

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ XÂY DỰNG

VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

-----&&&&&***&&&&&-----

LÊ PHƯỢNG LY

**NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO BÊ TÔNG NHẹ KẾT CẤU SỬ
DỤNG CỐT LIỆU POLYSTYRENE**

LUẬN ÁN TIẾN SỸ KỸ THUẬT

CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT VẬT LIỆU

Mã số: 9520309

- HÀ NỘI, 2019 -

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ XÂY DỰNG

VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

-----&&&&&***&&&&&-----

LÊ PHƯƠNG LY

**NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO BÊ TÔNG NHẹ KẾT CẤU SỬ
DỤNG CỐT LIỆU POLYSTYRENE**

LUẬN ÁN TIẾN SỸ KỸ THUẬT

CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT VẬT LIỆU

Mã số: 9520309

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

1. TS. HOÀNG MINH ĐỨC



2. PGS. TS NGUYỄN DUY HIẾU



Hà Nội - 2019

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu kết quả trong luận án là trung thực, chưa từng được công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Hà nội, ngày 15 tháng 04 năm 2019

Tác giả của Luận án



Lê Phụng Ly

LỜI CẢM ƠN

Luận án Tiến sĩ kỹ thuật chuyên ngành Kỹ thuật vật liệu với đề tài “Nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ kết cấu sử dụng cốt liệu polystyrene” được hoàn thành tại Viện Chuyên ngành Bê tông - Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng.

Tôi xin tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới thầy giáo hướng dẫn là TS. Hoàng Minh Đức, PGS. TS Nguyễn Duy Hiếu cũng như PGS.TS Nguyễn Minh Ngọc đã tận tình, hết lòng giúp đỡ từ những bước đi đầu tiên cho đến khi hoàn thành quá trình thực hiện luận án.

Tôi xin trân trọng cảm ơn Viện CN Bê tông và các đồng nghiệp đã có những đóng góp quý báu cho luận án này.

Tôi xin cảm ơn những người thân, bạn bè đã luôn bên tôi, động viên tôi hoàn thành luận án này.

Để tiếp tục hướng nghiên cứu này, tôi rất mong nhận được sự đóng góp của các thầy và bạn bè, đồng nghiệp.

Tác giả của Luận án

MỤC LỤC

MỤC LỤC	5
MỤC LỤC BẢNG	7
MỤC LỤC HÌNH	9
KÝ HIỆU VIẾT TẮT.....	11
MỞ ĐẦU	12
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU VÀ SỬ DỤNG BÊ TÔNG NHẹ KẾT CẤU SỬ DỤNG CỐT LIỆU POLYSTYRENE	17
1.1 Tình hình sử dụng bê tông nhẹ kết cấu	17
1.2 Tình hình nghiên cứu và sử dụng cốt liệu polystyrene trong bê tông.....	20
1.2.1 Cốt liệu polystyrene phòng nổ	20
1.2.2 Nghiên cứu và sử dụng cốt liệu polystyrene phòng nổ trong bê tông	22
1.3 Yêu cầu kỹ thuật đối với bê tông polystyrene kết cấu	30
1.3.1 Yêu cầu đối với hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu.....	30
1.3.2 Yêu cầu đối với bê tông polystyrene kết cấu	32
1.4 Cơ sở khoa học	40
1.4.1 Ảnh hưởng của cốt liệu polystyrene phòng nổ đến tính chất của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu.....	40
1.4.2 Ảnh hưởng của cốt liệu polystyrene phòng nổ đến cường độ chịu nén của bê tông.....	43
1.5 Mục tiêu và nhiệm vụ nghiên cứu.....	46
CHƯƠNG 2: VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	48
2.1 Vật liệu sử dụng	48
2.1.1 Cốt liệu polystyrene phòng nổ	48
2.1.2 Xi măng	48
2.1.3 Cốt liệu	50
2.1.4 Phụ gia.....	52
2.1.5 Nước trộn.....	53
2.1.6 Thép cốt.....	54
2.2 Phương pháp nghiên cứu.....	54
2.2.1 Phương pháp nghiên cứu lý thuyết	54
2.2.2 Phương pháp thực nghiệm	54

