. Trong đó, tro bay được sử dụng với các hàm lượng khác nhau, từ 10-40% theo khối lượng chất kết dính (CKD) gồm xi măng, silica fume và tro bay. Điều kiện bảo dưỡng mẫu được thực hiện ở 2 môi trường là dưỡng hộ tiêu chuẩn và dưỡng hộ nhiệt ẩm.

2. Vật liệu chế tạo và phương pháp nghiên cứu

2.1 Vật liệu chế tạo

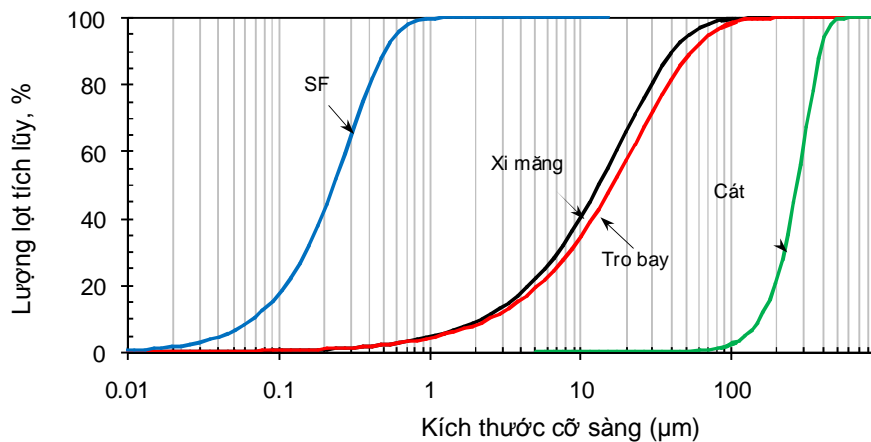
Vật liệu được dùng trong nghiên cứu gồm: xi măng Pooclang Sông Gianh PC40 có các tính chất cơ lý trình bày ở bảng 1, với đường kính hạt trung bình khoảng 14 μ m; Silica fume (SF) dạng hạt rời của hãng Elkem, có đường kính hạt trung bình khoảng 0.15 μ m, hàm lượng SiO₂ là 92.3%, chỉ số hoạt tính với xi măng là 113.5%; cốt liệu là cát thạch anh có đường kính cỡ hạt trung bình khoảng 300 μ m, độ rỗng khi chưa lên chặt 45.1%; phụ gia siêu dẻo (PGSD) sử dụng của hãng BASF có gốc polycarboxylate, với hàm lượng chất khô 30%.

Tro bay (FA) sử dụng trong nghiên cứu là tro tuyển Phả Lại có đường kính cỡ hạt trung bình khoảng 15.5 μ m, hàm lượng các oxit (SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃) là 84.2%, chỉ số hoạt tính với xi măng là 104.3%.

Thành phần hạt của các vật liệu này được xác định bằng phương pháp nhiễu xạ laze, kết quả thể hiện ở hình 1.

Bảng 1. Một số tính chất cơ lý của xi măng

Tính chất	Đơn vị	Giá trị	Quy phạm	Phương pháp thí nghiệm
Độ mịn Lượng sót sàng 0.09mm Độ mịn Blaine	% cm ² /g	2.1 3380	≤ 10 ≥ 2800	TCVN 4030-2003
Độ dẻo tiêu chuẩn	%	29.0	-	TCVN 6017-1995
Gới hạn bền nén Sau 3 ngày Sau 28 ngày	MPa	26.4 49.6	≥ 21.0 ≥ 40.0	TCVN 6016-1995



