



NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG NANO-SILICA THAY THẾ SILICA-FUME HẠN CHẾ CO NỘI SINH TRONG BÊ TÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO

Nguyễn Như Quý^{1*}, Vũ Hải Nam²

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của Nano-Silica đến sự phát triển cường độ, độ co toàn phần và co nội sinh của bê tông cường độ cao. Trong thực tế khi chế tạo bê tông cường độ cao thường kết hợp với phụ gia khoáng siêu mịn Silica-fume nhằm thúc đẩy sự phát triển cường ở độ tuổi sớm. Tuy nhiên, khi tỷ lệ nước-xi măng thấp hơn 0,40 cũng như sự có mặt của Silica-fume thi co nội sinh tăng do đó co toàn phần tăng, có khả năng gây nứt cho bê tông khi xuất hiện cản biến dạng của lớp bê tông cũ, nền đá hay chính bản thân bê tông. Nghiên cứu được thực hiện bằng cách so sánh sự phát triển cường độ, độ co toàn phần và co nội sinh của bê tông cường độ cao chỉ sử dụng xi măng Pooclăng với bê tông cường độ cao thay thế 5% xi măng bằng Silica-fume và bê tông cường độ cao thay thế 0,5%, 0,7% và 0,9% xi măng bằng Nano-Silica. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự có mặt của Nano-Silica với các tỷ lệ thay thế sử dụng trong nghiên cứu có tác dụng thúc đẩy tốc độ phát triển cường độ của bê tông cường độ cao, giảm co toàn phần và co nội sinh của bê tông cường độ cao so với bê tông cường độ cao không chứa phụ gia siêu mịn và bê tông cường độ cao chứa Silica-fume.

Từ khóa: Bê tông cường độ cao; Nano-Silica; co nội sinh; co toàn phần.

Research into the use of nano-silica to replace silica-fume for reducing the autogenous shrinkage of high strength concrete

Abstract: This paper reports on the research results of the effects of Nan-Silica on the strength development, total shrinkage, and autogenous shrinkage of high strength concrete. As usual supper fine mineral admixture like Silica fume is added to high strength concrete mixture in order for elevating the concrete strength at early ages. But as it was also proved that for the concrete mixtures with water to cement ratio lower than 0.40 and in presence of Silica fume the concrete autogenous shrinkage was increased so was the total shrinkage that could lead to cracking when a restraint is present. The research was carried out by comparing the strength development, the total and autogenous shrinkage of high strength concrete without mineral admixture, with 5% Silica fume, and with 0.5%; 0.7%, and 0.9% Nano-Silica partially replacing cement. Research results showed that in presence of Nano-Silica at all of replacement rate used in the present research, the rate of strength development of concrete was accelerated, and the autogenous shrinkage and total shrinkage of concrete were reduced compared with high strength concrete with no admixture, with Silica-fume.

Keywords: High-strength concrete; Nano-Silica; autogenous shrinkage; total shrinkage.

Nhận ngày 21/02/2017; sửa xong 12/4/2017; chấp nhận đăng 30/5/2017

Received: February 02, 2017; revised: April 12, 2017; accepted: May 30, 2017



1. Giới thiệu chung

Trong vài thập niên trở lại đây việc sử dụng bê tông cường độ cao (cấp bê tông ≥ 55) ngày một trở nên phổ biến do nhu cầu xây dựng nhà siêu cao tầng. Tuy nhiên, trong bê tông cường độ cao, nhất là khi có mặt phụ gia khoáng siêu mịn Silica-fume (SF) thường có giá trị co nội sinh (NS) và co toàn phần (TP) lớn dẫn đến khả năng nứt khi có mặt cản biến dạng giữa lớp bê tông cũ với bê tông mới hay với nền đá (External restraint) hay chính trong bản thân lớp bê tông cường độ cao (internal restraint). Ví dụ trong quá trình thi công công trình thủy điện Sơn La đã ứng dụng thử nghiệm bê tông cường độ cao có mặt Silica-fume nhằm tăng khả năng chống mài mòn bê tông tại vị trí có tốc độ dòng chảy lớn là mũi phỏng của máng dốc. Kết quả lớp bê tông này bị nứt sau khi thi công chỉ vài ngày.

