

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA XỈ HẠT LÒ CAO NGHIÊN MỊN VÀ TRO BAY ĐẾN TÍNH CHẤT CỦA HỖN HỢP BÊ TÔNG VÀ BÊ TÔNG

HOÀNG MINH ĐỨC, TRẦN QUỐC TOÁN

Viện KHCN Xây dựng

LEE SANG HYUN

Lotte E&C Research and Development Institute

DO KWANG SOO

Lotte E&C

Tóm tắt: Sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GS) và tro bay (FA) trong bê tông nhằm giải quyết lượng phế thải ngày càng gia tăng đang là vấn đề thu hút được sự quan tâm tại Việt Nam. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GS) và tro bay (FA) khi được sử dụng riêng rẽ cũng như phối hợp thay thế một phần xi măng với tỷ lệ từ 20% đến 60% theo khối lượng tới tính chất của bê tông. Kết quả cho thấy phụ gia khoáng cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông, giảm lượng dùng phụ gia giảm nước cần thiết để đạt độ sụt yêu cầu, tăng thời gian đông kết của hỗn hợp bê tông. Với GS, cường độ bê tông có suy giảm ở tuổi sớm, tuy nhiên ở tuổi 60 và nhất là 90 ngày, cường độ chịu nén của bê tông được cải thiện khi tỷ lệ GS ở mức 20% và 40%. Với FA, mặc dù vẫn phát triển tốt ở tuổi muộn nhưng cường độ chịu nén của bê tông bị suy giảm khi tăng lượng dùng FA ở mọi độ tuổi. Sử dụng FA kết hợp với GS với tỷ lệ mỗi loại 20% không làm thay đổi đáng kể cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi 28 ngày và dài hơn. Trên cơ sở kết quả nghiên cứu đã tính toán hệ số hiệu quả của phụ gia phục vụ lựa chọn thành phần bê tông.

Từ khóa: Bê tông, độ sụt, cường độ chịu nén, xỉ lò cao nghiền mịn, tro bay.

Abstract: Utilization of ground granulated blast furnace slag (GS) and fly ash (FA) to resolve the problem of increasing discharged and total accumulated industrial waste have been attracted public concern. This article presents the research results on the effect of replacement of up to 60% cement with GS and FA, separately and in combination. It show that mineral admixture improve the workability of concrete mixture and reduce required water-reducing admixture to reach defined slump, prolong the setting time of fresh concrete. Compressive strength of concrete with GS at early

age decreases, while increases at 60 days and 90 days with the GS content of 20% à 40%. Compressive strength of concrete with FA well develops at later age but it decreases at all age as the FA replacement ratio increases. Cement replacement with combination of 20% GS and 20% FA does not significantly change the compressive strength at 28 days and later. Base on test results, the efficiency factor of mineral admixtures were calculated in order to use for selecting the proportion of concrete.

Keywords: Concrete, slump, compressive strength, ground granulated blast furnace slag, fly ash.

1. Mở đầu

Cùng với việc phát triển kinh tế và các ngành công nghiệp, Việt Nam đang phải đối mặt với vấn đề lớn về môi trường do lượng phế thải phát sinh hàng năm. Với trên 40 nhà máy nhiệt điện đốt than, ước tính lượng tro xỉ phát sinh trong năm 2020 là khoảng 25 triệu tấn. Phế thải xỉ lò cao của các nhà máy luyện thép cũng đạt đến khoảng 4,3 triệu tấn/năm. Trong bối cảnh đó, việc sử dụng phế thải công nghiệp bao gồm FA và GS là xu thế phát triển tất yếu của ngành sản xuất vật liệu nói chung và ngành bê tông nói riêng.

Các nghiên cứu về sử dụng riêng rẽ tro bay [1], [2], [3], xỉ hạt lò cao nghiền mịn [4], [5] hay phối hợp giữa hai loại phụ gia trên [6], [7], [8] trong cho bê tông đã được tiến hành tại nhiều nước trên thế giới. Các kết quả cho thấy với lượng dùng phù hợp, phụ gia khoáng cải thiện được các tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông, nhất là nâng cao được độ bền lâu của bê tông trong một số môi trường xâm thực.