CHƯƠNG 3: NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO BÊ TÔNG POLYSTYRENE KẾT CẤU	59
3.1 Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến tính công tác của bê tông polystyrene kết cấu.....	59
3.2 Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến độ phân tầng của bê tông polystyrene kết cấu.....	65
3.3 Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến cường độ chịu nén của bê tông polystyrene	68
3.3.1 Ảnh hưởng của phụ gia hóa học.....	68
3.3.2 Ảnh hưởng của đường kính hạt cốt liệu lớn nhất trong bê tông nền	71
3.3.3 Ảnh hưởng của cường độ chịu nén của bê tông nền	74
3.4 Các bước lựa chọn thành phần bê tông polystyrene kết cấu.....	76
3.5 Kết luận chương 3	77
CHƯƠNG 4: NGHIÊN CỨU MỘT SỐ TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG POLYSTYRENE KẾT CẤU	79
4.1 Cường độ chịu nén và sự phát triển cường độ	79
4.2 Độ co	83
4.3 Mô đun đàn hồi	86
4.4 Độ hút nước, hệ số hoá mềm.....	89
4.5 Lực nhổ cốt thép trong bê tông	89
4.6 Kết luận chương 4	91
CHƯƠNG 5: ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG CHỊU TẢI CỦA TẤM SÀN VÀ HIỆU QUẢ KINH TẾ.....	93
5.1 Đánh giá khả năng chịu tải của tấm sàn sử dụng bê tông polystyrene kết cấu	93
5.1.1 Cấu tạo tấm sàn và vật liệu sử dụng.....	95
5.1.2 Sơ đồ và thiết bị thí nghiệm	96
5.1.3 Ứng xử của tấm sàn bê tông polystyrene kết cấu dưới tải trọng	97
5.2 Hiệu quả kinh tế	103
5.3 Kết luận chương 5	105
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	107
TÀI LIỆU THAM KHẢO	109
PHỤ LỤC A	117

MỤC LỤC BẢNG

Bảng 2.1 Tính chất của cốt liệu EPS	48
Bảng 2.2 Tính chất của xi măng	49
Bảng 2.3 Tính chất của cốt liệu nhỏ	50
Bảng 2.4 Tính chất của cốt liệu lớn	51
Bảng 2.5 Tính chất của phụ gia điều chỉnh độ nhớt	52
Bảng 2.6 Tính chất của phụ gia khoáng hoạt tính silicafume.....	53
Bảng 2.7 Thành phần hóa của phụ gia khoáng hoạt tính silicafume.....	53
Bảng 2.8 Thành phần hóa học của bột đá.....	53
Bảng 2.9 Tính chất của cốt thép	54
Bảng 3.1 Cấp phối bê tông nền sử dụng trong nghiên cứu.....	59
Bảng 3.2 Tính chất của bê tông nền.....	60
Bảng 3.3 Cấp phối bê tông BPK sử dụng trong nghiên cứu.....	69
Bảng 3.4 Cường độ chịu nén	70
Bảng 3.5 Dự kiến sơ bộ cường độ chịu nén của bê tông BPK	77
Bảng 4.1 Cấp phối bê tông sử dụng trong nghiên cứu	79
Bảng 4.2 Cường độ và sự phát triển cường độ	79
Bảng 4.3 Độ co mềm của bê tông.....	84
Bảng 4.4 Độ co khô	85
Bảng 4.5 Mô đun đàn hồi.....	86
Bảng 4.6 Mô đun đàn hồi các loại bê tông	88
Bảng 4.7 Độ hút nước và hệ số hoá mềm.....	89
Bảng 4.8 Lực nhổ cốt thép trong bê tông	90
Bảng 5.1 Cấp phối bê tông sử dụng chế tạo tấm sàn.....	95
Bảng 5.2 Tính toán khả năng chịu tải của tấm sàn	96