Nguyên nhân là do co ngót vượt quá khả năng chịu kéo của bê tông ở giai đoạn đầu. Trên thế giới việc ứng dụng Nano-Silica tuy mới mẻ song những kết quả ban đầu cho thấy ứng dụng Nano-Silica trong vật liệu

¹PGS.TS, Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng.

²TS, Trung tâm Bê tông Xi măng, Viện Vật liệu Xây dựng, Bộ Xây dựng.

*Tác giả chính. E-mail: nnquy@hotmail.com.



composite xi măng có tiềm năng to lớn, [1]. Tuy nhiên, cho đến thời điểm hiện nay ở Việt Nam và trên thế giới chưa có nhiều công trình nghiên cứu được công bố liên quan đến ảnh hưởng của Nano-Silica đến co nội sinh và co toàn phần của bê tông cường độ cao mà theo tác giả có thể là yếu tố chính gây nứt cho bê tông cường độ cao khi xuất hiện cản biến dạng.

Nội dung bài báo chỉ trong phạm vi nghiên cứu ảnh hưởng của Nano-Silica đến một số tính chất cơ lý và co ngót của bê tông cường độ cao có độ linh động lớn ứng với độ sụt SN = 15 cm đến 20 cm và so sánh các tính chất này với bê tông đối chứng (ĐC) với bê tông có chứa Silica-fume.

2. Vật liệu và phương pháp sử dụng trong nghiên cứu

2.1 Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu

- Xi măng: Loại xi măng được sử dụng trong nghiên cứu là Xi măng Pooclăng PC 40 do Công ty Xi măng Bút Sơn sản xuất có chất lượng phù hợp với tiêu chuẩn [2].

- Cốt liệu nhỏ: Cốt liệu nhỏ được sử dụng trong nghiên cứu là cát vàng Sông Lô có chất lượng phù hợp với tiêu chuẩn [3].

- Cốt liệu lớn: Cốt liệu lớn được sử dụng trong nghiên cứu là đá dăm granite Dmax = 10 mm có chất lượng phù hợp với tiêu chuẩn [3].

- Phụ gia siêu dẻo: Phụ gia siêu dẻo sử dụng trong nghiên cứu là Glenium ACE 388 SureTec gốc Carboxylate Ether có chất lượng phù hợp với tiêu chuẩn [4].

- Silicafume: Phụ gia khoáng siêu mịn Silica-fume sử dụng trong nghiên cứu là Silica-fume do Công ty Elkem Vietnam, Ltd. cung cấp có chất lượng phù hợp với tiêu chuẩn [5].

- Nano-Silica: Nano-Silica sử dụng trong nghiên cứu là Nano Silica 999 của Công ty Elkem Vietnam, Ltd. Cung cấp. Một số tính chất của loại Nano-Silica này (do đơn vị sản xuất cung cấp) được nêu trong Bảng 1.

Bảng 1. Tính chất cơ lý của Elkem Nano Silica 999

STT	Chỉ tiêu	Phương pháp thử	Đơn vị	Giá trị
1	Hàm lượng SiO ₂ vô định hình	ISO 3262-20	%	99,99
2	Mất khi nung	ISO 3262-20	%	≤ 0,01
3	Kích thước hạt <400nm		%	100
4	Khối lượng thể tích	ISO 787-11	kg/m ³	90-100
5	Tỉ diện bê mặt		m ² /g	50
6	Khối lượng riêng	ISO 3262-20	g/cm ³	2,2
7	Độ hút nước	ISO 3262-20	%	≤ 1,0
8	Độ phản xạ	ISO 3262-20	%	≥ 94
9	Độ pH	ISO 3262-20		3,0-5,0