Trong bê tông, phụ gia khoáng có thể được sử dụng thay thế một phần cốt liệu, thay thế một phần

xi măng hoặc vừa thay thế một phần cốt liệu và một phần xi măng [2], [5]. Khi được thêm vào bê tông, phụ gia khoáng hoạt tính vừa có tác dụng chèn đầy làm tăng độ đặc chắc của cấu trúc, vừa có thể tham gia phản ứng với Ca(OH)_2 để tạo khoáng mới. Hiệu quả của phụ gia là tác dụng tổng hợp của hai quá trình trên và phụ thuộc vào nhiều yếu tố như thành phần, tính chất và lượng dùng phụ gia, cách sử dụng phụ gia, hàm lượng xi măng và các yếu tố khác. Hàm lượng phụ gia tối ưu thường được xác định với các vật liệu cụ thể dựa trên kết quả thí nghiệm thực tế.

Để đánh giá mức độ ảnh hưởng của phụ gia khoáng tới cường độ bê tông, các nghiên cứu [1], [9] sử dụng hệ số hiệu quả của phụ gia k. Hệ số k thể hiện khả năng thay thế xi măng của phụ gia khoáng trong phương trình (1) tương quan giữa cường độ chịu nén của bê tông với tỷ lệ nước trên chất kết dính.

$$f_c = K \times \left(\frac{1}{W/(C + k \times P)} \right) - a \quad (1)$$

Trong đó: f_c - cường độ bê tông;

C, W, P - lượng dùng xi măng, nước và phụ gia khoáng;

K, a - hệ số của phương trình;

k - hệ số hiệu quả của phụ gia khoáng.

Hệ số hiệu quả k đã được chuẩn hóa trong tiêu chuẩn Châu Âu EN 206:2013 "Concrete - Specification, performance, production and conformity". Hệ số hiệu quả của phụ gia phụ thuộc vào loại phụ gia, tỷ lệ sử dụng, tuổi bê tông và các yếu tố khác và có thể được xác định bằng thực nghiệm.

Các nghiên cứu về sử dụng GS và FA trong bê tông đã được triển khai từ nhiều năm nay ở Việt Nam và đã đạt được các kết quả đáng khích lệ. Ngày càng nhiều các công trình xây dựng sử dụng bê tông với phụ gia khoáng. Tuy nhiên, các tài liệu kỹ thuật hiện nay ở nước ta vẫn chưa có hướng dẫn cụ thể về đánh giá hiệu quả sử dụng phụ gia khoáng trong bê tông.

Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của việc thay thế một phần xi măng bằng các loại phụ gia khoáng trong nước bao gồm FA, GS và kết hợp giữa FA và GS tới tính chất của

hỗn hợp bê tông cũng như cường độ chịu nén của bê tông. Nghiên cứu này được thực hiện tại Viện Chuyên ngành Bê tông trong khuôn khổ đề tài hợp tác nghiên cứu với Lotte Engineering & Construction Research and Development Institute.

2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

Trong nghiên cứu đã sử dụng xi măng pooc lăng PC40 của Nhà máy Xi măng Bút Sơn có khối lượng riêng $3,11 \text{ g/cm}^3$, độ dẻo tiêu chuẩn 29,0 %, thời gian bắt đầu và kết thúc đông kết 135 min và 195 min, cường độ chịu nén tuổi 3 ngày và 7 ngày tương ứng 34,2 MPa và 51,9 MPa.

Cốt liệu nhỏ là cát vàng sông Lô có khối lượng thể tích khô $2,62 \text{ g/cm}^3$, khối lượng thể tích xốp 1480 kg/m^3 , lượng hạt lớn hơn 5 mm 2,2%, lượng bùn, bụi, sét 0,6 %, mô đun độ lớn 2,6. Cốt liệu lớn sử dụng trong nghiên cứu là đá dăm Hòa Bình có khối lượng thể tích khô $2,72 \text{ g/cm}^3$, khối lượng thể tích xốp 1420 kg/m^3 , hàm lượng bùn, bụi, sét 0,3 %, cỡ hạt lớn nhất 20 mm. Thành phần hạt của cốt liệu sử dụng phù hợp yêu cầu của TCVN 7570:2006.