Bảng 5.3 Kết quả thí nghiệm tấm sàn P16.....	99
Bảng 5.4 Kết quả thí nghiệm tấm sàn P18.....	100
Bảng 5.5 Tổng hợp kết quả thí nghiệm các tấm sàn.....	101
Bảng 5.6 Chi phí vật liệu sản xuất bê tông polystyrene M250.....	104
Bảng 5.7 Chi phí vật liệu sản xuất bê tông keramzit M250	104
Bảng 5.8 So sánh đơn giá các loại bê tông	105

MỤC LỤC HÌNH

Hình 1.1	Tương quan kích thước hạt cốt liệu trong bê tông.....	43
Hình 1.2	Ảnh hưởng của cường độ cốt liệu pha nền	45
Hình 2.1	Cốt liệu EPS.....	48
Hình 2.2	Khung thí nghiệm xác định lực nhỏ của cốt thép trong bê tông	57
Hình 3.1	Ảnh hưởng của kích thước hạt lớn nhất trong bê tông nền	61
Hình 3.2	Ảnh hưởng của tính công tác của hỗn hợp bê tông nền	62
Hình 3.3	Tính công tác của BPK khi bê tông nền sử dụng cốt liệu D2....	63
Hình 3.4	Tính công tác của BPK khi bê tông nền sử dụng cốt liệu C1	64
Hình 3.5	Phân tầng trong bê tông polystyrene kết cấu	65
Hình 3.6	Ảnh hưởng của VM đến độ phân tầng.....	66
Hình 3.7	Ảnh hưởng đến độ phân tầng.....	67
Hình 3.8	Ảnh hưởng của của khối lượng thể tích.....	71
Hình 3.9	Bê tông BPK sử dụng bê tông nền M1.25.80.21V15	72
Hình 3.10	Bê tông BPK sử dụng bê tông nền M200.80.21V15	72
Hình 3.11	Ảnh hưởng của cốt liệu bê tông nền	73
Hình 3.12	Quan hệ về cường độ chịu nén của bê tông	75
Hình 4.1	Cường độ chịu nén ở 28 ngày	80
Hình 4.2	Cường độ chịu kéo khi uốn ở 28 ngày.....	80
Hình 4.3	Tương quan cường độ R_u/R_n ở 28 ngày	81
Hình 4.4	Phát triển cường độ chịu nén	82
Hình 4.5	Phát triển cường độ chịu kéo khi uốn	82
Hình 4.6	Độ co khô của bê tông polystyrene kết cấu	85
Hình 4.7	Thí nghiệm mô đun đàn hồi của bê tông	87
Hình 5.1	Cấu tạo tấm sàn thí nghiệm.....	95

Hình 5.2 Sơ đồ thí nghiệm.....	96
Hình 5.3 Bố trí thí nghiệm.....	97
Hình 5.4 Sơ đồ vết nứt khi thí nghiệm gia tải tấm sàn	98
Hình 5.5 Vết nứt của tấm P18-1 tại $P_y = 3,0 \text{ kN}$	98
Hình 5.6 Vết nứt của tấm P18-1 khi giảm tải trọng.....	98
Hình 5.7 Tải trọng thí nghiệm và độ võng giữa nhịp của tấm sàn P16 ..	102
Hình 5.8 Tải trọng thí nghiệm và độ võng giữa nhịp của tấm sàn P18 ..	102

