



ẢNH HƯỞNG CỦA XỈ LÒ CAO NGHIÊN MỊN ĐẾN ĐỘ NHỚT CỦA HỒ CHẤT KẾT DÍNH ĐỂ CHẾ TẠO BÊ TÔNG CHẤT LƯỢNG SIÊU CAO

Lê Trung Thành^{1*}, Nguyễn Công Thắng²

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của hàm lượng xỉ lò cao nghiền mịn (GBFS), thu được từ thải phẩm của ngành công nghiệp sản xuất gang thép và hỗn hợp GBFS và silica fume (SF) đến độ nhớt của hồ chất kết dính (CKD) trong bê tông chất lượng siêu cao (BTCLSC). Kết quả nghiên cứu khẳng định GBFS đã làm giảm độ nhớt của hồ chất CKD so với mẫu đối chứng (0%GBFS). Hơn nữa, sự tác dụng tương hỗ giữa SF và GBFS đã tạo ra độ nhớt hợp lý của hồ CKD để chế tạo BTCLSC. Điều này giúp làm tăng tổng hàm lượng phụ gia khoáng (PGK) sử dụng bao gồm SF và GBFS để thay thế lượng dùng xi măng trong BTCLSC, tạo ra loại BTCLSC có thành phần bền vững hơn.

Từ khóa: Bê tông chất lượng siêu cao (BTCLSC); silica fume (SF); xỉ lò cao nghiền mịn (GBFS); độ nhớt; hồ chất kết dính (CKD).

Influence of ground granulated blast-furnace slag on the viscosity of binder paste for production of UHPC

Abstract: This research is to investigate the effect of Ground Granulated Blast-Furnace Slag (GBFS) that is a by-product discharged from iron production industry, and the mixture of GBFS and silica fume (SF) on the viscosity of cement paste in Ultra-High Performance Concrete (UHPC). The research results confirm that GBFS decreases the viscosity of cement pastes compared to that of control paste (0%GBFS). Moreover, a synergic effect between SF and GBFS was also found to gain the optimal viscosity of binder paste for production of UHPC. This leads to an increase of the total amount of the mineral admixture comprising SF and GBFS for cement replacement to make the UHPC material to be relatively more sustainable.

Keywords: Ultra-high Performance Concrete (UHPC); silica fume (SF); Ground Granulated Blast-Furnace Slag (GBFS); viscosity; binder paste.

Nhận ngày 15/12/2016; sửa xong 23/02/2017; chấp nhận đăng 21/3/2017

Received: December 15, 2016; revised: February 23, 2017; accepted: March 21, 2017



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 phân tán), độ thấm thấp và độ bền cao [1-6]. Sự ra đời của BTCLSC 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 XX và kể từ đó loại bê tông này đã được áp dụng ở một số nước phát triển để chế tạo các cấu kiện dầm cầu đúc sẵn, tấm lát mặt cầu, kết cấu bền vững với môi trường biển, bể chứa phế thải hạt nhân...

Xét về thành phần, BTCLSC có lượng dùng xi măng rất lớn (khoảng 900-1000 kg/m³), lượng dùng phụ gia siêu dẻo lớn khoảng 1-1,5% theo khối lượng chất kết dính, tỷ lệ N/CKD rất thấp (thường $\leq 0,25$) và đặc biệt yêu cầu độ chảy rất cao. Thành phần nguyên liệu của BTCLSC có mối liên hệ chặt chẽ đến các tính chất như độ nhớt, tính lưu biến của hồ chất kết dính trong bê tông. Trong BTCLSC để đạt được sự phân tán của các pha liên tục, cốt liệu trong bê tông được phân tán tốt thì cần thiết phải sử dụng phụ gia khoáng mịn, phụ gia siêu dẻo hay phụ gia biến tính độ nhớt thích hợp. Hơn nữa, sự phân tán thấp và không đồng nhất trong quá trình trộn, đúc mẫu có thể gây ra hiện tượng vón tụ giữa các hạt xi măng làm giảm tính công tác, tăng độ rỗng của đá xi măng và làm giảm sự đồng nhất của cấu trúc. Do vậy, chất lượng của bê tông chịu sự ảnh hưởng trực tiếp của sự phát triển cấu trúc của hồ xi măng trong quá trình trộn, đúc mẫu và quá trình rắn chắc. Hiện nay, các tính chất cơ lý của cả hồ xi măng và bê tông chủ yếu được đánh giá bằng thực nghiệm như: với hồ chất kết dính sử dụng thiết bị đo độ nhớt, dùng côn Marsh, với bê tông chất lượng siêu cao, vừa có thể sử dụng côn đo độ chảy (minicone slump)... Việc nghiên cứu về độ nhớt của hồ chất kết dính và ảnh hưởng của hỗn hợp phụ gia khoáng silica fume, xỉ lò cao đến độ nhớt của

¹TS, Vụ Khoa học công nghệ và môi trường, Bộ Xây dựng.