Phụ gia giảm nước tầm cao SilkRoad SPR1500 gốc polycarboxylate có khả năng giảm nước 17,6 % và các tính chất thỏa mãn yêu cầu đối với loại F theo TCVN 8826:2011 cũng được sử dụng trong các thí nghiệm.

Tro bay dùng trong nghiên cứu là của Nhà máy Nhiệt điện Phả Lại, đã qua tuyển nổi, có tổng hàm lượng $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 88,52%, hàm lượng SO_3 0,14%, hàm lượng kiềm hòa tan 0,63%, hàm lượng clorua 0,01%, mất khi nung 1,15%, khối lượng riêng $2,23 \text{ g/cm}^3$, lượng hạt trên sàng 0,045 mm 22%, lượng nước yêu cầu 98,3%, chỉ số hoạt tính cường độ ở tuổi 28 ngày 92,7%.

Xỉ lò hạt lò cao nghiền mịn là sản phẩm S95 của Nhà máy Thép Hòa Phát Hải Dương có khối lượng riêng $2,89 \text{ g/cm}^3$, bề mặt riêng $5120 \text{ cm}^2/\text{g}$, chỉ số hoạt tính cường độ ở tuổi 7 ngày 76,2%, 28 ngày 101,4%, tỷ lệ độ lưu động 97,5%, hàm lượng MgO 7,88%, hàm lượng SO_3 0,37%, hàm lượng clorua 0,02% và mất khi nung 0,45%.

Hỗn hợp bê tông được trộn bằng máy trộn rơi tự do, thí nghiệm các tính chất và đúc mẫu thí nghiệm hình trụ có đường kính 150 mm, chiều cao 300 mm theo từng tổ 3 viên tuân thủ các quy định của TCVN

3016:1993. Mẫu được bảo dưỡng trong phòng thí nghiệm cho đến khi thí nghiệm cường độ. Thí nghiệm xác định các tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông được tiến hành theo các tiêu chuẩn quốc gia hiện hành.

3. Kết quả và bình luận

Nghiên cứu ảnh hưởng của GS và FA đến tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông được thực hiện trên các cấp phối có tổng lượng dùng chất kết dính không đổi. Phụ gia khoáng bao gồm GS, FA và

hỗn hợp GS+FA được sử dụng thay thế một phần xi măng theo khối lượng với tỷ lệ 20%, 40% và 60% so với tổng lượng chất kết dính. Khi sử dụng hỗn hợp GS+FA, tỷ lệ thay thế của mỗi loại phụ gia được lấy bằng 20% và 40%. Để duy trì tỷ lệ chất kết dính trên nước và lượng dùng nước không đổi, lượng dùng phụ gia giảm nước được lựa chọn để hỗn hợp bê tông có độ sụt nằm trong khoảng từ 150 mm đến 200 mm. Các cấp phối thực tế được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Thành phần bê tông trong nghiên cứu

TT	Ký hiệu	Lượng dùng vật liệu cho 1m ³ , kg							Thông số		
		XM	GS	FA	Cát	Đá	Nước	PG, %	N/CKD	GS/CKD, %	FA/CKD, %
1	S0.F0	357	0	0	829	1062	178	1,0	0,51	0	0
2	S2.F0	286	71	0	825	1063	179	0,9	0,51	20	0
3	S4.F0	215	143	0	823	1065	179	0,7	0,51	40	0
4	S6.F0	142	214	0	815	1060	178	0,6	0,51	60	0
5	S0.F2	287	0	71	810	1063	179	0,8	0,51	0	20
6	S0.F4	217	0	144	795	1070	181	0,6	0,51	0	40
7	S0.F6	146	0	220	783	1080	182	0,0	0,50	0	60
8	S2.F2	216	72	72	809	1067	179	0,5	0,50	20	20
9	S2.F4	146	72	145	794	1073	181	0,4	0,50	20	40
10	S4.F2	144	143	72	803	1064	179	0,5	0,50	40	20

Kết quả thí nghiệm xác định các tính chất của hỗn hợp bê tông bao gồm khối lượng thể tích, độ sụt, hàm lượng bọt khí và thời gian đông kết được trình bày tại bảng 2.