KÝ HIỆU VIẾT TẮT

X	: xi măng
N	: nước
C	: cát
D	: đá
SF	: silicafume
SP	: phụ gia siêu dẻo
VM	: phụ gia điều chỉnh độ nhót
BD	: bột đá vôi
KLTT	: khối lượng thể tích
BPK	: bê tông polystyrene kết cấu
EPS	: cốt liệu polystyrene phòng nổ
m_{eps}	: khối lượng cốt liệu polystyrene phòng nổ
V_{eps}	: thể tích xộp của cốt liệu polystyrene phòng nổ
K_d	: Hệ số dư vữa
N/X	: Tỷ lệ nước trên chất kết dính
CKD	: Chất kết dính
ρ_{Kh}	: Khối lượng thể tích khô của bê tông polystyrene, kg/m^3
ρ_{eps}	: khối lượng thể tích cốt liệu EPS
ρ_v	: khối lượng thể tích vữa ở trạng thái khô, kg/m^3
ϕ	: thể tích cốt liệu EPS trong hỗn hợp bê tông, m^3/m^3
R_{n28}	: Cường độ chịu nén ở 28 ngày
v	: vận tốc chuyển dịch của hạt cốt liệu, m/s
r	: bán kính của hạt cốt liệu, m
ρ_n	: khối lượng thể tích bê tông nền, kg/m^3
ρ_{cl}	: khối lượng thể tích cốt liệu nhẹ, kg/m^3
g	: gia tốc trọng trường, m/s^2
η	: độ nhót động lực của hồ hoặc vữa xi măng, Ns/m^2
λ	: độ dẫn nhiệt, $Kcal/m.^{\circ}C.h$
m_{vb}	: khối lượng thể tích bê tông ở trạng thái sấy khô, kg/m^3
P_y	: Tải trọng phá hoại thực tế, N
wy	: Độ võng lớn nhất, mm
y	: Bề rộng vết nứt lớn nhất, mm

MỞ ĐẦU

1. Sự cần thiết

Tại nhiều nước trên thế giới, bê tông nhẹ đã được ứng dụng chế tạo các kết cấu bê tông cốt thép cho các công trình cầu đường và công trình nhà dân dụng, công nghiệp với mục đích làm giảm nhẹ trọng lượng so với sử dụng bê tông thường. Nhờ vậy tiết kiệm được chi phí xây dựng công trình. Bên cạnh đó, việc sử dụng vật liệu nhẹ còn tăng khả năng cách âm, cách nhiệt cho kết cấu. Chính vì vậy, sử dụng đa dạng các loại vật liệu, đặc biệt là vật liệu nhẹ để nâng cao hiệu quả kinh tế kỹ thuật của công trình đang là xu hướng trên thế giới và tại Việt Nam.

Tại Hoa Kỳ, tiêu chuẩn ACI 318-14, ACI 211.2-98 quy định bê tông kết cấu cần có cường độ đặc trưng f'_c không nhỏ hơn 17 MPa. Tại Nga, tiêu chuẩn GOST 25820:2014 quy định cường độ chịu nén tối thiểu của bê tông sử dụng cho kết cấu chịu lực là B12,5. Tại Việt Nam, theo TCVN 5574:2017, cấu kiện bê tông cốt thép chịu lực có thể được thiết kế sử dụng bê tông nhẹ có cấp cường độ chịu nén tối thiểu là B15 với khối lượng thể tích nhỏ hơn 2.000 kg/m³. Tuy vậy, phạm vi của các tiêu chuẩn này chỉ áp dụng với bê tông thường và bê tông cốt liệu nhẹ vô cơ (cốt liệu keramzit, aglopolit...). Bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu hữu cơ như cốt liệu polystyrene phòng nổ (EPS) chưa được đề cập tới trong các tiêu chuẩn này.

Tại Việt Nam, trong khoảng 20 năm trở lại đây, đã có nhiều nghiên cứu chế tạo và ứng dụng bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu keramzit vào các kết cấu chịu lực. Tuy vậy, cốt liệu keramzit là loại cốt liệu nhẹ nhân tạo được nung phòng nổ nên việc cung ứng nguồn cốt liệu nhẹ này có nhiều hạn chế. Hiện nay, tại Việt Nam các cơ sở sản xuất keramzit đã ngừng hoạt động. Do đó, việc ứng dụng bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu keramzit gặp nhiều khó khăn.