²TS, Khoa Vật liệu xây dựng, Trường Đại học Xây dựng.

*Tác giả chính. E-mail: letrungthanh.moc@gmail.com.

hồ chất kết dính và bê tông có ý nghĩa rất lớn. Thông qua giá trị này có thể đánh giá được ảnh hưởng của đặc tính của phụ gia khoáng như (hình dạng, độ mịn, đặc tính bề mặt, sự phân bố cỡ hạt, độ lèn chặt) cũng như sự tương tác giữa các hạt đến độ nhớt, tính chất lưu biến của hồ chất kết dính và bê tông chất lượng siêu cao.

Việc nghiên cứu sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng silica fume và xỉ hạt hóa sẽ giảm giá thành, thân thiện với môi trường đồng thời cải thiện đáng kể các tính chất cho hồ chất kết dính và BTCLSC. Xỉ lò cao hạt hóa nghiền mịn thay thế một phần xi măng trong bê tông sẽ làm giảm giá thành sản phẩm, cải thiện được các tính chất kỹ thuật cho bê tông như giảm độ nhớt, tăng tính công tác cho hồ chất kết dính và bê tông. Tuy vậy, xỉ với bề mặt thủy tinh khi sử dụng trong hồ chất kết dính rất dễ xảy ra hiện tượng tách nước sẽ làm ảnh hưởng đến chất lượng đá xi măng. Việc sử dụng kết hợp silica fume sẽ hạn chế được nhược điểm này, với kích thước hạt rất mịn, tỷ diện tích bề mặt lớn, silica fume khi được sử dụng trong hồ chất kết dính và bê tông với hàm lượng hợp lý sẽ có vai trò phân tán các hạt xi măng, điền đầy vào khoảng trống giữa các hạt xi măng cải thiện tính công tác, tăng độ đặc chắc cho đá xi măng, đồng thời cũng giúp cho quá trình thủy hóa được triệt để và tăng cường độ đá xi măng.



2. Vật liệu sử dụng và phương pháp thí nghiệm

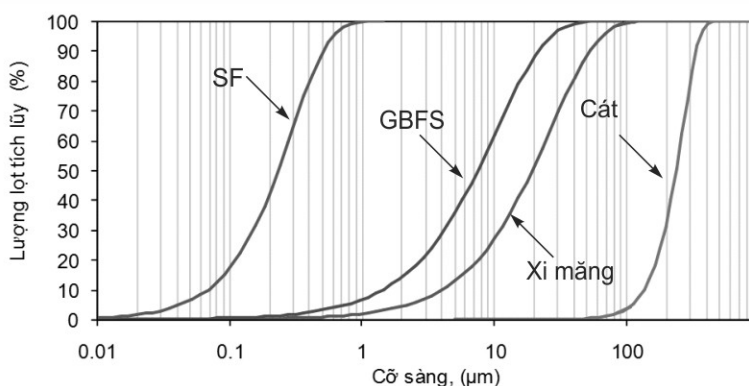
2.1 Vật liệu sử dụng

Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: cát quắc với đường kính cỡ hạt trung bình là 300 μ m, xi măng pooc lăng PC40 với các tính chất cơ lý được trình bày ở Bảng 1; Silica fume (SF) dạng hạt rời với hàm lượng SiO₂ vô định hình đạt 92,3%, đường kính cỡ hạt trung bình khoảng 0,15 μ m, chỉ số hoạt tính của SF với xi măng đạt 112,5%, SF có khối lượng riêng là 250 kg/m³, tỷ diện tích bề mặt (BET) 21 m²/g; GBFS với đường kính cỡ hạt trung bình khoảng 7,2 μ m, chỉ số hoạt tính với xi măng đạt 104,3%; phụ gia siêu dẻo gốc polycarboxylate với hàm lượng chất khô đạt 35%. Thành phần hóa của vật liệu sử dụng trong nghiên cứu được trình bày ở Bảng 2.

