

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO BÊ TÔNG NHẸ CÁCH NHIỆT KẾT CẤU SỬ DỤNG HẠT POLYSTYROL PHỒNG NỖ

TS. HOÀNG MINH ĐỨC

Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Bài báo trình bày các nghiên cứu về bê tông nhẹ khối lượng thể tích từ 400 kg/m³ đến 700 kg/m³ sử dụng hạt polystyrol phồng nở. Kết quả cho thấy tính công tác của hỗn hợp bê tông phụ thuộc nhiều vào độ xòe của hồ xi măng và hệ số dư vữa. Để hạn chế phân tầng hỗn hợp bê tông cần lựa chọn độ xòe thích hợp của hồ và hạn chế tạo hình bằng đầm rung. Để nâng cao cường độ bê tông polystyrol có khối lượng thể tích thấp nên ưu tiên tăng hệ số dư hồ. Sử dụng phụ gia khoáng và polimer có thể chế tạo được bê tông polystyrol khối lượng thể tích 700 kg/m³ đạt cường độ đến 8,0 MPa. Nghiên cứu các tính chất khác của bê tông polystyrol như co ngót, mô đun đàn hồi, độ hút nước, hệ số hóa mềm và khả năng bám dính cho thấy bê tông polystyrol hoàn toàn thích hợp để chế tạo các sản phẩm nhẹ như block xây, panel nhẹ sử dụng trong thi công xây dựng công trình.

Abstract: This study focused on the lightweight concrete with unit weight from 400 kg/m³ to 700 kg/m³ using expanded polystyrene beads. It shows that workability of concrete mixtures depends on flow of cement paste and paste excessive coefficient. To reduce a segregation of mixture appropriate flow must be chosen and vibration must be avoided. To increase a strength of low unit weight concrete increasing paste excessive coefficient must be preferred. Using mineral and polymer admixtures the compressive strength of 8,0 MPa can be achieved with 700 kg/m³ polystyrene concrete. Study on shrinkage, modulus of elasticity, water absorption, softening coefficient and bonding ability show that concrete with expanded polystyrene beads can be used in masonry unit and panel for construction.

1. Mở đầu

Đối với các công trình xây dựng hiện đại, quy mô lớn, việc giảm nhẹ tải trọng bản thân của kết cấu có ý nghĩa quan trọng giúp nâng cao hiệu quả kinh tế kỹ thuật. Một trong những biện pháp để đạt

được yêu cầu trên là sử dụng bê tông nhẹ cho các kết cấu không chịu lực như vách ngăn, tường bao che. Trong đó, sử dụng bê tông nhẹ cho tường bao che còn giúp nâng cao khả năng cách nhiệt của tường, cải thiện điều kiện vi khí hậu và tiết kiệm năng lượng.

Để đáp ứng yêu cầu sử dụng cho tường bao che không chịu lực, bê tông nhẹ kết cấu - cách nhiệt cần có khối lượng thể tích khoảng từ 500 kg/m³ đến 800 kg/m³, cường độ chịu nén từ 3,5 MPa đến 7,5 MPa. Bên cạnh đó, để đảm bảo yêu cầu về công năng sử dụng, bê tông nhẹ cho tường bao che cần chống được sự thâm nhập của nước mưa trong điều kiện khí hậu nước ta. Có thể thấy rằng, mặc dù các loại bê tông như bê tông bọt, bê tông khí chưng áp hiện nay có khối lượng thể tích và cường độ phù hợp nhưng do có tỷ lệ lớn các lỗ rỗng khí nên độ hút nước, độ ẩm cân bằng của chúng khá cao nên khả năng chống thấm cần được xem xét và cải thiện. Bê tông nhẹ với cốt liệu hạt polystyrol phồng nở (bê tông polystyrol) có thể khắc phục được nhược điểm này.

Các hạt polystyrol phồng nở có khối lượng thể tích nhỏ với bề mặt láng mịn và hệ thống lỗ rỗng không thông nhau nên hầu như không thấm nước, do đó cho phép giảm độ hút nước của bê tông, cải thiện khả năng cản nước của tường. Những nghiên cứu đầu tiên về bê tông polystyrol đã được tiến hành vào cuối các năm 80 đầu 90 thế kỷ XX và cho đến nay bê tông polystyrol đã được ứng dụng rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới như LB Nga, CH Pháp, CH Séc, CH Italia, CHLB Đức,... dưới dạng các cấu kiện chịu lực - cách nhiệt và cách nhiệt [1, 2]. Tại mỗi nước, công nghệ sản xuất và các yêu cầu kỹ thuật đối với bê tông polystyrol có khác nhau, nhưng nhìn chung bê tông polystyrol hiện nay được chế tạo với khối lượng thể tích từ 150 kg/m³ cho đến 1200 kg/m³, cường độ chịu nén từ 2 MPa cho đến trên 10 MPa.

Hạt polystyrol phồng nở có khả năng biến dạng đàn hồi cao. Khi bị nén các hạt polystyrol phồng nở không thể hiện rõ ràng giới hạn bền nén và không

xảy ra sự phá hoại dần. Điều này sẽ ảnh hưởng đáng kể đến mô đun đàn hồi và khả năng biến dạng dưới tải trọng của bê tông. Do các hạt polystyrol phồng nở không bám dính với đá xi măng nên các nghiên cứu tại Pháp đã tiến hành biến tính bề mặt hạt polystyrol nhằm nâng cao khả năng bám dính của hạt với đá xi măng và cho ra đời sản phẩm hạt với tên gọi AABS và bê tông Polys Beto. Việc xử lý bề mặt này làm tăng đáng kể giá thành nên hạn chế khả năng ứng dụng. Trong khi đó, các nghiên cứu khác tại LB Nga cho thấy, sử dụng hạt polystyrol chưa qua xử lý bề mặt vẫn có thể chế tạo được bê tông nhẹ đáp ứng yêu cầu làm tường bao che. Một vấn đề khác đặt ra đối với bê tông sử dụng cốt liệu nhẹ hạt polystyrol phồng nở là việc đảm bảo mức độ phân tầng của hỗn hợp bê tông nằm trong giới hạn cho phép. Điều này có thể đạt được thông qua

việc nghiên cứu lựa chọn cấp phối và chế độ gia công hợp lý.