Bảng 2. Tính chất của hỗn hợp bê tông

TT	Ký hiệu	Khối lượng thể tích, kg/m ³	Độ sụt, mm	Hàm lượng bọt khí, %	Thời gian đông kết, min	
					Bắt đầu	Kết thúc
1	S0.F0	2434	150	2,0	455	585
2	S2.F0	2432	180	1,9	480	615
3	S4.F0	2435	160	1,8	505	635
4	S6.F0	2419	160	1,9	620	745
5	S0.F2	2418	160	2,2	505	640
6	S0.F4	2416	200	2,3	650	820
7	S0.F6	2420	180	1,8	810	985
8	S2.F2	2425	150	2,4	515	665
9	S2.F4	2420	190	2,1	720	935
10	S4.F2	2413	160	2,5	675	805

Các kết quả thí nghiệm tại bảng 2 cho thấy, khi tăng tỷ lệ thay thế xi măng bằng phụ gia khoáng, tỷ lệ phụ gia giảm nước cần dùng để hỗn hợp bê tông đạt cùng độ sụt có xu hướng giảm. Điều này chứng tỏ cả GS và FA đều có khả năng cải thiện độ sụt của hỗn hợp bê tông, trong đó FA có khả năng cải thiện độ sụt lớn hơn so với GS. Điều này có thể lý giải là nhờ vào FA có dạng hình cầu và việc tăng thể tích hồ chất kết dính khi thay thế xi măng.

Mặc dù khối lượng riêng của GS và FA nhỏ hơn khối lượng riêng của xi măng, tuy nhiên, với lượng

dùng chất kết dính khoảng 360 kg/m³, thay thế xi măng bằng phụ gia khoáng GS, FA hoặc tổ hợp GS+FA với tỷ lệ đến 60% không làm thay đổi đáng kể khối lượng thể tích của bê tông. Hàm lượng bọt khí trong bê tông thay đổi trong khoảng từ 1,8% đến 2,5% khi sử dụng phụ gia khoáng so với 2,0% khi không sử dụng phụ gia.

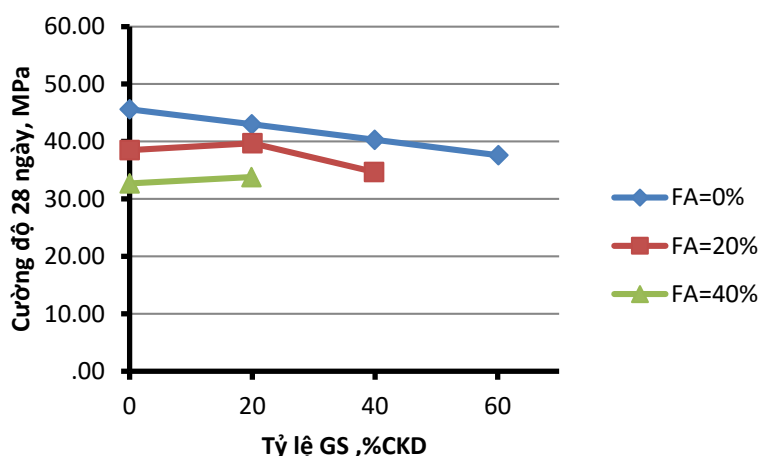
Thay thế một phần xi măng bằng phụ gia khoáng làm kéo dài thời gian bắt đầu và kết thúc đông kết của hỗn hợp bê tông. Thời gian bắt đầu đông kết tăng từ 455 min lên 620 min khi dùng GS,

810 min khi dùng FA. Thời gian kết thúc đông kết tăng từ 585 min lên 745 min khi dùng GS, 985 min khi dùng FA. Như vậy FA làm tăng thời gian đông kết của hỗn hợp bê tông nhiều hơn so với GS. Gia tăng thời gian đông kết khi sử dụng GS+FA có giá trị trung gian so với khi sử dụng riêng rẽ hai loại phụ gia khoáng này.