Kết quả thí nghiệm phân bố cỡ hạt và đường kính hạt trung bình của vật liệu sử dụng trong nghiên cứu được xác định bằng phương pháp nhiễu xạ laser thể hiện ở Hình 1.

Bảng 1. Tính chất cơ lý của xi măng

Tính chất	Đơn vị	Giá trị	Yêu cầu kỹ thuật	Phương pháp thử
Độ mịn Lượng sót sàng 0.09mm Độ mịn theo PP Blaine	% cm ² /g	0,6 3870	≤ 10 ≥ 2800	TCVN 4030-2003
Lượng cần nước	%	29,5	-	TCVN 6017-2015
Cường độ nén 3 - ngày 28 - ngày	MPa	29,8 52,2	$\geq 21,0$ $\geq 40,0$	TCVN 6016-2012



Hình 1. Sự phân bố cỡ hạt của vật liệu sử dụng trong nghiên cứu

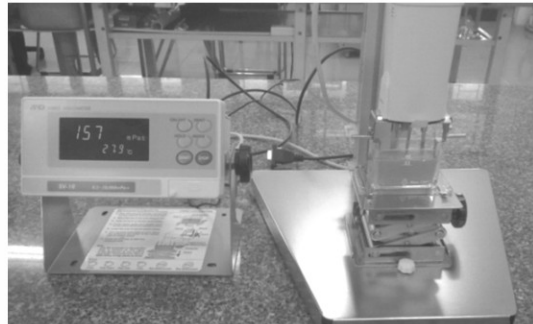
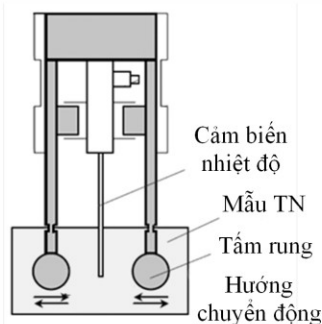
Bảng 2. Thành phần hóa của xi măng và phụ gia khoáng

Vật liệu	Thành phần hóa, %									
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	So ₃	TiO ₂	MKN
Xi măng	20,3	5,05	3,51	62,81	3,02	-	-	2	-	1,83
SF	92,3	1,91	0,86	0,32	0,85	0,38	1,22	0,3	-	1,68
GBFS	34,52	0,66	12,38	41,54	7,25	0,43	0,24	-	-	0,96

2.2 Phương pháp thí nghiệm

Độ chảy qua côn Marsh của hồ CKD được thí nghiệm theo tiêu chuẩn ASTM C939. Quá trình thí nghiệm được tiến hành ngay sau khi hỗn hợp hồ CKD được trộn xong với tổng thời gian trộn là 10 phút, hồ CKD được rót vào côn Marsh với thể tích 1725ml, thời gian chảy của hồ ứng với các thể tích khác nhau được ghi nhận. Thể tích hồ chảy qua côn Marsh được xác định ở thể tích là 1000ml, khi đó độ chảy của hồ qua côn Marsh là ổn định [7].

Độ nhớt của hồ CKD được xác định bằng thiết bị nhớt kế kiểu rung SV-10 (Hình 2). Thiết bị này xác định và tính toán độ nhớt của hỗn hợp hồ CKD thông qua quá trình xác định dòng điện cần thiết để rung hai sensor với tần số không đổi là 30 Hz. Thí nghiệm được tiến hành ngay sau khi hỗn hợp hồ CKD được trộn xong. Hồ CKD được rót vào cốc đo với thể tích khoảng 35-45 ml, đặt cốc vào vị trí đo của thiết bị, điều chỉnh 02 tấm sensor nhúng vào trong mẫu đến vạch định mức đã xác định. Bật máy đo để xác định giá trị độ nhớt. Độ nhớt của hỗn hợp hồ CKD được xác định tại thời điểm 15 giây sau khi bật máy. Các thí nghiệm được tiến hành tại nhiệt độ $27 \pm 2^\circ\text{C}$.