2.2 Phương pháp sử dụng trong nghiên cứu

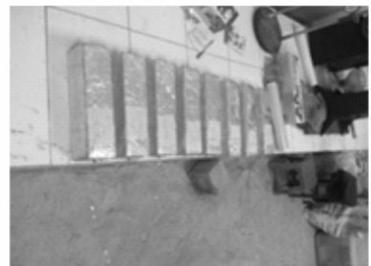
Công việc lấy mẫu, chế tạo, bảo dưỡng và thử tuân thủ [6], tính công tác của hỗn hợp bê tông xác định theo [7], cường độ nén của bê tông được xác định theo [8]. Đối với mẫu bê tông dùng cho thử co nội sinh: Sau khi đúc, mẫu bê tông trong khuôn được bao kín bằng màng chất dẻo chống bay hơi nước. Mẫu bê tông được bảo dưỡng trong khuôn 24 giờ sau đó tháo khuôn và tiến hành đo co lún thứ nhất. Sau đó mẫu bê tông được quét một lớp parafin lỏng tiếp đến là lớp màng chất dẻo dùng trong bao gói thực phẩm và ngoài cùng là lớp giấy nhôm (Hình 1). Mẫu bê tông dùng cho mục đích đo co nội sinh sau đó được cho vào buồng khí hậu có độ ẩm 50% và nhiệt độ 23°C và tiếp tục đo co ngót cho đến 60 ngày bằng thiết bị đo theo [9]. Đối với mẫu bê tông dùng cho thử co toàn phần: Sau khi đúc, mẫu bê tông trong khuôn được bao kín bằng màng chất dẻo chống bay hơi nước. Mẫu bê tông được bảo dưỡng trong khuôn 24 giờ sau đó tháo khuôn và cho vào thùng chứa nước với bão hòa ngâm trong 72 giờ, sau đó vớt mẫu bê tông lau khô mặt mẫu bằng giẻ ẩm và tiến hành đo co lún thứ nhất. Tiếp đó mẫu bê tông được cho vào buồng khí hậu có độ ẩm 50% và nhiệt độ 23°C và tiếp tục đo co ngót cho đến 60 ngày bằng thiết bị đo theo [8]. Việc chuẩn bị mẫu để đo co nội sinh được giới thiệu trên Hình 1. Thành phần bê tông được thiết kế cơ bản dựa theo [10] và được nêu trong Bảng 2, trong đó phụ gia khoáng SF và Nano-Silica thay thế một phần xi măng theo thể tích rắn; và lượng dùng phụ gia siêu dẻo được giữ không đổi bằng 1% lượng dùng xi măng tính theo lít.



(a) bọc màng PE sau khi tạo hình



(b) bọc màng PE sau khi tháo khuôn và tẩm nén



(c) Các mẫu bê tông sẵn sàng để đo co giãn

Hình 1. Chuẩn bị mẫu bê tông đo co giãn**Bảng 2. Thành phần bê tông thực tế cho 1m³ bê tông**

Loại bê tông	X, kg	C, kg	Đ, kg	N, l	PGSD,l	PGK, kg
ĐC	500	599	1090	175	5,0	0
5% SF	475	590	1090	175	5,0	18,9
0,5%NaS	497,5	590	1090	175	5,0	1,75
0,7% NaS	496,5	590	1090	175	5,0	2,44
0,9% NaS	494,5	590	1090	175	5,0	3,14