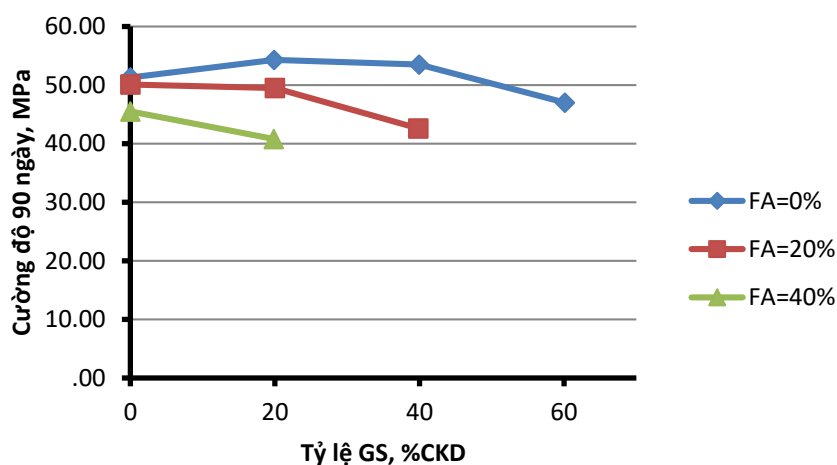
Cường độ chịu nén của các cấp phối bê tông ở tuổi từ 3 ngày đến 90 ngày và tỷ lệ phần trăm cường độ ở các độ tuổi so với cường độ ở tuổi 28 ngày của cùng cấp phối được trình bày tại bảng 3. Ảnh hưởng của tỷ lệ thay thế xi măng bằng phụ gia khoáng đến cường độ bê tông được trình bày tại các hình 1 - hình 4.

Bảng 3. Cường độ chịu nén của bê tông

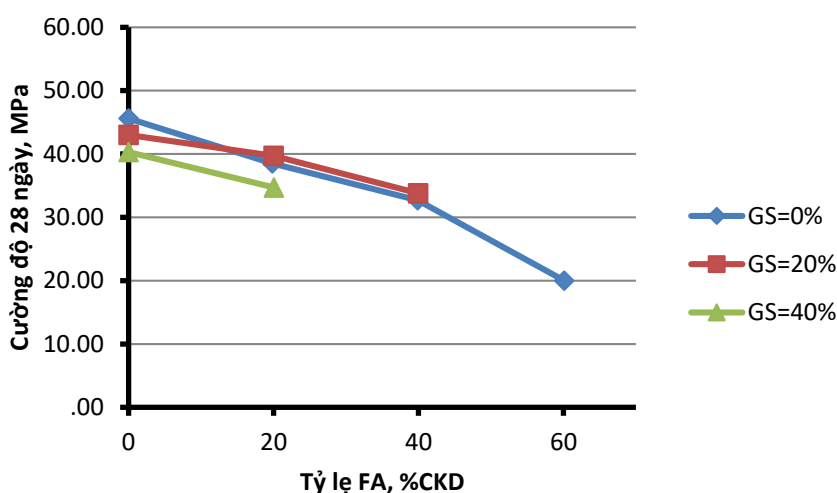
TT	Ký hiệu	Cường độ chịu nén, MPa ở tuổi, ngày/Tỷ lệ so với cường độ ở tuổi 28 ngày, %				
		3	7	28	60	90
1	S0.F0	29,0 / 64	38,9 / 85	45,6 / 100	49,3 / 108	51,3 / 112
2	S2.F0	24,6 / 57	35,2 / 82	43,0 / 100	50,9 / 118	54,3 / 126
3	S4.F0	20,0 / 50	28,3 / 70	40,3 / 100	49,5 / 123	53,5 / 133
4	S6.F0	15,2 / 40	25,4 / 68	37,6 / 100	44,3 / 118	47,0 / 125
5	S0.F2	22,4 / 58	29,7 / 77	38,5 / 100	45,4 / 118	50,1 / 130
6	S0.F4	16,3 / 50	22,5 / 69	32,7 / 100	40,3 / 123	45,5 / 139
7	S0.F6	7,9 / 40	13,1 / 66	20,0 / 100	25,9 / 130	28,0 / 140
8	S2.F2	14,9 / 38	25,3 / 64	39,7 / 100	48,3 / 122	49,5 / 125
9	S2.F4	10,5 / 31	20,4 / 60	33,8 / 100	37,1 / 110	40,8 / 121
10	S4.F2	10,4 / 30	20,1 / 58	34,7 / 100	38,3 / 100	42,6 / 123