Hình 1. Thành phần hạt của vật liệu sử dụng trong nghiên cứu

2.2 Phương pháp thực nghiệm

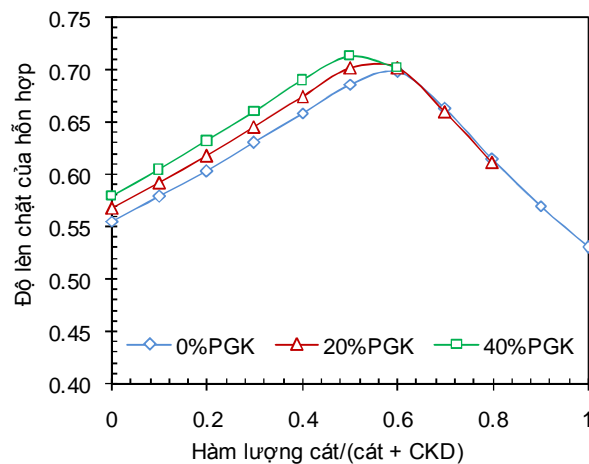
Tính công tác của hỗn hợp bê tông được xác định bằng thí nghiệm độ chảy của côn nhỏ theo tiêu chuẩn Anh BS 4551-1:1998. Giá trị độ chảy loang của các hỗn hợp bê tông trong nghiên cứu này được điều chỉnh trong khoảng 210-230mm.

Trong bê tông chất lượng siêu cao, việc xác định cường độ nén theo tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN3118-1993) với kích thước mẫu $150 \times 150 \times 150 \text{ mm}^3$ là rất khó bởi vì cường độ nén của bê tông rất cao. Một số nghiên cứu [7-11] đã khẳng định rằng, ảnh hưởng của kích thước khuôn đến cường độ nén của bê tông chất lượng siêu cao là không đáng kể. Do vậy, trong nghiên cứu này cường độ nén của bê tông được xác định với mẫu có kích thước $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$.

3. Thiết kế thành phần bê tông chất lượng siêu cao

3.1 Thiết kế thành phần hạt

Tối ưu hóa thành phần hạt là một trong những khâu then chốt của việc thiết kế cấp phối hỗn hợp BTCLSC. Thành phần hạt của các vật liệu này được xác định bằng phương pháp nhiễu xạ laze, trên cơ sở đó ta xác định được lượng sót của mỗi cấp hạt, tương ứng với các loại vật liệu, từ đó ta xác định mức độ lèn chặt lớn nhất của hỗn hợp hạt. Trong nghiên cứu này, tối ưu hóa thành phần hạt được tính toán theo lý thuyết do De Larrard và Sedran đề xuất [12, 13], trong đó hệ số lèn chặt của hỗn hợp hạt là 12.5 theo đề xuất của Jones, M. và các cộng sự [14]. Đối với hệ hỗn hợp hạt gồm cát - xi măng - FA- SF, lượng SF được cố định là 10% khối lượng chất kết dính (CKD), lượng FA sẽ thay thế lượng dùng xi măng tương ứng (từ 0-40%). Khi đó CKD sẽ bao gồm xi măng, SF và FA. Như vậy, thành phần hạt ở đây được xem xét như là hệ hai cấu tử gồm cát và CKD. Quan hệ giữa độ lèn chặt của hỗn hợp với tỷ lệ của vật liệu thành phần được thể hiện ở hình 2. Như vậy, dựa trên kết quả tính toán thì lượng tối ưu được xác định với tỷ lệ cát/(cát + CKD) là 0.50. Tỷ lệ phối hợp giữa 3 cấu tử lúc đó sẽ là 50% cát + 30% xi măng + 20% PGK.



Hình 2. Độ lèn chặt của hỗn hợp hạt gồm: cát - xi măng - SF - FA; (SF cố định 10% CKD)

Trên cơ sở tỷ lệ phối hợp giữa các cấu tử, đề tài tiến hành khảo sát với lượng dùng phụ gia khoáng tương ứng với các tỷ lệ (0-30%) trong hỗn hợp. Khi tỷ lệ N/CKD lấy cố định là 0.18 thì cấp phối bê tông được xác định. Bảng 2 thể hiện thành phần hỗn hợp cấp phối được sử dụng trong nghiên cứu.

3.2 Cấp phối bê tông chất lượng siêu cao

Từ kết quả tính toán tối ưu hóa thành phần hạt này, đề tài đã xác định được tỷ lệ của vật liệu thành phần, từ đó xác định được cấp phối bê tông sử dụng trong nghiên cứu (bảng 2).

Giá trị hàm lượng PGSD sử dụng trong bảng 2 này là lượng PGSD dùng để đạt độ chảy loãng của hỗn hợp bê tông trong khoảng 210-230 mm như đã đề cập ở phần trên.