Hình 2. Mô hình thiết bị đo độ nhớt của hồ xi măng với nhớt kế kiểu rung V-10 (Vibro viscometer)



3. Thành phần vật liệu và quá trình trộn

3.1 Thành phần vật liệu

Trong nghiên cứu này, hàm lượng xỉ lò cao nghiền mịn GBFS được thay đổi tăng dần từ 10 đến 70% lượng dùng CKD và được thử nghiệm với hồ CKD không có SF và hồ CKD có 10%SF. GBFS được sử dụng với các đường kính hạt trung bình $7,2\mu\text{m}$. Tỷ lệ N/CKD của các mẫu thí nghiệm được giữ trong khoảng 0,16 - 0,20. Một mẫu thí nghiệm sử dụng 100% xi măng (không có SF và GBFS) làm đối chứng (ĐC). Tỷ lệ thành phần vật liệu của các mẫu thí nghiệm hồ CKD được trình bày ở Bảng 3.

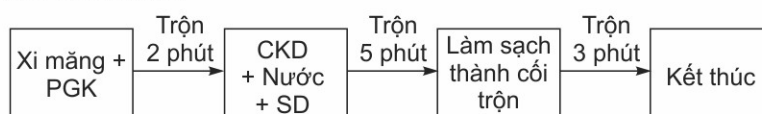
Bảng 3. Tỷ lệ thành phần vật liệu của hồ CKD

Kí hiệu CP	Tỷ lệ N/CKD (Theo khối lượng)	SF (% theo khối lượng)	GBFS (% theo khối lượng)	Hàm lượng PGSD, %CKD
ĐC	0,16-0,20	0	0	1,5-1,2*
10SF		10	0	1,2-1,0*
20SF		20	0	1,4-1,2*
30SF		30	0	1,8-1,3*
10GBFS		0	10	1,3-1,0*
30GBFS		0	30	1,1-0,8*
50GBFS		0	50	1,1-0,6*
70GBFS		0	70	0,9-0,5*
10SF10GBFS		10	10	1,2-1,1*
10SF30GBFS		10	30	1,1-1,0*
10SF50GBFS		10	50	1,1-0,8*
10SF70GBFS		10	70	0,9-0,6*

Ghi chú: (*) tương ứng với tỷ lệ N/CKD = 0,20

3.2 Quá trình trộn hồ CKD

Máy trộn sử dụng trong nghiên cứu là máy trộn Hobart có dung tích 3 lít. Quy trình trộn hỗn hợp hồ CKD được tiến hành theo sơ đồ ở Hình 3.