**3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận**

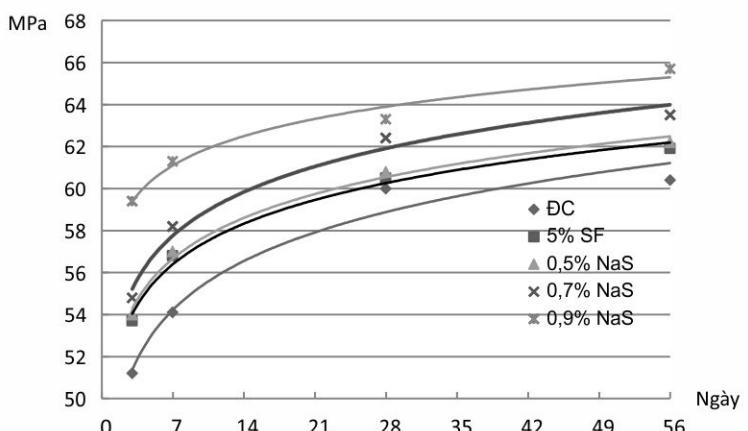
3.1 Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của Nano-Silica đến tính công tác, sự phát triển cường độ của bê tông cường độ cao

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của Nano-Silica đến tính công tác (độ sụt côn, cm) và sự phát triển cường độ của bê tông cường độ cao được nêu tại Bảng 3.

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm tính chất cơ lý của các loại bê tông

STT	Loại bê tông	Độ sụt côn, cm	Cường độ nén, tuổi, ngày, MPa			
			3	7	28	56
1	ĐC	17,0	51,2 100%	54,1 100%	60,0 100%	60,4 100%
2	5% SF	16,0	53,7 104,8%	56,8 104,9%	60,5 101%	61,95 102,5%
3	0,5% NaS	16,0	54,0 105,4%	57,0 105,4%	60,8 101,3%	62,2 102,9%
4	0,7% NaS	15,5	54,8 107%	58,2 107,6%	62,4 104%	63,5 105,1%
5	0,9% NaS	15,0	59,4 116%	61,3 113%	63,3 105,5%	65,7 108,7%

Kết quả cho thấy khi có mặt phụ gia khoáng siêu mịn, nhất là Nano-Silica, độ sụt của hỗn hợp bê tông giảm không đáng kể, (Bảng 3). Nguyên nhân khi có mặt phụ gia khoáng siêu mịn điểm bão hòa phụ gia siêu dẻo có thể tăng do các loại phụ gia khoáng siêu mịn có tỷ diện lớn có khả năng hấp phụ một lượng nhất định phân tử chất hoạt động bề mặt phụ gia siêu dẻo. Sự phát triển cường độ của bê tông cường độ cao được giới thiệu trên Hình 2.

**Hình 2. Sự phát triển cường độ của bê tông cường độ cao có mặt SF và Nano-Silica với lượng dùng khác nhau**

Khi so sánh cường độ nén ở mỗi tuổi cũng như sự phát triển cường độ của năm loại bê tông cho thấy sự có mặt của phụ gia siêu mịn SF thúc đẩy thủy hóa rắn chắc của xi măng. Cụ thể sau 3, 7, 28 và 56 ngày tăng tương ứng xấp xỉ 5 %, 5 %, 1% và 2 %. Với sự có mặt của 0,5 % Nano-Silica tốc độ thủy hóa rắn chắc của xi măng tăng tương đương so với khi sử dụng 5% SF. Tuy nhiên, khi hàm lượng Nano-Silica tăng, tốc độ thủy hóa rắn chắc của bê tông cường độ cao tăng mạnh. Cụ thể khi có mặt 0,7% NaS cường độ nén tăng xấp xỉ 7 %, 7 %, 4 % và 5 % so với bê tông không chứa Nano-Silica, tương ứng tuổi 3, 7, 28 và 56 ngày. Khi hàm lượng NaS tăng lên 0,9 % cường độ nén tăng xấp xỉ 11 %, 11 %, 10 % và 10 % so với bê tông không chứa Nano-Silica, tương ứng tuổi 3, 7, 28 và 56 ngày. Nguyên nhân chủ yếu do sự có mặt của Nano-Silica giúp cải thiện hoạt tính chất kết dính, tăng tốc độ phát triển cường độ, tăng số lượng lỗ rỗng có đường kính nhỏ trong khi tổng độ rỗng có thể không thay đổi so với mẫu bê tông đối chứng [11,12]. Cơ chế tác dụng của Nano-Silica có phần giống và có phần khác so với cơ chế tác dụng của Silica-fume là khi cho vào bê tông NaS tác dụng với Ca(OH)₂ tạo ra trong bê tông do thủy hóa xi măng để tạo ra sản phẩm CSH tăng cường độ bê tông. Mặt khác do cấu tạo đặc biệt là vật liệu có kích thước nano, hoạt tính bề mặt lớn của các hạt nano SiO₂ cho phép nó dung trực tiếp với khoáng pooclendite - Ca(OH)₂ kết tinh, làm tăng độ đặc chắc và cường độ của bê tông một cách đáng kể. Do vậy chỉ cần dùng một lượng Nano-Silica rất nhỏ, bằng 1/5 - 1/10 so với Silica-fume hiệu quả tăng cường độ bê tông đạt tương đương hoặc cao hơn.