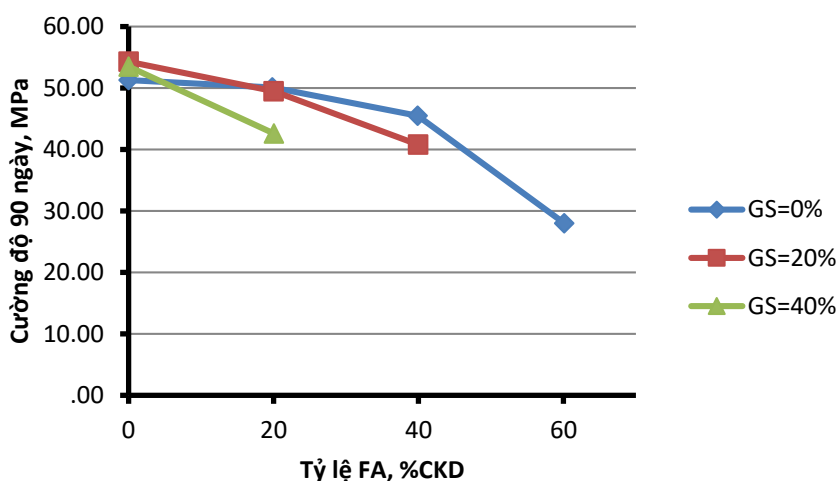
Hình 1. Ảnh hưởng của tỷ lệ GS tới cường độ bê tông ở tuổi 28 ngày



Hình 2. Ảnh hưởng của tỷ lệ GS tới cường độ bê tông ở tuổi 90 ngày



Hình 3. Ảnh hưởng của tỷ lệ FA tới cường độ bê tông ở tuổi 28 ngày



Hình 4. Ảnh hưởng của tỷ lệ FA tới cường độ bê tông ở tuổi 90 ngày

Kết quả nghiên cứu cho thấy, ở tuổi đến 28 ngày, thay thế một phần xi măng bằng GS làm suy giảm cường độ bê tông. Mức suy giảm cường độ ở các cấp phối không sử dụng và có sử dụng FA là gần như nhau. Tuy nhiên, xu hướng này có sự thay đổi đáng kể ở các tuổi dài ngày. Ở tuổi 60 ngày và 90 ngày, với tỷ lệ thay thế GS đến 40%, cường độ bê tông hầu như không suy giảm mà có phần được cải thiện. Khi kết hợp với FA, cường độ chỉ được duy trì tương đương với cấp phối đối chứng khi tỷ lệ thay thế GS có giá trị đến 20%. Với mức sử dụng FA bằng 40%, việc bổ sung GS khiến cường độ bê tông suy giảm đáng kể ở mọi độ tuổi.

Khác với GS, việc sử dụng FA thay thế một phần xi măng làm giảm cường độ bê tông ở mọi tỷ lệ thay thế và ở mọi độ tuổi. Mức độ suy giảm cường độ tăng nhanh ở tỷ lệ FA cao. Việc sử dụng phối hợp FA với GS không làm thay

đổi xu thế này. Điều này có thể giải thích là do khác với GS, phụ gia FA với đặc tính thành phần của mình có hoạt tính thấp nên khi thay thế xi măng, nhất là ở tỷ lệ cao, trong điều kiện vẫn giữ nguyên lượng dùng nước và tỷ lệ chất kết dính trên nước, làm giảm đáng kể các sản phẩm thủy hóa cũng như các khoáng CSH khiến cường độ suy giảm.

Các số liệu nghiên cứu cũng cho thấy khi thay thế một phần xi măng bằng phụ gia khoáng, mặc dù giá trị tuyệt đối của cường độ có thể suy giảm nhưng cường độ bê tông vẫn phát triển đáng kể ở tuổi dài ngày với tỷ lệ gia tăng lớn hơn so với cấp phối đối chứng. Khi thay thế xi măng bằng GS với tỷ lệ từ 20% đến 60% khối lượng chất kết dính, cường độ ở tuổi 90 ngày có thể tăng từ 25% đến 33%, còn khi thay thế bằng FA có thể tăng từ 30% đến 40%. Khi thay thế bằng hỗn hợp GS+FA, mức độ tăng có

thể đạt tới 25%. Các kết quả trên đây khá tương đồng với các nghiên cứu [3, 8] và cho thấy rằng bê tông sử dụng phụ gia khoáng sẽ phát huy hiệu quả tốt ở các kết cấu mà cường độ thiết kế được chỉ định ở tuổi dài ngày.