Tại Việt Nam, cho đến những năm 90 bê tông nhẹ nói chung chưa nhận được sự quan tâm nghiên cứu thích đáng và chưa được ứng dụng thực tế rộng rãi. Trong những năm gần đây bê tông polystyrol đã được quan tâm nghiên cứu, phát triển và ứng dụng trong các công trình. Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu về bê tông nhẹ cách nhiệt cốt liệu polystyrol thực hiện tại Viện KHCN Xây dựng trong khuôn khổ đề tài mã số RDN 06-01.

2. Vật liệu sử dụng và phương pháp thí nghiệm

Các nghiên cứu được tiến hành trên ba loại cốt liệu polystyrol khác nhau có tính chất được trình bày tại bảng 1. Các nghiên cứu chính được thực hiện với cốt liệu PS2. Cốt liệu PS1 và PS3 được sử dụng trong nghiên cứu đối chiếu.

Bảng 1. Tính chất cốt liệu polystyrol phồng nở

Ký hiệu cốt liệu	Khối lượng thể tích xốp, kg/m ³	Khối lượng thể tích, g/cm ³	Độ hồng	D _{max} , mm
PS1	17,8	0,0291	0,389	6
PS2	25,7	0,0423	0,392	4
PS3	34,5	0,0572	0,397	2

Chất kết dính sử dụng trong nghiên cứu bao gồm xi măng PCB40 Nghi Sơn và PC30 Hoàng Thạch có các tính chất được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Tính chất xi măng sử dụng trong nghiên cứu

TT	Tính chất	Đơn vị	Giá trị ứng với	
			Nghi Sơn PCB 40	Hoàng Thạch PC30
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	3,11	3,08
2	Lượng nước tiêu chuẩn	%	27,5	26,0
3	Thời gian ninh kết - Bắt đầu - Kết thúc	h-min	1-40	1-55
		h-min	2-35	3-10
4	Cường độ chịu nén: - 7 ngày - 28 ngày	MPa	34,3	26,6
		MPa	49,9	40,7
5	Cường độ chịu kéo khi uốn: - 7 ngày - 28 ngày	MPa	7,7	6,2
		MPa	8,9	7,9

Bên cạnh đó, trong nghiên cứu cũng sử dụng một số loại phụ gia khoáng bao gồm: tro tuyển của Nhà máy Nhiệt điện Phả Lại với lượng mất khi nung 4,6%, độ hút với 60,7 mg/g, silicafume với hàm lượng SiO₂ 93,7%, độ hút với 208 mg/g, vôi bột đã tôi và cát.

Tính chất của vật liệu sử dụng cũng như hỗn hợp bê tông và bê tông được xác định theo các phương pháp thí nghiệm tiêu chuẩn. Tuy nhiên, cốt liệu hạt polystyrol phồng nở có đặc tính khác biệt so

với cốt liệu thông thường nên cần áp dụng một số phương pháp thí nghiệm phi tiêu chuẩn.

Khối lượng thể tích của cốt liệu polystyrol phồng nở được xác định dựa trên khối lượng thể tích xốp và độ hồng giữa các hạt cốt liệu. Độ hồng giữa các hạt được xác định bằng tỷ lệ thể tích nước thêm vào ống đong với các hạt polystyrol được đổ sẵn vào và giữ ở mức cố định.

Độ cứng hỗn hợp bê tông polystyrol được xác định với khuôn đôi gồm hai ô hình lập phương cạnh

100 mm được ngăn cách bằng tấm chắn. Đổ đầy hỗn hợp bê tông polystyrol vào một trong hai ô, sau đó rút tấm chắn và rung trên bàn rung. Độ cứng của hỗn hợp được xác định bằng thời gian rung cho tới khi hỗn hợp bê tông sang bằng và đặt tới cạnh bên kia của khuôn.

Độ phân tầng hỗn hợp bê tông polystyrol được xác định bằng tỷ lệ phần trăm chênh lệch khối lượng thể tích của nửa dưới và nửa trên so với khối lượng thể tích của cả khối hỗn hợp bê tông trong bình đong 5l sau khi được làm chặt bằng cách rung trên bàn rung trong vòng 15 sec (P_r) hoặc chọc 50 lần (P_{ch}).

3. Ảnh hưởng của một số yếu tố đến tính chất hỗn hợp bê tông polystyrol

Lựa chọn phương án vật liệu cho bê tông nhẹ kết cấu cách nhiệt cần đáp ứng đồng thời yêu cầu về khối lượng thể tích và cường độ. Theo đó, để giảm khối lượng thể tích thì với một tỷ lệ cốt liệu nhẹ nhất định cần giảm khối lượng thể tích của đá xi măng tức là tăng tỷ lệ N/X. Mặt khác, về lý thuyết cường độ bê tông sẽ được cải thiện khi tăng cường độ đá xi măng tức là giảm tỷ lệ N/X. Tuy nhiên, giảm N/X sẽ làm giảm thể tích hồ xi măng.

Khi thể tích hồ giảm tới giá trị nhất định, cấu trúc bê tông sẽ không còn liên tục mà sẽ bao gồm cả những hốc rỗng giữa các hạt cốt liệu. Điều này làm suy giảm đáng kể cường độ. Do đó, cần xác định giá trị tối ưu giữa các thông số trên thông qua thực nghiệm.

Hỗn hợp bê tông polystyrol được thiết kế bao gồm hạt cốt liệu polystyrol phòng nở và hồ xi măng. Tính chất của hồ và đá xi măng có ảnh hưởng đáng kể đến tính chất của bê tông. Hạt cốt liệu polystyrol gần như không hút nước, do đó tỷ lệ N/X trong bê tông được coi là tỷ lệ N/X thực trong hồ xi măng, tức là có tương quan trực tiếp với cường độ đá xi măng.