3.2 Nghiên cứu ảnh hưởng của Nano-Slica lượng dùng khác nhau đến co toàn phần và co nội sinh của bê tông cường độ cao

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của Nano-Slica đến co toàn phần và co nội sinh của bê tông cường độ cao so sánh với bê tông đối chứng và bê tông chứa SF được nêu trong Bảng 4. Kết quả độ co toàn phần được thể hiện trên Hình 3.

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm đo co ngót của bê tông cường độ cao có và không có mặt phụ gia khoáng ($\times 10^{-6}$)

Tuổi, ngày	ĐC	5%SF	0,5%NaS	0,7% NaS	0,9% NaS
	TP/NS	TP/NS	TP/NS	TP/NS	TP/NS
1	0,000/0,000	0,000/0,000	0,000/0,000	0,000/0,000	0,000/0,000
2	42,11/35,09	56,14/42,11	35,09/28,07	35,09/28,07	28,07/21,05
3	63,16/56,14	84,21/63,16	63,16/49,12	49,12/42,11	42,11/35,29
4	84,21/77,19	112,2/84,21	77,19/70,18	70,18/63,16	49,12/49,12
5	105,2/98,25	140,3/105,2	105,2/91,23	84,21/70,18	63,16/56,14
7	140,3/119,3	154,3/126,3	126,3/112,2	112,2/84,21	77,19/70,18
8	154,3/126,3	175,4/133,3	140,3/119,3	133,3/91,23	105,2/77,19
9	182,4/133,3	196,4/154,3	168,4/126,3	147,3/105,2	119,3/98,25
10	203,5/140,3	217,5/161,4	175,4/133,3	161,4/112,2	133,3/105,2
11	217,5/147,3	231,5/175,4	189,4/140,3	175,4/119,3	147,3/112,2
12	238,6/161,4	245,6/182,4	203,5/147,3	189,4/133,3	161,4/119,3
14	252,6/168,4	266,6/189,4	217,5/154,3	203,5/140,3	175,4/133,3
15	273,6/182,4	287,7/203,5	238,6/168,4	217,5/154,3	182,4/133,3
16	287,7/196,4	294,7/210,5	252,6/175,4	224,5/161,4	196,4/140,3
18	301,7/203,5	315,7/217,5	266,6/182,4	238,6/168,4	210,5/147,3
21	322,8/210,5	336,8/231,5	280,7/189,4	252,6/168,4	224,5/154,3
23	336,8/217,5	350,8/238,6	294,7/196,4	266,6/175,4	238,6/161,4
25	350,8/224,5	371,9/252,6	315,7/203,5	280,7/182,4	252,6/168,4
28	364,9/238,6	392,9/259,6	329,8/210,5	294,7/189,4	266,6/175,4
30	385,9/245,6	407,0/266,6	343,8/217,5	301,7/196,4	280,7/182,4
32	392,9/252,6	421,0/280,7	357,8/224,5	315,7/203,5	294,7/189,4
35	407,0/259,6	435,0/287,7	371,9/231,5	329,8/210,5	308,7/196,4
37	421,0/266,6	449,1/294,7	385,9/236,6	343,8/217,5	322,8/203,5
39	435,0/273,6	463,1/301,7	400,0/245,6	357,8/224,5	336,8/210,5
43	449,1/280,7	477,1/308,7	414,0/252,6	371,9/231,5	343,8/217,5
45	456,1/280,7	484,2/308,7	421,0/252,6	378,9/238,3	350,8/224,5
47	463,1/280,7	491,2/315,7	428,0/259,6	385,9/238,6	357,8/224,5
49	470,1/294,7	498,2/322,8	435,0/259,6	392,9/245,6	364,9/231,5
50	477,1/294,7	505,2/322,8	442,1/266,6	400,0/245,6	368,4/231,5
52	477,1/298,2	512,2/329,8	442,1/268,7	400,0/247,0	368,4/234,3
54	484,2/298,2	512,2/329,8	445,6/268,7	403,5/247,7	370,5/234,3
56	491,2/300,3	519,3/333,3	449,7/270,1	403,5/251,2	370,5/236,4
57	493,3/301,7	522,8/333,3	450,5/270,1	405,6/251,2	373,3/236,4
59	494,7/301,7	529,3/336,8	456,1/273,6	405,6/252,6	375,4/237,1
60	494,7/303,1	529,3/336,8	456,1/273,6	409,1/252,6	375,4/237,8