Trong khi đó, bê tông polystyrene sử dụng cốt liệu polystyrene phòng nổ (EPS) cũng được nghiên cứu và ứng dụng trên thế giới và tại Việt Nam. Trên thế giới, bê tông polystyrene đã được ứng dụng tại nhiều kết cấu công trình như tấm tường vách ngăn, viên xây, trong các kết cấu sàn, dầm chịu lực, các kết cấu công trình trên biển ... [1, 2]. Tại Việt Nam, bê tông sử dụng cốt liệu EPS đã được

nghiên cứu ứng dụng để sản xuất bê tông nhẹ trong 20 năm trở lại đây. Hiện nay, loại bê tông này chủ yếu được ứng dụng trong sản xuất viên xây nhẹ, tấm tường vách ngăn. Với ưu điểm về sự chủ động trong nguồn cung cấp, nghiên cứu phát triển bê tông polystyrene kết cấu rất phù hợp trong giai đoạn hiện nay nhằm đồng bộ các phương án sử dụng vật liệu nhẹ, nâng cao hiệu quả kinh tế kỹ thuật của công trình.

Cốt liệu EPS là sản phẩm thu được khi gia công nhiệt hạt polystyrene nguyên liệu. Cốt liệu EPS có dạng hình cầu chuẩn có cấu trúc xốp bên trong và bề mặt hạt trơn nhẵn, không hút nước. Do đó, khác với các loại cốt liệu nhẹ khác như keramzit hay aglopolit, vốn là loại cốt liệu nhẹ có đặc điểm hút nước mạnh, sự có mặt của polystyrene phòng nổ polystyrene trong bê tông không làm thay đổi lượng nước tự do, cũng như tỷ lệ nước trên xi măng của bê tông nền. Cốt liệu EPS không tương tác về mặt hoá học với bê tông nền mà chỉ làm giảm khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông. Tuy nhiên, sự có mặt của polystyrene phòng nổ với mô đun đàn hồi thấp cũng có ảnh hưởng nhất định đến các tính chất vật lý, cơ lý, biến dạng,... của bê tông nền [4, 5, 6].

Có thể coi bê tông polystyrene là hệ vật liệu composit mà ở đó cốt liệu EPS được phân bố đều trong pha nền là bê tông nặng thông thường hoặc vữa. Trong đó, cốt liệu EPS được đưa vào nhằm biến tính pha nền theo hướng làm giảm khối lượng thể tích và qua đó cũng làm thay đổi các tính chất khác của hỗn hợp bê tông và bê tông. Vì vậy, tính chất của bê tông polystyrene có thể được nghiên cứu trong mối quan hệ ảnh hưởng của tính chất cốt liệu EPS, tính chất bê tông nền và tỷ lệ giữa hai thành phần trên.

Để phát triển loại vật liệu này đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật thì việc nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông polystyrene kết cấu, nghiên cứu một số tính chất của bê tông polystyrene kết cấu, thí nghiệm kiểm chứng đánh giá khả năng chịu lực của cấu kiện bê tông polystyrene và đánh giá hiệu quả kinh tế của bê tông polystyrene kết cấu là cần thiết.

2. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của luận án là bê tông polystyrene kết cấu có khối lượng thể tích từ 1.400 kg/m³ đến 2.000 kg/m³, cường độ chịu nén lớn hơn 20 MPa.

Phạm vi nghiên cứu bao gồm:

- Nghiên cứu ảnh hưởng của bê tông nền và các yếu tố khác đến tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông polystyrene kết cấu;
- Nghiên cứu một số tính chất của bê tông polystyrene kết cấu: cường độ và sự phát triển cường độ chịu nén, chịu kéo, độ co khô, mô đun đàn hồi, độ hút nước, khả năng liên kết bám dính cốt thép...
- Thí nghiệm đánh giá khả năng chịu lực trên cấu kiện tấm sàn sử dụng bê tông polystyrene kết cấu và đánh giá hiệu quả kinh tế kỹ thuật của phương án sử dụng bê tông polystyrene kết cấu.

3. Ý nghĩa khoa học

Luận án đã luận chứng và bước đầu chứng minh các vấn đề:

- Ảnh hưởng của thể tích và tính chất bê tông nền đến tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông polystyrene kết cấu bao gồm khối lượng thể tích, tính công tác, độ phân tầng và cường độ chịu nén.
- Ảnh hưởng của kích thước hạt lớn nhất trong bê tông nền tới tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông polystyrene kết cấu bao gồm tính công tác, độ phân tầng và cường độ chịu nén.
- Khác với bê tông cốt liệu nhẹ vô cơ (keramzit, agroporit, ...), cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu luôn nhỏ hơn cường độ chịu nén của bê tông nền. Tương quan này giống như đối với bê tông tổ ong.