Trong các thí nghiệm sơ bộ đã tiến hành xác định độ xòe theo ống Sustat của hồ xi măng với các tỷ lệ N/X bằng 0,40, 0,43, 0,45 và 0,48 có giá trị tương ứng bằng 10 cm, 12 cm, 14 cm và 16 cm. Hồ xi măng được trộn cùng với hạt polystyrol với tỷ lệ cho trước (thể hiện thông qua hệ số dư hồ Kd) để đạt khối lượng thể tích thiết kế. Tiến hành xác định tính công tác và độ phân tầng của hỗn hợp bê tông. Kết quả thí nghiệm trình bày trong bảng 3.

Bảng 3. Tính chất hỗn hợp bê tông polystyrol

TT	KLTT, kg/m ³	Thông số		Tính công tác		Độ phân tầng, %	
		N/X	Kd	Độ sụt, cm	Độ cứng, sec	P_r	P_{ch}
1	400	0,40	0,604	-	23	-	-
2	400	0,43	0,629	-	17	18,23	3,66
3	400	0,45	0,646	-	10	21,89	5,28
4	400	0,48	0,671	-	8	28,16	7,93
5	500	0,40	0,761	-	20	-	-
6	500	0,43	0,793	-	13	14,68	5,85
7	500	0,45	0,814	-	8	16,72	4,06
8	500	0,48	0,845	-	4	24,45	6,27
9	600	0,40	0,918	4	-	17,25	4,25
10	600	0,43	0,956	5,5	-	15,64	3,98
11	600	0,45	0,981	7	-	19,13	5,02
12	600	0,48	1,003	8,5	-	27,87	7,69
13	700	0,39	1,105	8	-	16,27	4,83
14	700	0,40	1,133	10,5	-	13,57	4,01
15	700	0,43	1,220	15	-	18,45	5,68
16	700	0,45	1,281	18	-	26,81	8,21
17	400	0,53	0,660	-	10	17,25	4,21

TT	KLTT, kg/m ³	Thông số		Tính công tác		Độ phân tầng, %	
		N/X	Kd	Độ sụt, cm	Độ cứng, sec	P _r	P _{ch}
18	500	0,53	0,832	-	8	13,26	3,92
19	600	0,53	1,005	14	-	16,37	5,21
20	700	0,53	1,335	17	-	19,13	5,97
Ghi chú: Cấp phối số 17, 18, 19 và 20 sử dụng chất kết dính gồm tro tuyển với tỷ lệ 0,3 khối lượng xi măng, độ xòe của hồ xi măng và tro tuyển bằng 12 cm.							

Các kết quả thí nghiệm cho thấy tăng độ xòe của hồ xi măng hay tăng hệ số dư hồ đều làm tăng độ sụt, giảm độ cứng của hỗn hợp bê tông polystyrol. Hỗn hợp bê tông có hệ số dư hồ nhỏ khá rời rạc, hồ xi măng trong các hỗn hợp bê tông này chỉ đủ để hình thành một lớp vỏ mỏng bao quanh các hạt cốt liệu chứ không đủ để điền đầy các lỗ rỗng giữa hạt. Ở cấp phối số 1 và số 5 còn xảy ra hiện tượng vón cục do lượng hồ xi măng ít và hạt cốt liệu nhẹ không có khả năng hỗ trợ phân tán hồ xi măng như trong hỗn hợp bê tông thông thường. Tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrol có khối lượng thể tích lớn nhạy cảm hơn với sự thay đổi độ xòe của hồ xi măng. Điều này một phần có thể giải thích là do sự thay đổi hệ số dư hồ khi chuyển sang sử dụng hồ xi măng có độ xòe cao hơn của các cấp phối bê tông có khối lượng thể tích lớn hơn, là lớn hơn.

Khi thay đổi tỷ lệ N/X hay lượng dùng nước của hỗn hợp bê tông, độ xòe của hồ xi măng thay đổi, khi đó, nếu muốn giữ nguyên khối lượng thể tích của bê tông thì hệ số dư hồ cũng phải thay đổi. Mặt khác, khi sử dụng phụ gia, tỷ lệ N/X để vữa xi măng đạt được cùng độ xòe phụ thuộc rất nhiều vào bản chất và lượng dùng phụ gia. Vậy nên, để đảm bảo tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrol, nên điều chỉnh hai thông số gồm độ xòe của hồ và hệ số dư hồ.

Việc thay thế một phần xi măng bằng phụ gia khoáng (tro tuyển) không những làm tăng lượng dùng nước của hồ xi măng mà còn làm tăng hệ số dư hồ của hỗn hợp bê tông (trong điều kiện giữ cố định khối lượng thể tích) và do đó cải thiện tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrol. Nhìn chung độ xòe thích hợp của hồ cho các cấp phối bê tông polystyrol trong nghiên cứu nằm trong khoảng từ 10 cm đến 14cm. Để đạt được cùng độ sụt của hỗn hợp bê tông các cấp phối có hệ số dư hồ thấp đòi hỏi vữa có độ xòe cao.

Cốt liệu hạt polystyrol phòng nờ có khối lượng thể tích nhỏ hơn nhiều so với hồ xi măng, do đó

nguy cơ phân tầng trong quá trình tạo hình là lớn hơn so với bê tông thông thường. Khi đó, bên cạnh việc xác định thành phần thích hợp thì lựa chọn chế độ tạo hình phù hợp cũng quan trọng không kém. Theo khuyến cáo của [3] độ phân tầng Pr của bê tông polystyrol không được vượt quá 25%. Trong các thí nghiệm đã tiến hành xác định độ phân tầng của hỗn hợp bê tông trong điều kiện đầm rung và không rung.