Để đánh giá khả năng đạt cường độ thiết kế khi sử dụng phụ gia khoáng, đã tiến hành so sánh tỷ lệ phần trăm cường độ các cấp phối bê tông ở từng độ tuổi so với cường độ cấp phối đối chứng (không sử dụng phụ gia khoáng) ở tuổi 28 ngày (bảng 4).

Bảng 4. Tỷ lệ cường độ bê tông so với cường độ 28 ngày của mẫu đối chứng

TT	Ký hiệu	Tỷ lệ cường độ so với cường độ 28 ngày của mẫu đối chứng, % ở tuổi, ngày				
		3	7	28	60	90
1	S0.F0	64	85	100	108	113
2	S2.F0	54	77	94	112	119
3	S4.F0	44	62	88	109	117
4	S6.F0	33	56	82	97	103
5	S0.F2	49	65	84	100	110
6	S0.F4	36	49	72	88	100
7	S0.F6	17	29	44	57	61
8	S2.F2	33	55	87	106	109
9	S2.F4	23	45	74	81	89
10	S4.F2	23	44	76	84	93

Các số liệu tại bảng 4 cho thấy, bê tông sử dụng phụ gia khoáng có thể đạt cường độ không nhỏ hơn cường độ bê tông đối chứng ở tuổi 28 ngày, khi tỷ lệ thay thế đến 40% GS ở tuổi 60 ngày, đến 60% ở tuổi 90 ngày. Tỷ lệ này khi thay thế bằng FA là 20% ở tuổi 60 ngày và 40% ở tuổi 90 ngày. Khi sử dụng phối hợp hai phụ gia GS+FA thì cường độ bê tông chỉ đạt cường độ bê tông đối chứng ở tuổi 28 ngày khi tỷ lệ thay thế mỗi loại là 20% (tổng tỷ lệ thay thế 40%).

Để đánh giá hiệu quả đóng góp vào cường độ bê tông của phụ gia, đã tính toán hệ số k

trong phương trình (1) cho từng cấp phối bê tông ở các độ tuổi khác nhau. Để tính toán hệ số k, trước tiên, xác định đường tương quan giữa cường độ chịu nén và tỷ lệ xi măng trên nước của bê tông không sử dụng phụ gia khoáng ở các độ tuổi khác nhau. Dựa trên cường độ thực tế của bê tông sử dụng phụ gia khoáng và đường tương quan đã xác định, tính toán lượng chất kết dính tương đương và qua đó xác định hệ số k. Kết quả tính toán hệ số k được trình bày tại bảng 5.

Bảng 5. Hệ số hiệu quả của phụ gia khoáng

TT	Ký hiệu	Hệ số hiệu quả của phụ gia khoáng k ở tuổi, ngày				
		3	7	28	60	90
1	S2.F0	0,60	0,70	0,78	1,16	1,28
2	S4.F0	0,57	0,54	0,75	1,00	1,09
3	S6.F0	0,56	0,61	0,75	0,84	0,86
4	S0.F2	0,37	0,20	0,34	0,64	0,89
5	S0.F4	0,40	0,29	0,40	0,59	0,74
6	S0.F6	0,32	0,24	0,20	0,28	0,29
7	S2.F2	0,31	0,39	0,70	0,92	0,89
8	S2.F4	0,40	0,46	0,62	0,62	0,67
9	S4.F2	0,40	0,45	0,65	0,66	0,73