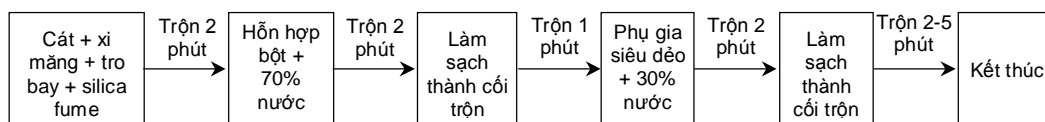
Bảng 2. Cấp phối bê tông chất lượng siêu cao sử dụng trong nghiên cứu

STT	Khối lượng CKD tính cho 1 m^3 bê tông, (kg)	N/CKD (theo khối lượng)	Cát/CKD (theo khối lượng)	SF, % (theo khối lượng của CKD)	FA, % (theo khối lượng của CKD)	PGSD, % (theo khối lượng của CKD)
1	1122	0.18	1	0	0	1.20
2	1105	0.18	1	10	0	1.00
3	1089	0.18	1	20	0	1.00
4	1073	0.18	1	30	0	1.20
5	1057	0.18	1	40	0	2.15
6	1110	0.18	1	0	10	1.00
7	1098	0.18	1	0	20	0.90

8	1086	0.18	1	0	30	0.85
9	1093	0.18	1	10	10	0.80
10	1081	0.18	1	10	20	0.70
11	1070	0.18	1	10	30	0.65
12	1059	0.18	1	10	40	0.60

3.3 Quy trình thí nghiệm

Máy trộn sử dụng trong nghiên cứu là máy trộn Hobart có dung tích 20 lít. Quy trình trộn hỗn hợp bê tông có thể thấy ở hình 3.



Hình 3. Quy trình trộn hỗn hợp bê tông chất lượng siêu cao

Các mẫu được đúc có kích thước 50 mm × 50 mm × 50 mm, sau đó được dưỡng hộ ở điều kiện tiêu chuẩn (nhiệt độ 27±2°C trong thời gian 24±3h), mẫu được tháo ra khỏi khuôn và chia làm 2 nhóm tiếp tục dưỡng hộ trong 2 môi trường khác nhau:

- Tiếp tục dưỡng hộ trong điều kiện tiêu chuẩn (27±2°C, RH>95%);
- Dưỡng hộ 02 ngày ở điều kiện nhiệt ẩm (90±5°C) sau đó tiếp tục dưỡng hộ trong điều kiện tiêu chuẩn (27±2°C, RH>95%).

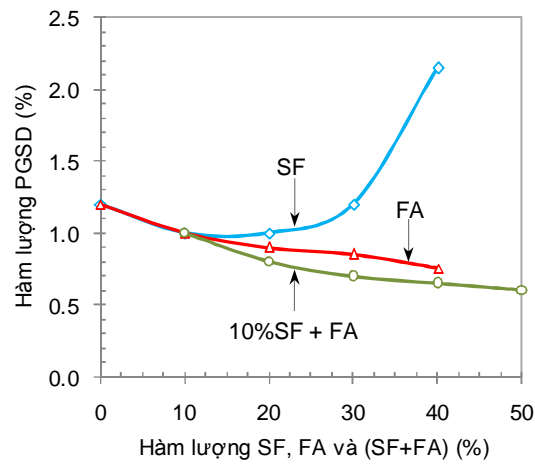
Cường độ nén của bê tông được xác định ở các tuổi 3, 7, 28 và 90 ngày.

4. Kết quả và bàn luận

4.1 Tính công tác của hỗn hợp bê tông

Lượng dùng phụ gia siêu dẻo (PGSD) của hỗn hợp BTCLSC để đạt được giá trị đường kính độ chảy loang trung bình từ 210 – 230 mm được thể hiện ở hình 4. Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi sử dụng SF thay thế xi măng 10 - 20% thì tính công tác của hỗn hợp bê tông tăng. Sự cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông khi có mặt SF là do hiệu ứng điền đầy. Theo Bache [15] cho rằng trong hỗn hợp bê tông có phụ gia siêu dẻo và tỷ lệ N/CKD thấp, các hạt SF siêu mịn chiếm chỗ của lượng nước lẽ ra nằm giữa các hạt xi măng vón tụ, làm tăng lượng nước tự do trong hồ và do đó làm tăng độ lưu động cho hỗn hợp bê tông. Tuy vậy, khi tăng hàm lượng dùng SF, do tỷ diện của SF rất lớn, khoảng 18.000-20.000 cm²/g [16, 17] nên cần một lượng nước rất lớn để thấm ướt bề mặt và hiệu ứng này không thể bù đắp lại được các hiệu ứng có lợi của SF. Điều này thấy rõ khi hàm lượng SF tăng lên 30% và 40% thì lượng phụ gia siêu dẻo tăng lên đáng kể [17].