Kết quả thí nghiệm ở bảng 3 cho thấy độ phân tầng của hỗn hợp bê tông polystyrol tăng khi tăng độ xòe của hồ hoặc tăng hệ số dư hồ. Các hỗn hợp bê tông có hệ số dư hồ lớn có xu hướng phân tầng cao hơn so với các hỗn hợp bê tông có hệ số dư hồ vừa nhỏ. Vậy nên để đảm bảo độ đồng nhất cho các hỗn hợp bê tông có hệ số dư hồ cao cần giảm độ xòe của vữa. So sánh kết quả thí nghiệm với các yêu cầu của [3] cho thấy rằng để đảm bảo độ đồng nhất của hỗn hợp bê tông, tùy thuộc vào hệ số dư hồ, hỗn hợp cần có độ xòe nằm trong khoảng từ 8 cm đến 14cm .

Chế độ tạo hình bằng đầm rung làm tăng khả năng phân tầng của hỗn hợp bê tông polystyrol, nhất là những hỗn hợp có độ sụt cao. Các hỗn hợp bê tông được tạo hình bằng phương pháp không rung đều có độ phân tầng nhỏ hơn 10%. Do đó trong các điều kiện bình thường, không khuyến cáo sử dụng phương pháp đầm rung để tạo hình hỗn hợp bê tông polystyrol.

Như vậy để hạn chế khả năng phân tầng của hỗn hợp bê tông cần lựa chọn các giá trị độ xòe của vữa và hệ số dư vữa thích hợp. Trong đó, nếu như giá trị hệ số dư vữa của cấp phối bê tông với khối lượng thể tích cho trước dao động trong một khoảng xác định, thì ta có thể chủ động lựa chọn độ xòe thích hợp của hỗn hợp vữa.

4. Ảnh hưởng của một số yếu tố đến cường độ bê tông

Cấp phối bê tông trong thí nghiệm được lựa chọn theo hai bước. Trước tiên, lựa chọn tỷ lệ N/X phụ thuộc vào chủng loại và liều lượng phụ gia khoáng sao cho đảm bảo tính công tác của hỗn hợp bê tông. Lượng dùng cốt liệu polystyrol hay hệ số Kd được tính toán để đảm bảo khối lượng thể tích cho trước là 400, 500, 600 và 700 kg/m³. Hỗn hợp bê tông được trộn bằng máy và tạo hình thủ công

(không sử dụng đầm rung). Bảo dưỡng mẫu bê tông polystyrol được thực hiện trong điều kiện tiêu chuẩn. Các cấp phối mặc định sử dụng xi măng Nghi Sơn PCB 40, cốt liệu polystyrol PS2. Các thay đổi về chủng loại vật liệu sử dụng thể hiện tại phần ghi chú. Song song với việc đúc mẫu bê tông, tiến hành đúc các mẫu vữa xi măng theo tỷ lệ N/X và PGK/X tương ứng. Các mẫu vữa xi măng này được đúc và bảo dưỡng trong điều kiện tương tự. Kết quả thí nghiệm được trình bày tại bảng 4.

Bảng 4. Ảnh hưởng của một số yếu tố đến cường độ bê tông polystyrol

Ký hiệu	Thông số cấp phối bê tông				Cường độ đá xi măng, MPa		Cường độ bê tông, MPa		Tỷ lệ cường độ, %		Ghi chú
	KLTT, kg/m ³	PKG/X	N/X	Kd	uốn, R _{xu}	nén, R _{xn}	uốn, R _{bu}	nén, R _{bn}	R _{bu} /R _{xu}	R _{bn} /R _{xn}	
D4X4a	400	0	0,45	0,646	8,2	52,1	0,49	1,1	6,0	2,1	-
D5X4a	500	0	0,45	0,814	8,2	52,1	0,55	1,5	6,7	2,9	-
D6X4a	600	0	0,45	0,981	8,2	52,1	1,01	3,3	12,3	6,3	-
D7X4a	700	0	0,45	1,281	8,2	52,1	1,17	4,7	14,3	9,0	-
D4X4b	400	0	0,42	0,612	8,5	53,8	0,48	0,9	5,6	1,7	-
D5X4b	500	0	0,42	0,782	8,5	53,8	0,56	1,5	6,6	2,8	-
D6X4b	600	0	0,42	0,943	8,5	53,8	1,04	3,0	12,2	5,6	-
D7X4b	700	0	0,42	1,19	8,5	53,8	1,18	4,9	13,9	9,1	-
D4X3	400	0	0,45	0,646	7,0	41,7	0,44	1,0	6,3	2,4	PC 30
D5X3	500	0	0,45	0,814	7,0	41,7	0,50	1,4	7,1	3,4	PC 30
D6X3	600	0	0,45	0,981	7,0	41,7	0,92	2,9	13,1	7,0	PC 30
D7X3	700	0	0,45	1,281	7,0	41,7	0,98	4,0	14,0	9,6	PC 30
D4T	400	0,3	0,53	0,660	5,6	47,1	0,66	1,1	11,7	2,3	Tro tuyến
D5T	500	0,3	0,53	0,832	5,6	47,1	0,71	1,8	12,6	3,8	Tro tuyến
D6T	600	0,3	0,53	1,005	5,6	47,1	1,11	3,4	19,8	7,2	Tro tuyến
D7T	700	0,3	0,53	1,335	5,6	47,1	1,65	5,5	29,4	11,7	Tro tuyến
D4V	400	0,2	0,64	0,808	4,7	43,6	0,50	1,2	10,6	2,8	Vôi
D5V	500	0,2	0,64	1,031	4,7	43,6	0,69	1,9	14,6	4,4	Vôi
D6V	600	0,2	0,64	1,433	4,7	43,6	1,01	3,6	21,4	8,3	Vôi
D7V	700	0,2	0,64	1,974	4,7	43,6	1,48	5,3	31,3	12,2	Vôi
D4S	400	0,2	0,54	0,682	7,5	51,9	0,63	1,2	8,4	2,3	SF
D5S	500	0,2	0,54	0,859	7,5	51,9	0,75	1,9	10,0	3,7	SF
D6S	600	0,2	0,54	1,063	7,5	51,9	1,27	3,8	16,9	7,3	SF
D7S	700	0,2	0,54	1,424	7,5	51,9	1,80	6,0	23,9	11,6	SF