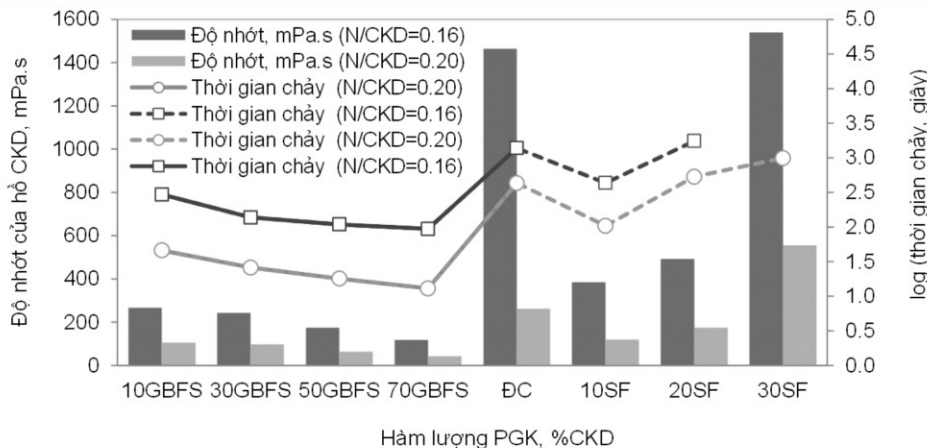


Hình 3. Quá trình trộn hồ CKD

4. Kết quả và bàn luận

4.1 Ảnh hưởng của GBFS đến độ nhớt của hồ CKD với tỷ lệ N/CKD khác nhau

Kết quả thí nghiệm về ảnh hưởng của GBFS đến độ nhớt và thời gian chảy của hồ CKD được thể hiện ở Hình 4. Kết quả thí nghiệm cho thấy khi sử dụng GBFS trong CKD sẽ làm giảm độ nhớt và giảm thời gian chảy của hồ. Đồng thời khi tăng hàm lượng GBFS tương ứng thì thời gian chảy qua côn Marsh và độ nhớt của hồ CKD sẽ giảm theo. Các hạt GBFS, do bề mặt các hạt có cấu trúc phẳng mịn làm các hạt có thể trượt lên nhau dễ hơn, nghĩa là giảm nội ma sát giữa các hạt, đồng thời các hạt GBFS có cấu trúc đặc chắc không hút nước, làm tăng lượng nước tự do trong hỗn hợp, từ đó cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông là đáng kể khi sử dụng BFS thay thế một phần xi măng. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng hàm lượng GBFS (trong nghiên cứu này với GBFS=50% và tỷ lệ N/CKD=0,20) thì theo quan sát hỗn hợp bắt đầu có hiện tượng tách nước và khi kết hợp với SF thì không xảy ra hiện tượng này. Như vậy, việc sử dụng kết hợp SF và GBFS đã có hiệu ứng tương hỗ, hạn chế nhược điểm của từng PGK này và cải thiện độ nhớt của hồ CKD. Trên cơ sở kết quả thí nghiệm đề tài lựa chọn và cố định hàm lượng 10%SF để đánh giá các ảnh hưởng của sự kết hợp với GBFS trong các tính chất của hồ CKD.



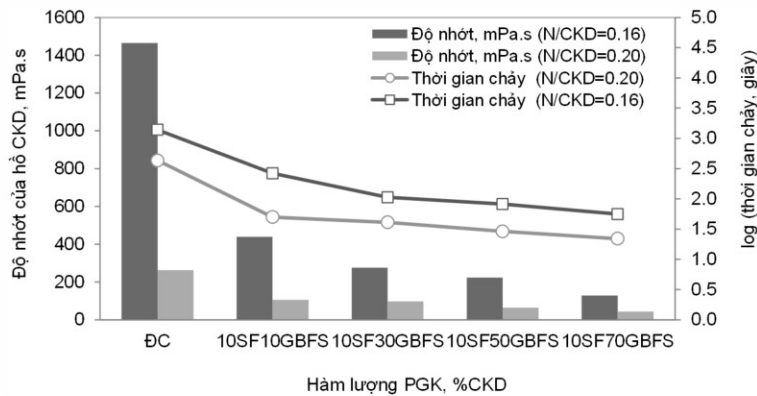
Hình 4. Ảnh hưởng của hỗn hợp PGK GBFS và SF đến độ nhớt và thời gian chảy của hồ CKD

Một thí nghiệm về ảnh hưởng của hàm lượng SF đến độ nhớt của hồ CKD cho thấy độ nhớt của hồ với các tỷ lệ N/CKD được thí nghiệm đều đạt giá trị nhỏ nhất khi sử dụng 10%SF và khi hàm lượng SF tăng lên 20%, 30% thì độ nhớt của hồ CKD cũng tăng theo và thời gian chảy của hồ CKD tăng lên rất lớn, (Hình 4). Quy luật này là do SF có đặc tính là các hạt hình cầu kích thước siêu mịn, do đó việc sử dụng SF với một hàm lượng hợp lý các hạt SF siêu mịn sẽ 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 vừa giảm được lượng dùng nước và lượng dùng PGSD vừa cải thiện độ nhớt cũng như thời gian chảy của hồ CKD. Việc sử dụng kết hợp SF và GBFS đã có hiệu ứng tương hỗ, hạn chế nhược điểm của từng loại PGK và cải thiện độ nhớt của hồ CKD. Trên cơ sở kết quả thí nghiệm, hàm lượng 10%SF được cố định để đánh giá các ảnh hưởng của sự kết hợp với GBFS trong các tính chất của hồ CKD.

4.2 Ảnh hưởng của hỗn hợp PGK GBFS và SF đến độ nhớt của hồ CKD

Sự kết hợp giữa SF và GBFS đã cải thiện đáng kể độ nhớt của hồ CKD, khi GBFS sử dụng với hàm lượng 10% độ nhớt của hồ giảm khoảng 13% so với mẫu chỉ sử dụng 10% SF. Khi tăng hàm lượng GBFS sử dụng thì độ nhớt của hồ CKD giảm, khi hàm lượng GBFS tăng đến 50% và 70%, độ nhớt của hồ CKD tương ứng giảm 45% và 75%. Khi có sự kết hợp giữa 10%SF và 70%GBFS thì hồ CKD không xảy ra hiện tượng tách nước. Kết quả thí nghiệm về độ nhớt và thời gian chảy qua côn Marsh của hồ CKD khi sử dụng GBFS kết hợp với 10% SF với tỷ lệ N/CKD khác nhau thể hiện ở Hình 5.