Ngược lại với sự ảnh hưởng của việc thay thế SF, khi tăng hàm lượng FA thì độ chảy của hỗn hợp bê tông tăng. Điều này có thể giải thích là do các hạt FA có dạng hình tròn, nhờ hiệu ứng “ổ bi” sẽ làm giảm ma sát giữa các hạt, làm tăng tính công tác cho hỗn hợp bê tông.

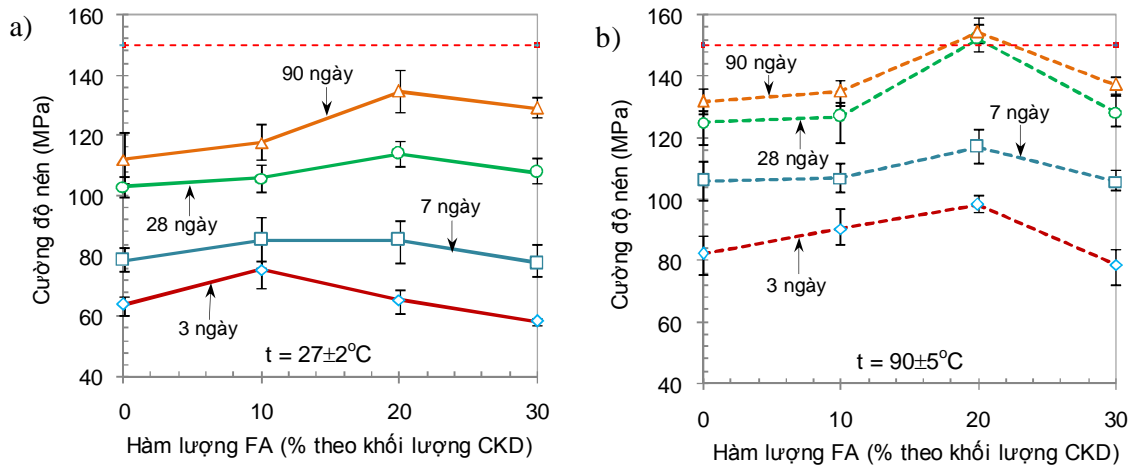


Hình 4. Quan hệ giữa lượng phụ gia siêu dẻo và phụ gia khoáng theo khối lượng chất kết dính, độ chảy từ 210-230 mm, N/CKD = 0.18

4.2 Ảnh hưởng của lượng dùng tro bay đến cường độ nén của bê tông chất lượng siêu cao