Trong thí nghiệm trên việc thay thế xi măng Nghi Sơn PCB 40 bằng Hoàng Thạch PC 30 không làm ảnh hưởng đến lượng dùng xi măng cho các cấp phối bê tông cùng khối lượng thể tích. Kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ bê tông polystyrol tăng khi tăng cường độ đá xi măng. Mức độ ảnh hưởng của cường độ đá xi măng tới cường độ bê tông thể hiện thông qua tỷ lệ cường độ bê tông trên cường độ đá xi măng phụ thuộc nhiều vào hệ số dư hồ hay khối lượng thể tích của bê tông. Nâng cao cường độ đá xi măng nhờ giảm tỷ lệ N/X đối với các cấp phối có hệ số dư hồ thấp không có hiệu quả rõ rệt.

Khi sử dụng phụ gia khoáng ở khoảng nghiên cứu, cường độ đá xi măng đều giảm nhưng cường

độ bê tông polystyrol lại tăng. Đặc biệt là tỷ lệ cường độ bê tông trên cường độ đá xi măng ứng với các mức khối lượng thể tích khác nhau đều tăng và cao hơn so với khi không sử dụng phụ gia khoáng. Đó là do khi sử dụng phụ gia khoáng, hệ số dư hồ của các cấp phối đều tăng.

Điều này có thể giải thích dựa vào đặc điểm cấu trúc của bê tông polystyrol và mối quan hệ giữa cấu trúc và cường độ. Theo [4] cường độ của các vật liệu cùng khối lượng thể tích phụ thuộc vào dạng cấu trúc của chúng. Cường độ sẽ tăng khi cấu trúc vật liệu chuyển từ cấu trúc hốc lớn sang cấu trúc liên tục có lỗ rỗng và cấu trúc liên tục đặc chắc. Mặt khác như đã phân tích ở trên, hệ số dư hồ là thông

số quyết định cấu trúc của bê tông. Khi tăng hệ số dư hồ từ 0,6 đến 1,4 như trong các thí nghiệm đã tiến hành, cấu trúc bê tông chuyển từ cấu trúc hốc lớn sang cấu trúc liên tục. Qua các thí nghiệm trên ta thấy rằng, hệ số dư hồ và cường độ đá xi măng quyết định cường độ bê tông nhưng đối với bê tông polystyrol có cấu trúc hốc lớn (hệ số dư vừa nhỏ), thì hệ số dư hồ có vai trò quan trọng hơn đối với cường độ bê tông. Ngược lại khi bê tông polystyrol có cấu trúc liên tục (hệ số dư hồ lớn) cường độ đá xi măng sẽ có ảnh hưởng lớn hơn tới cường độ bê tông.

Cũng có thể thấy việc sử dụng phụ gia khoáng trong bê tông polystyrol có hiệu quả lớn không

những trong việc giảm giá thành mà còn trong việc cải thiện các tính chất của bê tông. Trong các loại phụ gia khoáng đã sử dụng, tro tuyển được lựa chọn cho các nghiên cứu tiếp theo do có hiệu quả và giá thành rẻ. Việc sử dụng tro tuyển cũng góp phần giải quyết vấn đề môi trường.

Bề mặt của hạt cốt liệu polystyrol khá nhẵn và trơn nên chúng không bám dính với hồ xi măng. Việc gia tăng khả năng bám dính của hạt với đá xi măng có thể giúp cải thiện cường độ bê tông. Điều này có thể thực hiện được nhờ sử dụng phụ gia polimer. Các cấp phối thí nghiệm được lập theo Bảng 4, lượng dùng phụ gia polimer là 5% tính theo lượng dùng xi măng. Kết quả trình bày tại bảng 5.

Bảng 5. Cường độ bê tông polystyrol khi sử dụng 5% phụ gia polimer (theo xi măng)

Ký hiệu	Thông số cấp phối bê tông				Cường độ đá xi măng, MPa		Cường độ bê tông, MPa		Tỷ lệ cường độ, %		Ghi chú
	KLTT, kg/m ³	PKG/X	N/X	Kd	uốn, R _{xu}	nén, R _{xn}	uốn, R _{bu}	nén, R _{bn}	R _{bu} /R _{xu}	R _{bn} /R _{xn}	
D4TP	400	0,3	0,53	0,660	7,8	49,8	0,86	1,5	11,0	3,0	Tro tuyển
D5TP	500	0,3	0,53	0,832	7,8	49,8	1,45	2,3	18,6	4,6	Tro tuyển
D6TP	600	0,3	0,53	1,005	7,8	49,8	1,93	4,4	24,7	8,8	Tro tuyển
D7TP	700	0,3	0,53	1,335	7,8	49,8	2,21	8,0	28,3	16,1	Tro tuyển

Kết quả thí nghiệm cho thấy phụ gia polimer với lượng dùng 5% cải thiện đáng kể cường độ bê tông polystyrol. Ở đây, sử dụng phụ gia polimer hầu như không làm thay đổi hệ số dư hồ của bê tông. Mặc dù cường độ đá xi măng có tăng nhẹ nhưng so với các kết quả tương ứng trong bảng 4, có thể thấy rằng cường độ bê tông được cải thiện đáng kể có thể là do tác dụng tăng độ liên kết giữa đá xi măng và hạt cốt liệu, giúp cải thiện khả năng làm việc đồng thời giữa chúng. Hạt polystyrol có mô đun đàn hồi thấp nên khi các vết nứt phát triển đến bề mặt hạt, ứng suất phát triển vết nứt sẽ bị giảm nhẹ.