Kết quả tại bảng 5 cho thấy, hệ số hiệu quả của phụ gia GS nhìn chung cao hơn so với FA. Khi tăng tỷ lệ thay thế từ 20% lên đến 60%, hệ số hiệu quả của cả hai loại phụ gia đều có xu hướng giảm. Ở tỷ lệ từ 40% đến 60%, hệ số hiệu quả của FA suy giảm mạnh cho thấy đối với các vật liệu sử dụng trong nghiên cứu, tỷ lệ thay thế xi măng bằng FA không nên vượt quá 40%. Trường hợp sử dụng

phối hợp hai loại phụ gia, hệ số ảnh hưởng của tổ hợp phụ gia có giá trị trung gian giữa giá trị hệ số này của từng loại phụ gia ở tỷ lệ thay thế tương ứng. Khi thay thế xi măng bằng GS ở tỷ lệ 20%, 40% và ở độ tuổi 60 ngày và 90 ngày, hệ số k có giá trị lớn hơn 1,00 cho thấy hiệu quả của GS xét từ góc độ cường độ chịu nén là lớn hơn xi măng. Như vậy, khi cường độ bê tông được chỉ định ở các tuổi

muộn, việc thay thế xi măng bằng GS không những cho phép giảm giá thành mà còn cải thiện được tính công tác và cường độ bê tông. Các kết quả này có thể được tham khảo trong lựa chọn thành phần bê tông sử dụng phụ gia GS và FA.

4. Kết luận

Thay thế một phần xi măng bằng xỉ hạt lò cao nghiền mịn và tro bay với tỷ lệ đến 60% giúp cải thiện độ sụt của bê tông, thể hiện qua việc giảm tỷ lệ phụ gia giảm nước cần thiết để đạt cùng độ sụt khi giữ nguyên lượng dùng nước. Hiệu quả cải thiện độ sụt của tro bay lớn hơn so với xỉ hạt lò cao nghiền mịn.

Sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn và tro bay làm tăng thời gian bắt đầu và kết thúc đông kết của hỗn hợp bê tông. Trong đó, mức tăng thời gian đông kết khi sử dụng tro bay lớn hơn so với khi sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn.

Thay thế đến 40% xi măng bằng xỉ hạt lò cao nghiền mịn giúp cải thiện cường độ bê tông ở tuổi 60 ngày và 90 ngày, kể cả khi sử dụng kết hợp với 20% tro bay. Cường độ bê tông bị suy giảm khi thay thế xi măng bằng tro bay ở các mức thay thế trong nghiên cứu ở tất cả các độ tuổi. Dựa trên kết quả thí nghiệm, đã tính toán hệ số hiệu quả của phụ gia khoáng ở các tỷ lệ thay thế và các độ tuổi khác nhau. Các giá trị này có thể tham khảo trong lựa chọn thành phần bê tông sử dụng phụ gia.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. A. Oner, S. Akyuz, R. Yildiz (2005), An experimental study on strength development of concrete containing fly ash and optimum usage of fly ash in concrete. *Cement and Concrete Research*, 35(6): p. 1165-1171.
2. Vagelis G. Papadakis (1999), Effect of fly ash on Portland cement systems: Part I. Low-calcium fly ash. *Cement and Concrete Research*, 29(11): p. 1727-1736.
3. Michael Thomas (2013), Supplementary cementing materials in concrete, *CRC Press*. p. 179.
4. Mohd Shariq, Jagdish Prasad, Amjad Masood (2010), Effect of GGBFS on time dependent compressive strength of concrete. *Construction and Building Materials*, 24(8): p. 1469-1478.
5. V. G. Papadakis, S. Tsimas (2002), Supplementary cementing materials in concrete: Part I: efficiency and design. *Cement and Concrete Research*, 32(10): p. 1525-1532.
6. H. S. Chore, M. P. Joshi (2015), Strength evaluation of concrete with fly ash and GGBFS as cement replacing materials. *Advances in concrete construction*, 3(3): p. 223-236.
7. Yingqin "Elaine" Jin, Nur Yazdani (2003), Substitution of Fly Ash, Slag, and Chemical Admixtures in Concrete Mix Designs. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 15(6): p. 602-608.
8. Nabil Bouzoubaâ, Simon Foo (2005), Use of Fly Ash and Slag in Concrete: A Best Practice Guide MTL (TR-R). p. 40.
9. V. G. Papadakis, S. Antiohos, S. Tsimas (2002), Supplementary cementing materials in concrete: Part II: A fundamental estimation of the efficiency factor. *Cement and Concrete Research*, 32(10): p. 1533-1538.

Ngày nhận bài: 17/9/2020.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 27/9/2020.