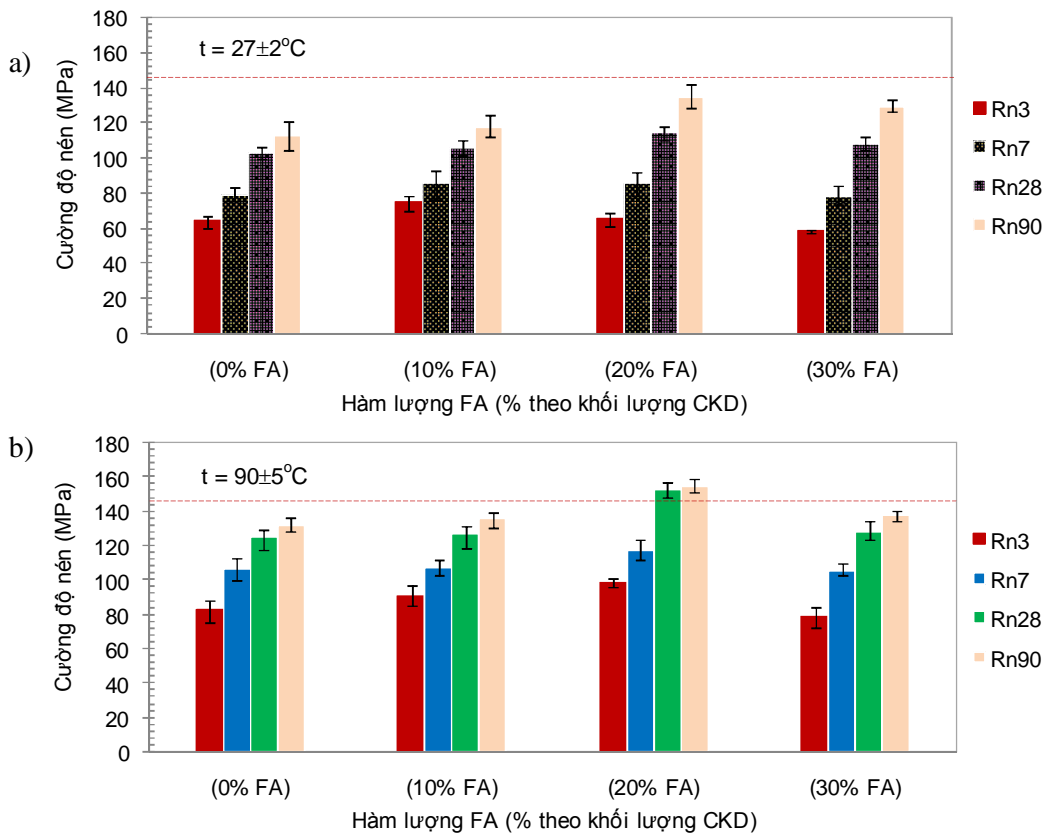
Ảnh hưởng của hàm lượng FA đến cường độ nén của BTCLSC thể hiện ở hình 5. Khi sử dụng FA đến 30% không có sự suy giảm cường độ nén của bê tông ở tuổi 28 ngày so với mẫu đối chứng, ở cả điều kiện dưỡng hộ tiêu chuẩn và dưỡng hộ nhiệt ẩm.

Cường độ nén BTCLSC sử dụng 20% FA đạt giá trị lớn nhất ở cả chế độ dưỡng hộ tiêu chuẩn và dưỡng hộ nhiệt ẩm, tương ứng là 114 MPa và 153 MPa. Tiếp tục tăng hàm lượng FA thì cường độ nén của bê tông bắt đầu giảm.



Hình 5. Ảnh hưởng của hàm lượng FA đến cường độ nén của BTCLSC, N/CKD = 0.18, (a) $27 \pm 2^\circ\text{C}$, (b) $90 \pm 5^\circ\text{C}$

Ảnh hưởng của hàm lượng FA tới sự phát triển cường độ nén của bê tông theo thời gian thể hiện ở hình 6.



Hình 6. Ảnh hưởng của hàm lượng FA đến sự phát triển cường độ nén của BTCLSC theo thời gian, $N/CKD = 0.18$, (a) $27\pm 2^\circ C$, (b) $90\pm 5^\circ C$

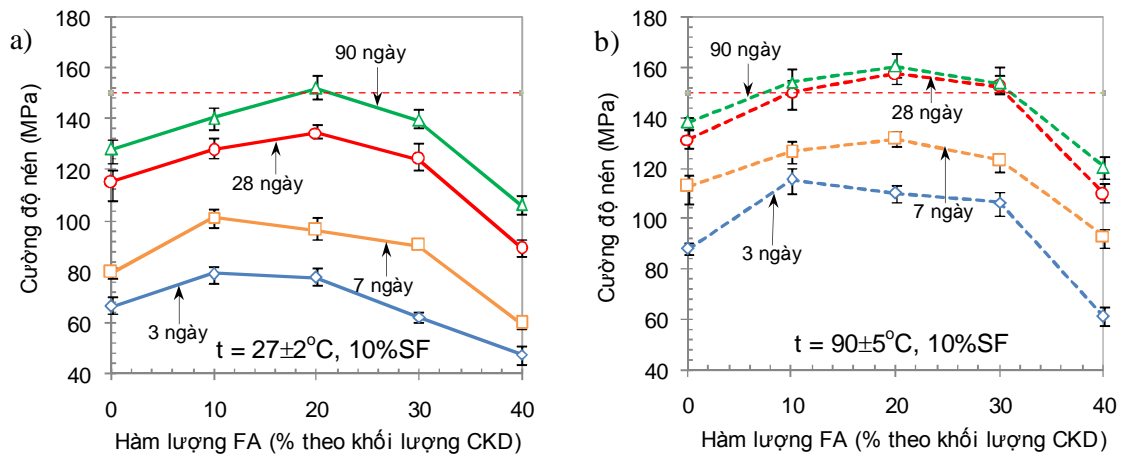
Ở điều kiện dưỡng hộ tiêu chuẩn ($t = 27\pm 2^\circ C$), khi sử dụng hàm lượng FA là 10% và 20% thì cường độ nén của bê tông ở những ngày đầu tăng không nhiều so với mẫu đối chứng, nhưng sự phát triển cường độ ở tuổi về sau khá lớn, đặc biệt ở tuổi 90 ngày. Điều này có thể là do các hạt FA có dạng hình tròn, cấu trúc xốp, trong quá trình nhào trộn sẽ hút một lượng nước nhất định của hệ vào. Do quá trình thủy hóa của xi măng, theo thời gian độ ẩm của hệ sẽ giảm xuống, khi đó lượng nước trong các hạt FA sẽ cung cấp để quá trình thủy hóa xảy ra được triệt để hơn, điều này có thể làm tăng cường độ nén của bê tông.