Hạt polystyrol phòng nở đóng vai trò cốt liệu nhẹ và chiếm thể tích đáng kể trong bê tông. Kích thước và tính chất hạt có thể có ảnh hưởng nhất định đến tính chất bê tông. Để làm sáng tỏ điều này, đã tiến hành thí nghiệm với hai loại cốt liệu polystyrol với khối lượng thể tích khác nhau. Tính chất của cốt liệu trình bày tại bảng 1. Trong thí nghiệm với các loại cốt liệu khác nhau, tính chất của vữa xi măng và khối lượng riêng của bê tông được giữ cố định. Kết quả trình bày tại bảng 6.

Bảng 6. Ảnh hưởng của cốt liệu đến cường độ bê tông polystyrol

Ký hiệu	Thông số cấp phối bê tông				Cường độ đá xi măng, MPa		Cường độ bê tông, MPa		Tỷ lệ cường độ, %		Ghi chú
	KLTT, kg/m ³	PKG/X	N/X	Kd	uốn, R _{xu}	nén, R _{xn}	uốn, R _{bu}	nén, R _{bn}	R _{bu} /R _{xu}	R _{bn} /R _{xn}	
D4X4aS1	400	0	0,45	0,656	8,2	52,2	0,50	1,0	6,1	1,9	PS No.1
D5X4aS1	500	0	0,45	0,824	8,2	52,2	0,53	1,4	6,5	2,7	PS No.1
D6X4aS1	600	0	0,45	0,992	8,2	52,2	0,92	3,0	11,2	5,7	PS No.1
D7X4aS1	700	0	0,45	1,302	8,2	52,2	1,08	4,2	13,2	8,0	PS No.1
D4X4aS3	400	0	0,45	0,621	8,2	52,2	0,49	1,1	6,0	2,1	PS No.3
D5X4aS3	500	0	0,45	0,787	8,2	52,2	0,57	1,7	7,0	3,3	PS No.3
D6X4aS3	600	0	0,45	0,952	8,2	52,2	1,22	3,6	14,9	6,9	PS No.3
D7X4aS3	700	0	0,45	1,223	8,2	52,2	1,41	4,9	17,2	9,4	PS No.3

Trong điều kiện thí nghiệm, việc thay đổi cốt liệu dẫn đến thay đổi nhẹ hệ số dư hồ của bê tông. Độ

rỗng của các loại cốt liệu sử dụng ở đây không dao động nhiều, do đó hệ số dư hồ thay đổi chủ yếu do

khối lượng thể tích cốt liệu thay đổi. Phân tích kết quả thí nghiệm cho thấy, khi tăng khối lượng thể tích của cốt liệu, cường độ bê tông tăng không nhiều. Điều này có thể do mức độ thay đổi kích thước và tính chất của hạt trong nghiên cứu chưa đủ lớn để thể hiện rõ nét ảnh hưởng của hạt polystyrol đến cường độ bê tông.

5. Nghiên cứu một số tính chất của bê tông polystyrol

Nghiên cứu các tính chất của bê tông được thực hiện trên một số cấp phối được lựa chọn ở

phần trên, cụ thể là các cấp phối sử dụng tro tuyển. Các tính chất được nghiên cứu bao gồm co ngót, mô đun đàn hồi, hệ số hóa mềm và khả năng bám dính của bê tông polystyrol.

Độ co ngót của bê tông polystyrol được tiến hành theo TCVN 3117:1993 trên các mẫu kích thước 100x100x400 mm trong điều kiện tự nhiên. Cấp phối bê tông polystyrol lấy theo Bảng 4. Kết quả được trình bày trong bảng 7.

Bảng 7. Độ co ngót của bê tông polystyrol

Ký hiệu cấp phối	KLTT, kg/m ³	Độ co ngót của bê tông, mm/m tại thời điểm, ngày						
		1	3	7	14	28	60	90
D4T	400	0,12	0,26	0,38	0,45	0,57	0,65	0,65
D5T	500	0,09	0,20	0,24	0,32	0,36	0,42	0,43
D6T	600	0,07	0,13	0,16	0,23	0,29	0,34	0,35
D7T	700	0,05	0,10	0,16	0,21	0,30	0,20	0,31

Số liệu thí nghiệm cho thấy co ngót của bê tông polystyrol đạt ổn định sau 90 ngày. Khối lượng thể tích của bê tông càng cao thì độ co ngót càng giảm. Nhìn chung bê tông polystyrol có độ co ngót cao hơn nhưng ổn định sớm hơn so với bê tông thường (bê tông nặng có độ co khoảng từ 0,2 mm/m đến 0,45 mm/m và ổn định sau từ 5 đến 6 tháng). Thành phần chính gây co ngót trong bê tông là đá xi măng. Trong bê tông thường, sự co mặt của cốt liệu có tác dụng cản co khiến độ co ngót của bê tông giảm đáng kể so với độ co ngót của đá xi măng. Đối với bê tông polystyrol, các hạt cốt liệu có cường độ và mô đun đàn hồi thấp nên khả năng cản co của chúng không cao. Mặt khác cấu trúc hốc rỗng của bê tông polystyrol với khối lượng thể tích thấp cũng là một trong những nguyên nhân làm tăng độ co ngót.