Kết quả đo co toàn phần của các mẫu bê tông cho thấy khi có mặt Silicafume co ngót của bê tông cường độ cao tăng tuy không nhiều so với mẫu đối chứng. Điều này phù hợp với nhận định chung của các nhà khoa học đó là sự có mặt của SF làm tăng co ngót của bê tông.

Khi có mặt Nano-Silica co toàn phần của bê tông giảm mạnh so với mẫu đối chứng và mẫu chứa SF. Cụ thể ở tuổi 60 ngày co toàn phần của bê tông cường độ cao chứa 0,5%, 0,7% và 0,9% Nano-Silica thấp hơn tương ứng 8%, 20% và 31% so với mẫu đối chứng và thấp hơn nhiều so với bê tông sử dụng 5% Silica-fume.

Kết quả độ co nội sinh được biểu diễn trên Hình 4. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự có mặt của SF và Nano-Silica ảnh hưởng đáng kể đến co nội sinh của bê tông cường độ cao. Cụ thể co nội sinh ở tuổi 60 ngày của mẫu bê tông có SF là lớn nhất, cao hơn xấp xỉ 11 % so với mẫu đối chứng không có mặt phụ gia siêu mịn. Trong khi đó sự có mặt của Nano-Silica làm giảm đáng kể co nội sinh của bê tông. Cụ thể co nội sinh ở tuổi 60 ngày của mẫu bê tông chứa 0,5%, 0,7% và 0,9% Nano-Silica thấp hơn tương ứng 10%, 19% và 27% so với mẫu đối chứng và thấp hơn nhiều so với mẫu chứa SF. Nguyên nhân có thể có sự khác biệt về tốc độ phản ứng giữa SF và Nano-Silica với các thành phần có khả năng phản ứng trong hệ hồ, đá xi măng cũng như tính chất của sản phẩm tạo thành và khả năng cải tiến cấu trúc đá xi măng của chúng, nhất là sự khác biệt về phân bố kích thước lỗ rỗng của đá xi măng. Kết quả đo co nội sinh theo phương pháp sử dụng trong nghiên cứu phù hợp với kết quả của nhóm tác giả [13], khi sử dụng phương pháp [14].