Với các mẫu được dưỡng hộ trong điều kiện nhiệt ẩm ($t = 90\pm 5^\circ C$), tốc độ phát triển cường độ ở những ngày đầu tăng nhưng tốc độ phát triển cường độ ở tuổi dài ngày tăng không nhiều, chẳng hạn cường độ nén ở tuổi 90 ngày tăng không nhiều so với tuổi 28 ngày. Khi hàm lượng FA sử dụng tăng lên thì cường độ nén của bê tông giảm tương ứng với các điều kiện dưỡng hộ.

Như vậy, cường độ nén BTCLSC sử dụng 20% FA đạt giá trị lớn nhất đối với cả hai chế độ dưỡng hộ tiêu chuẩn và dưỡng hộ nhiệt ẩm cao, tương ứng là 114 MPa và 153 MPa.

4.3 Ảnh hưởng của sự kết hợp giữa silica fume và tro bay đến cường độ nén của bê tông chất lượng siêu cao

Hình 7 thể hiện sự ảnh hưởng của hàm lượng silica fume và tro bay đến cường độ nén của bê tông, trong đó hàm lượng silica fume giữ cố định là 10% theo khối lượng CKD, và hàm lượng này được dùng cố định trong nghiên cứu ảnh hưởng của tổ hợp SF và FA đến cường độ nén của BTCLSC.