Mô đun đàn hồi của bê tông polystyrol được xác định theo TCVN 5726:1993. Trong các thí nghiệm, thay cho việc đo bằng đồng hồ cơ học, độ biến dạng được đo thông qua các thanh cảm biến gắn trên bề mặt mẫu. Thí nghiệm được tiến hành tại phòng nghiên cứu về thí nghiệm công trình thuộc Viện KHCN Xây dựng. Kết quả thí nghiệm cho thấy

các cấp phối D4T, D5T, D6T và D7T (Bảng 4) có mô đun đàn hồi tương ứng là 0,077 GPa, 0,128 GPa, 0,194 GPa và 0,228 GPa. Có thể thấy rằng, mô đun đàn hồi của bê tông polystyrol tăng theo chiều tăng cường độ bê tông (khối lượng thể tích bê tông). Mô đun đàn hồi của bê tông phụ thuộc rất nhiều vào lượng và tính chất của cốt liệu cũng như hồ xi măng. Sử dụng các hạt polystyrol với mô đun đàn hồi thấp làm giảm mô đun đàn hồi của bê tông. Theo dõi quá trình biến dạng của bê tông polystyrol với khối lượng thể tích 500 kg/m³ và nhất là 400 kg/m³ cho thấy ngoài biến dạng đàn hồi và biến dạng dẻo còn có thành phần biến dạng dẻo ảo. Đó là nhánh đi xuống trong biểu đồ quan hệ áp lực - biến dạng. Theo [4] khi xảy ra biến dạng dẻo ảo mặc dù bê tông chưa có dấu hiệu phá vỡ bên ngoài nhưng cấu trúc đã mất đi tính liên tục và xuất hiện nhiều vi nứt.

Độ hút nước của bê tông polystyrol được xác định theo TCVN 3113:1993. Hệ số hoá mềm của bê tông polystyrol được xác định riêng theo cường độ chịu nén và chịu kéo khi uốn. Kết quả thí nghiệm trình bày tại bảng 8.

Bảng 8. Độ hút nước và hệ số hoá mềm của bê tông polystyrol

Ký hiệu cấp phối	KLTT, kg/m³	Độ hút nước, %	Cường độ, MPa ở trạng thái				Hệ số hoá mềm theo	
			khô		bão hoà nước			
			uốn	nén	uốn	nén	uốn	nén
D4X4a	400	27,3	0,49	1,1	0,49	1,1	1,00	1,00
D5X4a	500	22,5	0,55	1,5	0,54	1,4	0,98	0,93
D6X4a	600	18,6	1,01	3,3	1,00	2,8	0,99	0,85
D7X4a	700	16,7	1,17	4,7	1,05	3,9	0,90	0,83

Ký hiệu cấp phối	KLTT, kg/m³	Độ hút nước, %	Cường độ, MPa ở trạng thái				Hệ số hoá mềm theo	
			khô		bão hoà nước			
			uốn	nén	uốn	nén	uốn	nén
D4T	400	25,8	0,66	1,1	0,66	1,1	1,00	1,00
D5T	500	23,7	0,71	1,8	0,71	1,5	1,00	0,83
D6T	600	17,7	1,11	3,4	1,10	2,8	0,99	0,82
D7T	700	16.2	1.65	5.5	1.41	4.5	0.85	0.82

Độ hút nước của bê tông polystyrol giảm khi tăng khối lượng thể tích bê tông và nằm trong khoảng từ 27,3% đến 16,2%. Các hạt cốt liệu polystyrol không hút nước nên độ hút nước của bê tông phụ thuộc vào độ hút nước của đá xi măng. Bên cạnh đó, một yếu tố ảnh hưởng lớn đến độ hút nước là cấu trúc của bê tông. Các cấp phối với hệ số dư vữa thấp sẽ có cấu trúc hốc rỗng. Các hốc rỗng này sẽ làm tăng đáng kể độ hút nước của bê tông polystyrol. Theo chiều tăng của hệ số dư vữa, thể tích các hốc rỗng giảm dần do đó độ hút nước cũng được cải thiện. Khi bê tông có cấu trúc liên tục, độ hút nước tiến tới giá trị bằng và nhỏ hơn độ hút nước của vữa xi măng. Chính vì vậy để cải thiện độ hút nước của bê tông polystyrol có khối lượng thể tích thấp cần tăng hệ số dư vữa. Còn đối với bê tông polystyrol có khối lượng thể tích cao thì cần giảm độ hút nước của vữa. Mặc dù độ hút nước của bê tông polystyrol với khối lượng thể tích khác nhau dao động mạnh nhưng độ ẩm cân bằng của bê tông

polystyrol ít dao động và nằm trong khoảng từ 4,5 % đến 6,3%.

Hệ số hoá mềm của bê tông polystyrol biến động trong khoảng từ 0,82 đến 1,00. Hệ số hoá mềm theo cường độ chịu uốn ít biến động hơn so với hệ số hoá mềm theo cường độ chịu nén. Bê tông polystyrol có khối lượng thể tích càng lớn thì hệ số hoá mềm càng nhỏ. Điều này chứng tỏ khối lượng bê tông càng lớn thì ảnh hưởng của cường độ vữa xi măng tới cường độ bê tông càng thể hiện rõ nét.

Khả năng bám dính của bê tông polystyrol được nghiên cứu với hai đối tượng bao gồm bám dính với cốt thép và bám dính với vữa. Thí nghiệm khả năng liên kết giữa cốt thép và bê tông được tiến hành ở tuổi 28 ngày trên các mẫu bê tông polystyrol kích thước 100x100x200mm theo phương pháp trình bày trong [5]. Các thí nghiệm tiến hành với cốt thép trơn và cốt thép gai D10. Kết quả thí nghiệm trình bày tại bảng 9.

Bảng 9. Độ bám dính của bê tông polystyrol với cốt thép

Ký hiệu cấp phối	KLTT, kg/m ³	Loại thép	Lực kéo tối đa, KG	Độ bám dính, MPa	
				từng mẫu	trung bình
D4T	400	thép trơn	265	0,43	0,45
			230	0,37	
			330	0,53	
D4T	400	thép gai	140	0,23	0,18
			100	0,16	
			85	0,14	
D7T	700	thép trơn	1550	2,51	2,17
			1025	1,66	
			1450	2,34	
D7T	700	thép gai	1170	1,89	1,99
			1340	2,17	
			1180	1,91	

Kết quả thí nghiệm cho thấy độ liên kết giữa cốt thép và bê tông phụ thuộc vào khối lượng thể tích của bê tông polystyrol. Cũng theo [5], độ liên kết giữa cốt thép và bê tông thường được tính bằng 0,19 mức bê tông. Như vậy, mặc dù giá có trị tuyệt đối thấp hơn, nhưng tỷ lệ giữa độ bám dính của cốt thép và cường độ bê tông polystyrol cao hơn so với bê tông thường. Độ bám dính của cốt thép với bê

tông polystyrol tăng theo chiều tăng khối lượng thể tích và với khối lượng thể tích 700 kg/m³ có giá trị gần với giá trị của bê tông thường.