Như thường lệ hầu hết cường độ chịu kéo của bê tông kết cấu dao động trong khoảng 2,1 MPa đến 5,5 MPa, ứng suất do co ngót thường có trị số lớn hơn và do vậy xác suất nứt bê tông là rất cao. Mặt khác co ngót lại có thể xảy ra sớm hơn so với khi cường độ kéo của bê tông đạt khoảng giá trị cường độ nêu trên. Ngoài ra trong kết cấu có thể xuất hiện các ứng suất bổ sung do tải trọng, do biến động nhiệt độ cũng như do lún sụt vi vây cho nên cường độ kéo của bê tông khó có thể hóa giải được ứng suất kéo sinh ra do co ngót bê tông. Tần suất xuất hiện vết nứt cũng như kích thước của vết nứt trong phần lớn loại cấu kiện bê tông phụ thuộc vào độ co ngót cũng như giá trị cần biến dạng. Xuất phát từ thực tế đó có thể đưa ra nhận xét: sự có mặt của Nano-Silica trong bê tông cường độ cao trong khoảng xấp xỉ 0,7% đến 0,9% theo thể tích xi măng làm giảm đáng kể co nội sinh cũng như co toàn phần so với khi sử dụng 5% Silica-fume và do vậy có tác dụng tăng khả năng kháng nứt bê tông do co ngót.

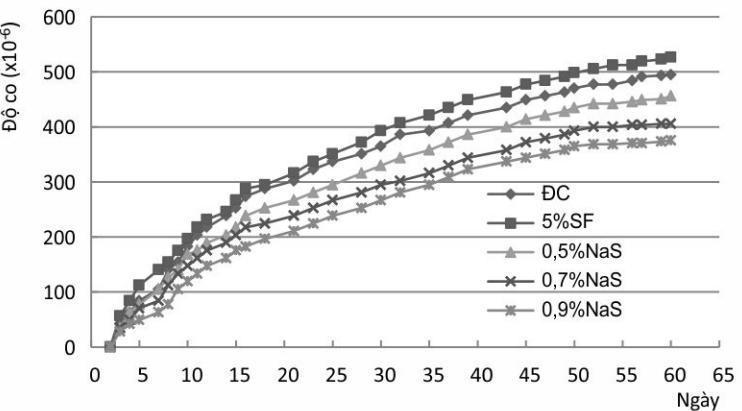


4. Kết luận và kiến nghị

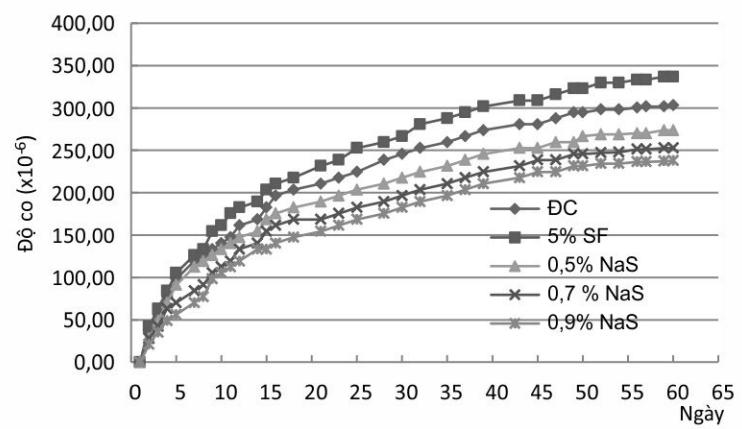
4.1 Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu đạt được trên cơ sở các loại vật liệu và phương pháp sử dụng trong nghiên cứu cho phép đưa ra một số kết luận sau:

- Sự có mặt của Nano-Silica trong khoảng 0,5% đến 0,9% thay thế xi măng theo thể tích có khả năng thúc đẩy thủy hóa và rắn chắc của bê tông cường độ cao tốt hơn khi sử dụng 5% Silica-fume, cụ thể ở tuổi 3, 7, 28 và



Hình 3. Co toàn phần của bê tông cường độ cao sử dụng 5% SF; 0,5% NaS; 0,7% NaS và 0,9% NaS



Hình 4. Co nội sinh của bê tông cường độ cao sử dụng 5% SF; 0,5% NaS; 0,7% NaS và 0,9% NaS



56 ngày khi sử dụng 0,9% Nano-Silica cường độ bê tông tăng tương ứng 16%, 13%, 5% và 8% so với bê tông không sử dụng phụ gia siêu mịn. Trong khi đó sự có mặt của 5% Silica-fume cường độ bê tông chỉ tăng tương ứng 5%, 5%, 1% và 2%.