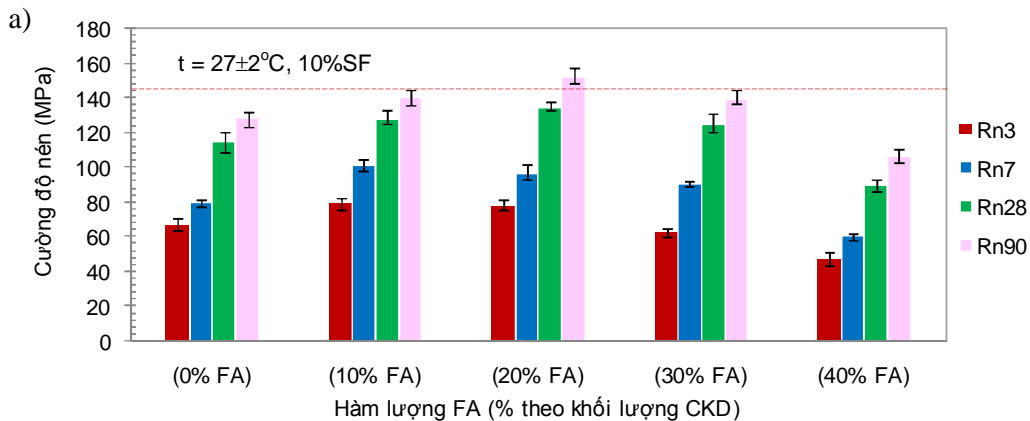


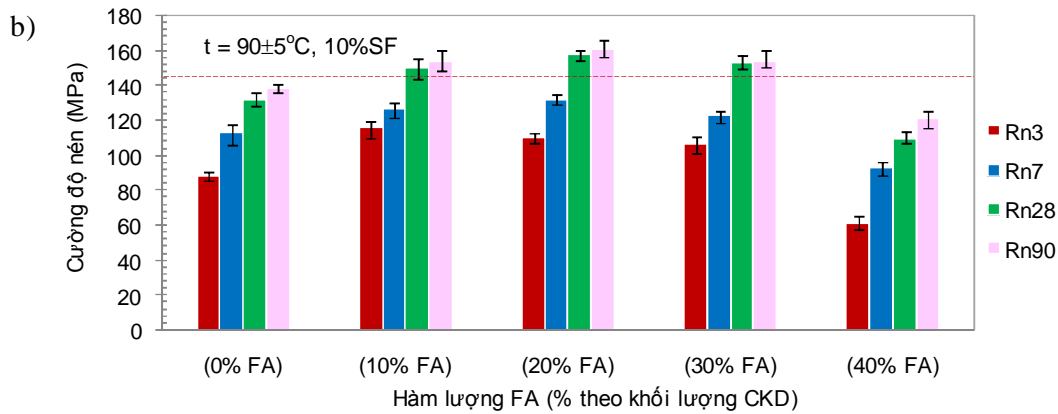
Hình 7. Ảnh hưởng của hàm lượng FA đến cường độ nén BTCLSC, $N/CKD = 0.18$, (a) $27 \pm 2^\circ\text{C}$, (b) $90 \pm 5^\circ\text{C}$

Ảnh hưởng của hàm lượng (SF và FA) đến hàm lượng PGSD sử dụng và cường độ nén của BTCLSC thể hiện ở hình 4 và hình 7. Qua kết quả thí nghiệm ta thấy khi có sự kết hợp giữa SF và FA hỗn hợp bê tông có lượng dùng PGSD ít hơn so với khi dùng đơn phụ gia khoáng, đồng thời cường độ nén của bê tông cao hơn khi sử dụng đơn phụ gia khoáng là FA với cùng hàm lượng.

Kết quả cho thấy cường độ nén lớn nhất của tổ hợp này đạt được khi lượng dùng FA là 20%, tương ứng giá trị cường độ nén của mẫu ở điều kiện dưỡng hộ tiêu chuẩn và nhiệt ẩm đạt được tại tuổi 28 ngày là 135 MPa và 158 MPa. Ở điều kiện nhiệt ẩm khi lượng dùng FA đến 30% thì cường độ nén của bê tông đạt 152 MPa. Như vậy, kể đến lượng dùng cố định SF là 10% thì tổng lượng dùng của phụ gia khoáng trong trường hợp này có thể nâng lên đến 40%, điều này mang lại ý nghĩa rất lớn trong việc sử dụng phụ gia khoáng thay thế xi măng để chế tạo BTCLSC.

Tốc độ phát triển cường độ nén ở các tuổi khác nhau ở 2 chế độ dưỡng hộ khác nhau thể hiện trên hình 8. Kết quả thí nghiệm có thể thấy rằng cường độ nén của BTCLSC ở điều kiện dưỡng hộ tiêu chuẩn cũng giống như quy luật phát triển cường độ của bê tông khi sử dụng đơn phụ gia khoáng, nghĩa là tương đối thấp ở tuổi ban đầu, cường độ bê tông tiếp tục tăng nhanh đến tuổi 90 ngày. Trong khi đó với điều kiện dưỡng hộ nhiệt ẩm, cường độ nén bê tông ở những ngày đầu tăng nhanh, và tăng không nhiều ở tuổi dài ngày, chẳng hạn ở 28 và 90 ngày.





Hình 8. Ảnh hưởng của hàm lượng FA đến sự phát triển cường độ nén của bê tông theo thời gian, hàm lượng SF cố định 10%, N/CKD = 0.18, (a) 27±2°C, (b) 90±5°C

5. Kết luận

Dựa trên những kết quả nghiên cứu đạt được, một số kết luận có thể rút ra trong điều kiện nghiên cứu này như sau:

- Hoàn toàn có thể sử dụng tro bay ở Việt Nam thay thế một phần xi măng để chế tạo BTCLSC;
- Việc sử dụng tro bay thay thế một phần xi măng sẽ cải thiện tính công tác của hỗn hợp BTCLSC. Trong điều kiện dưỡng hộ nhiệt ẩm (90±5°C, RH>95%), lượng dùng 20% FA thay thế xi măng là tối ưu để chế tạo BTCLSC, khi đó cường độ nén cao nhất đạt được là 153 MPa. Đồng thời, lượng FA có thể dùng để chế tạo BTCLSC là 20% với chế độ dưỡng hộ nhiệt ẩm;
- Khi sử dụng đơn phụ gia khoáng SF, hàm lượng 10% SF là tối ưu để chế tạo BTCLSC, khi đó cường độ nén đạt được lớn nhất là 152MPa và 160MPa tương ứng ở điều kiện dưỡng hộ tiêu chuẩn và dưỡng hộ nhiệt ẩm. Bên cạnh đó, lượng SF lớn nhất có thể sử dụng để chế tạo BTCLSC là 30%, để đạt cường độ nén theo yêu cầu (> 150 MPa);
- Khi sử dụng kết hợp FA và SF sẽ làm tăng tính công tác của hỗn hợp BTCLSC. Tổng lượng dùng phụ gia khoáng có thể thay thế xi măng đến 40% mà cường độ nén của BTCLSC vẫn đạt theo yêu cầu (>150 MPa).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. AFGC-SETRA, Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concretes. 2002, Paris, France: Interim Recommendations, AFGC publication.
2. RICHARD, P. and M.H. CHEYREZY, "Reactive Powder concretes with high ductility and 200-800 MPa compressive strength" in Mehta, P.K. (ED). *Concrete Technology: Past, Present and Future, Proceedings of the V. Mohan Malhotra Symposium, 1994: p. ACI SP 144-24, 507-518. Detroit: Victoria Wieczorek.*
3. VOOA, Y.L. and S.J. FOSTERB, Characteristics of ultra-high performance 'ductile' concrete and its impact on sustainable construction. *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering, 2010. 3: p. 168–187.*
4. MEHTA, P.K. and V. MALHOTRA, High performance, high volume fly ash concrete. 2008, ACCA.
5. Ramachandra, High-Volume Fly Ash and Slag concrete. *Noyes, 1995: p. 800-837.*
6. LONG, L.Đ., Nghiên cứu sử dụng tro nhiệt điện đốt than tầng sôi tuần hoàn có khử khí sulfua (CFBC) của Nhà máy Nhiệt điện Cao Ngạn cho sản xuất vật liệu xây dựng. *Báo cáo tổng kết đề tài khoa học và công nghệ, Viện Vật liệu Xây dựng, 2010.*
7. AHLBOR, T.M., E. J.PEUSE, and D.L. MISSON, Ultra-High-Performance-Concrete for Michigan Bridges Material Performance – Phase I. 2008, Center for Structural Durability Michigan Technological University. p. 152.
8. LE, T.T., Ultra high performance fibre reinforced concrete paving flags. 2008, University of Liverpool: Liverpool. p. 374.

9. AHLBORN, T.M., et al., Strength and Durability Characterization of Ultra-High Performance Concrete Under Variable Curing Conditions. *TRB Annual Meeting, 2011: p. 1-19.*
10. KOLLMORGEN, G.A., Impact of Age and Size on the Mechanical Behavior of an Ultra-High Performance Concrete, in MS Thesis in Civil Engineering. *2004, Michigan Technological University, Houghton, Michigan.*
11. GRAYBEAL, B.A., Characterization of the Behavior of Ultra-High Performance Concrete, in *PhD Dissertation. 2005, University of Maryland, College Park, Maryland.*
12. LARRARD, F.D. and T. SEDRAN, Optimization of ultra-high-performance concrete by the use of a packing model. *Cement and Concrete Research, 1994. 24(6): p. 997-1009.*
13. DE LARRARD, F., Concrete mixture proportioning: A scientific approach. *Modern Concrete Technology Series, E&FN SPON, London, 1999.*
14. JONES, M., L. ZHENG, and M. NEWLANDS, Comparison of particle packing models for proportioning concrete constituents for minimum voids ratio. *Materials and Structures, 2002. 35(5): p. 301-309.*
15. BACHE, H.H., Densified Cement-Based/Ultrafine Particles-Based Materials. *Proceedings, Second International Conference on Superplasticizer in Concrete, Ottawa, 1981: p. 185-213.*
16. C.HOLLAND, T., Silica Fume User's Manual. *Silica Fume Association, April 2005: p. 183.*
17. TUAN, N.V., Rice Husk Ash as a Mineral Admixture for Ultra High Performance Concrete, in Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, the Netherlands. *2011. p. 165.*