Đối với bê tông thường, độ bám dính của thép gai thường lớn hơn so với thép trơn, nhưng thí nghiệm với bê tông polystyrol cho kết quả ngược lại. Khối lượng thể tích của bê tông polystyrol tăng thì mức độ cách biệt giữa thép gai và thép trơn

giảm. Điều này có thể giải thích bởi đặc điểm cấu trúc của bê tông polystyrol. Do bê tông polystyrol với khối lượng thể tích thấp có cấu trúc hốc rỗng nên diện tích tiếp xúc giữa bề mặt cốt thép và bê tông bị hạn chế. Mặt khác, khi sử dụng thép gai với khoảng cách các gai tương đương kích thước hạt cốt liệu, diện tích tiếp xúc càng bị thu hẹp. Khi tăng khối lượng thể tích, hệ số dư vữa tăng, cấu trúc bê tông dần trở nên liên tục (giống với cấu trúc bê tông thường), do đó độ bám dính cũng tăng theo và các quy luật chi phối cũng dần tiệm cận với các quy luật của bê tông thường.

Khả năng liên kết với vữa trát của bê tông polystyrol được xác định theo TCVN 3121-12:2003. Nền để trát là các tấm bê tông polystyrol kích thước 300x500x100mm. Sau khi đúc 14 ngày tiến hành trát vữa xi măng cát vàng M75 dày 1cm lên bề mặt bê tông polystyrol. Sau 28 ngày tiến hành thí nghiệm kéo nhỏ xác định độ bám dính. Đồng thời, tiến hành kéo nhỏ bản thân bê tông tấm nền để xác định cường độ cốt kết của bê tông. Kết quả cho thấy, cường độ cốt kết của bê tông polystyrol D4T và D7T có giá trị tương ứng bằng 0,29 MPa và 0,61 MPa. Trong khi đó, với nền là bê tông polystyrol D4T có khối lượng thể tích 400 kg/m³, vùng phá hoại khi thử nghiệm nằm trong bê tông nền, giá trị cường độ kéo đứt ghi nhận được vào khoảng 0,27 MPa tương đương với cường độ cốt kết của bản thân bê tông. Với nền là bê tông polystyrol D7T có khối lượng thể tích 700 kg/m³, phá hoại khi kéo nhỏ xảy ra ở vùng tiếp giáp giữa vữa và bê tông. Độ bám dính ghi nhận được là 0,55 MPa, không thua kém gì so với bê tông thường. Như vậy, nếu sử dụng bê tông polystyrol làm tường cho nhà và công trình, có thể hoàn thiện bề mặt bằng vữa trát như tường gạch hay tường bê tông thông thường.

So với các loại vật liệu nhẹ có khối lượng thể tích tương đương, ví dụ như bê tông khí chưng áp, bê tông polystyrol với khối lượng thể tích 600-700 kg/m³ có giá thành cao hơn khoảng 25%. Tuy nhiên, với độ hút nước thấp hơn, khả năng chống thấm cao hơn, bê tông polystyrol là lựa chọn phù hợp hơn cho tường bao che và tường tại các khu vực dùng nước trong công trình.

5. Kết luận

Nghiên cứu sử dụng bê tông nhẹ trong xây dựng là định hướng quan trọng trong phát triển vật

liệu xây dựng ở nước ta. Trong đó, bê tông nhẹ sử dụng hạt polystyrol phồng nở là vật liệu mới, có nhiều triển vọng ứng dụng, nâng cao hiệu quả cho công trình.

Kết quả nghiên cứu bê tông polystyrol với khối lượng thể tích từ 400 kg/m³ đến 700 kg/m³ cho thấy, tính công tác của hỗn hợp bê tông phụ thuộc nhiều vào độ xòe của hồ xi măng và hệ số dư hồ. Để hạn chế phân tầng hỗn hợp bê tông cần lựa chọn độ xòe thích hợp của hồ và hạn chế tạo hình bằng đầm rung.

Cường độ của bê tông polystyrol phụ thuộc vào cường độ của đá xi măng và hệ số dư hồ. Để nâng cao cường độ bê tông polystyrol có khối lượng thể tích thấp nên ưu tiên tăng hệ số dư hồ. Sử dụng phụ gia khoáng và polimer có thể chế tạo được bê tông polystyrol khối lượng thể tích 700 kg/m³ đạt cường độ đến 8,0 MPa.

Nghiên cứu các tính chất khác của bê tông polystyrol như co ngót, mô đun đàn hồi, độ hút nước, hệ số hóa mềm và khả năng bám dính cho thấy bê tông polystyrol hoàn toàn thích hợp để chế tạo các sản phẩm nhẹ như khối xây, panel nhẹ sử dụng trong thi công xây dựng công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Довжик В.Г., Россковский В.Н., Савельева Г.С., Иванова Ю.В., Хаймов И.С., Семенова Т.Д., Сафонов А.А. Технология и свойства полистиролбетона для стеновых конструкций. Бетон и железобетон, 1997, № 2, стр.5-9.
2. Милых Т.И. Конструкционно-теплоизоляционный полистиролбетон. Бетон и железобетон, 1988, №10, стр.11-13.
3. 5. ГОСТ Р 51263-99 "Полистиролбетон. Технические условия".
4. 12. Баженов Ю.М. Технология бетона. Изд-во АСВ, 2002, 500с.
5. Nguyễn Tấn Quý, Phan Duy Hữu, Nguyễn Thúc Kiên. Giáo trình thí nghiệm vật liệu xây dựng. NXB ĐH&THCN, 1983, 192c.

Ngày nhận bài: 02/01/2018.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 12/01/2018.