Như vậy, khi tăng hàm lượng xỉ sử dụng thì hàm lượng PGSD giảm đồng thời độ nhớt của hồ CKD giảm. Tuy nhiên, khi hàm lượng GBFS tăng đến 70% thì rất dễ gây ra hiện tượng tách nước. Với tỷ lệ N/CKD=0,16 đã có sự giảm đột ngột về độ nhớt của hồ CKD với hàm lượng GBFS sử dụng trên 30%. Tương tự, kết quả thí nghiệm cho thấy khi có sự kết hợp giữa SF và GBFS thì thời gian chảy của hồ CKD qua côn Marsh cũng được cải thiện đáng kể so với mẫu đối chứng và mẫu chỉ sử dụng SF. Khi cố định 10%SF và tăng hàm lượng GBFS thì thời gian chảy của hồ CKD giảm, điều đó có nghĩa là tốc độ chảy tăng và độ nhớt của hồ CKD giảm.



Hình 5. Ảnh hưởng của hỗn hợp PGK GBFS và SF đến độ nhớt và thời gian chảy của hồ CKD

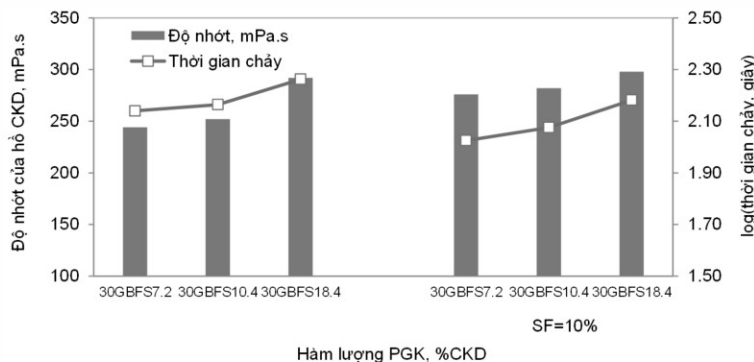
Kết quả thực nghiệm đồng thời cũng khẳng định khi sử dụng GBFS với 10% SF thay thế một phần xi măng sẽ cải thiện đáng kể thời gian chảy cũng như độ nhớt của hồ CKD. SF với khối lượng riêng nhỏ hơn so với xi măng do đó khi SF được thay thế theo khối lượng xi măng thì thể tích của các hạt mịn trong hỗn hợp hồ CKD tăng lên. SF với đường kính hạt trung bình khoảng 0,15m, dạng hình cầu nên khi sử dụng với hàm lượng thấp có tác dụng làm giảm nội ma sát trong hỗn hợp hạt, còn gọi là hiệu ứng “ổ bi”, đồng thời giúp cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông. 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 đã cải thiện độ nhớt của hồ CKD. Khi tiếp tục tăng hàm lượng SF, do tỷ diện của SF rất lớn, khoảng 18,000-20,000 cm²/g, sẽ 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% thì độ nhớt của hồ CKD tăng lên rất lớn.

Ngược lại với sự ảnh hưởng của việc thay thế SF, khi sử dụng GBFS với hàm lượng càng tăng thì hàm lượng PGSD sử dụng giảm đồng thời độ nhớt và thời gian chảy của hồ CKD càng giảm (Hình 4). Hạt GBFS có bề mặt thủy tinh đặc chắc nên khi thay thế xi măng thì lượng nước dư tăng lên và làm giảm thời gian chảy và độ nhớt của hồ. Kết quả của hiệu ứng này có thể tăng lượng dùng GBFS để thay thế xi măng với hàm lượng lớn trong hồ CKD để chế tạo BTCLSC. Tuy vậy, theo kết quả nghiên cứu (Hình 5) thì khi hàm lượng GBFS sử dụng đến 50% thì hồ CKD bắt đầu có hiện tượng tách nước. Hiện tượng này sẽ được hạn chế khi có sự kết hợp với 10%SF.