- Khi có mặt Nano-Silica co toàn phần của bê tông giảm mạnh so với mẫu đối chứng và mẫu chứa Silicafume. Cụ thể ở tuổi 60 ngày co toàn phần của bê tông cường độ cao chứa 0,5%, 0,7% và 0,9% Nano-Silica thấp hơn tương ứng 8%, 20% và 31% so với mẫu đối chứng và thấp hơn tương ứng 14%, 23% và 30% so với mẫu chứa SF.

- Khi có mặt Nano-Silica co nội sinh của bê tông giảm mạnh so với mẫu đối chứng và mẫu chứa Silicafume. Cụ thể ở tuổi 60 ngày co nội sinh của bê tông cường độ cao chứa 0,5%, 0,7% và 0,9% Nano-Silica thấp hơn tương ứng 10%, 23%, và 27% so với mẫu đối chứng và thấp hơn tương ứng 19%, 33% và 41% so với mẫu chứa SF.

- Kết quả nghiên cứu cho phép đưa ra nhận xét sự có mặt của Nano-Silica trong khoảng 0,5% đến 0,9% lượng dùng xi măng trong bê tông cường độ cao có tác dụng giảm co nội sinh cũng như co toàn phần mạnh so với khi sử dụng 5% Silicafume. Hiệu quả này cho phép khắc phục nhược điểm của phụ gia siêu mịn Silica-fume, giảm khả năng nứt cho bê tông cường độ cao.

4.2 Kiến nghị

- Nghiên cứu sự thay đổi vi cấu trúc của bê tông cường độ cao khi có mặt Nano-Silica trong khoảng 0,5% đến 0,9% lượng dùng xi măng.

- Tiếp tục nghiên cứu ảnh hưởng của Nano-Silica với lượng dùng khác nhau đến co ngót của bê tông thường và bê tông thường có mặt phụ gia khoáng tro bay nhiệt điện.

Tài liệu tham khảo

1. Florence Sanchez, Konstantin Sobolev (2010), "Nanotechnology in Concrete - A review", *Construction and Building Materials*, 24:2060-2071.
2. TCVN 2682:2009, *Xi măng poóc lăng - Yêu cầu kỹ thuật*.
3. TCVN 7570:2006, *Cốt liệu cho bê tông và vữa - yêu cầu kỹ thuật*.
4. ASTM C494, *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*.
5. ASTM C1240, *Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures*.
6. TCVN 3105:1993, *Hỗn hợp bê tông nặng và bê tông nặng - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử*.
7. TCVN 3106:1993, *Hỗn hợp bê tông nặng - Phương pháp thử độ sụt*.
8. TCVN 3118:1993, *Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén*.
9. ASTM C490-04, *Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete*.
10. ACI 211.4R-08, *Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete*.
11. Said A.M., Zeidan M.S., Basuoni M.T., Tian Y. (2012), "Properties of Concrete Incorporating nano-silica", *Construction and Building Materials*, 36:838-844.
12. Quercia G., et al (2012), "Effects of Amorphous Nano-Silica Additions on Mechanical and Durability Performance of SCC Mixtures", *International Congress on Durability of Concrete*.
13. Robertson B. (2013), "Preliminary Chemical Shrinkage Analysis of Nano Silica Cementitious Binders", *Science & Technology Program MERL Research Report*, No. MER, 53.
14. ASTM C1608, *Standard Test Method for Chemical Shrinkage of Hydraulic Cement Paste*.