4.3 Ảnh hưởng của độ mịn GBFS đến độ nhớt của hồ CKD

Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của độ mịn GBFS đến độ nhớt của hồ CKD cũng đã được thử nghiệm. GBFS được sử dụng với các đường kính hạt trung bình 7,2μm, 10,4μm và 18,4μm. Hồ CKD được cố định tỷ lệ N/CKD=0,16. Hàm lượng GBFS sử dụng với tỷ lệ là 30%CKD, đồng thời sự kết hợp giữa 30%GBFS với 10%SF trong hồ CKD cũng được nghiên cứu. Kết quả thí nghiệm về ảnh hưởng của độ mịn GBFS đến độ nhớt của hồ CKD không có SF và hồ CKD có 10%SF được thể hiện ở Hình 6.

Kết quả thí nghiệm khẳng định khi tăng kích thước hạt GBFS lên thì độ nhớt của hồ CKD tăng, với kích thước hạt tăng đến 10.4μm thì độ nhớt của hồ CKD tăng không nhiều so với hỗn hợp hồ CKD sử dụng GBFS với kích thước hạt 7,2μm. Tuy nhiên, với kích thước hạt của GBFS lớn nhất (18,4μm) thì độ nhớt của hồ CKD tăng lên rất lớn. Khi có sự kết hợp giữa SF và GBFS thì độ nhớt của hồ CKD tăng, tuy nhiên mức tăng độ nhớt của hồ CKD không nhiều so với hỗn hợp chỉ sử dụng GBFS.



Hình 6. Ảnh hưởng của kích thước hạt GBFS đến độ nhớt và thời gian chảy của hồ CKD



5. Kết luận

- Kết quả thí nghiệm về đặc tính về độ chảy và độ nhót của hồ CKD cho thấy độ nhót và thời gian chảy của hồ CKD đạt giá trị nhỏ nhất khi sử dụng 10%SF, nếu hàm lượng SF tăng lên thì độ nhót và thời gian chảy qua côn Marsh của hồ CKD cũng tăng theo.

- Khi hàm lượng GBFS tăng thì độ nhót và thời gian chảy của hồ CKD giảm. Kết quả này cho thấy hoàn toàn có thể tăng lượng dùng GBFS để thay thế xi măng với hàm lượng lớn trong chế tạo BTCLSC. Tuy nhiên, khi hàm lượng GBFS sử dụng đến 50% thì hồ CKD bắt đầu có sự tách nước. Hiện tượng này được hạn chế khi có sự kết hợp với 10%SF. Kích thước hạt GBFS cũng có ảnh hưởng đến độ nhót của hồ CKD vì khi tăng kích thước hạt GBFS thì độ chảy và độ nhót của hồ CKD tăng.

- Sự kết hợp của GBFS và SF đã tác động trực tiếp đến độ nhót và thời gian chảy qua côn Marsh của hồ CKD để chế tạo BTCLSC. Qua các kết quả phân tích về đặc tính độ nhót và thời gian chảy qua côn Marsh của hồ CKD, đồng thời xét hiệu quả về kinh tế, kỹ thuật, tỷ lệ 10%SF và GBFS nên nhỏ hơn 50% khối lượng của CKD là hợp lý nhất.

Tài liệu tham khảo

1. Richard.P and Cheyrezy.M.H, (1994), "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*, ACI SP 144-24, 507-518.
2. AFGC-SETRA, (2002), "Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concretes", *Interim Recommendations*, AFGC publication, Paris, France.
3. Acker.P and Behloul.M, (2004), "Ductal Technology: A Large Spectrum of Properties, A Wide Range of Applications", in *Proceedings of Ultra High Performance Concrete*, Kassel, Germany, 13-23.
4. Buitelaar, P, (2004), "Ultra High Performance Concrete: Developments and Applications during 25 years", *International Symposium on UHPC*, Kassel, Germany.
5. Collepardi.M, (2003), "Innovative Concretes for Civil Engineering Structures: SCC, HPC and RPC in the building", *Civil and Environmental Engineering*, 784-791.
6. Schimdt and Fehling (2005), "Ultra-High-Performance Concrete: Research, Development and Application in Europe", *Seventh International Symposium on the Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete*, Washington, D.C., USA, SP-228-4.
7. Roussel, N. and R.L. Roy (2005), "The Marsh cone: a test or a rheological apparatus", *Cement and Concrete Research*, 35(5): 823–830.