4. Ý nghĩa thực tiễn

- Trên cơ sở kết quả nghiên cứu, sử dụng các vật liệu sẵn có trong nước, đã chế tạo bê tông polystyrene kết cấu có khối lượng thể tích từ 1.600 kg/m³ đến 2.000 kg/m³, cường độ chịu nén lớn hơn 20 MPa;
- Kết quả thí nghiệm tấm sàn cho thấy việc ứng dụng bê tông polystyrene kết cấu trong kết cấu chịu lực là khả thi.

- Đánh giá hiệu quả kinh tế kỹ thuật đã cho thấy bê tông polystyrene kết cấu D1800, M250 có giá thành cao hơn bê tông thường nhưng thấp hơn bê tông keramzit có cùng cường độ chịu nén và cùng khối lượng thể tích.

5. Những đóng góp mới

Các đóng góp mới của luận án bao gồm:

- Đã xác định được rằng với cùng khối lượng thể tích, tính công tác của bê tông polystyrene kết cấu tỷ lệ thuận với tính công tác của bê tông nền và tỷ lệ nghịch với kích thước hạt lớn nhất của bê tông nền.

- Đã cho thấy rằng sử dụng cùng loại cốt liệu nặng trong bê tông nền thì độ phân tầng của bê tông polystyrene kết cấu tỷ lệ thuận với tính công tác của hỗn hợp bê tông nền và tỷ lệ nghịch với thể tích bê tông nền. Với cùng khối lượng thể tích, độ phân tầng tăng khi giảm kích thước hạt lớn nhất trong bê tông nền. Đã đề xuất và chứng minh được rằng sử dụng phụ gia điều chỉnh độ nhớt là biện pháp hiệu quả để hạn chế phân tầng.

- Đã xác định ảnh hưởng của thể tích bê tông nền, cường độ chịu nén của bê tông nền và kích thước hạt lớn nhất trong bê tông nền đến cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu. Qua đó, đã đề xuất sử dụng bê tông nền với kích thước hạt lớn nhất của cốt liệu không vượt quá 10 mm cho bê tông polystyrene kết cấu có khối lượng thể tích nhỏ hơn 1.600 kg/m^3 .

- Đã đóng góp các số liệu về tính chất của bê tông polystyrene kết cấu từ D1600 đến D2000 như cường độ chịu kéo khi uốn, mô đun đàn hồi, độ co, độ hút nước, hệ số hóa mềm, lực nhổ cốt thép trong bê tông...

- Đã cho thấy sự làm việc của tấm sàn sử dụng bê tông polystyrene kết cấu phù hợp với kết quả dự kiến khi sử dụng cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi thực tế để tính toán theo TCVN 5574:2017.

6. Các tài liệu công bố

1. Hoàng Minh Đức, Lê Phụng Ly, Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến tính công tác và độ phân tầng của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu, Tạp chí KHCN Xây dựng số 1-2/2018 (180), tr.22-29.

2. Hoàng Minh Đức, Lê Phương Ly, Ngô Mạnh Toàn, Nghiên cứu sử dụng của tấm sàn sử dụng bê tông polystyrene kết cấu dưới tải trọng, Tạp chí Xây dựng số 9/2018, tr.21-29.

3. Duc Hoang Minh, Ly Le Phuong, Effect of matrix particle size on EPS lightweight concrete properties, VI International Scientific Conference “Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education” (IPICSE-2018), Volume 251, 2018.

7. Kết cấu của luận án

Luận án gồm có các nội dung chính như sau:

Mở đầu

Chương 1: Tổng quan tình hình nghiên cứu và sử dụng bê tông nhẹ kết cấu sử dụng cốt liệu polystyrene

Chương 2: Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Chương 3: Nghiên cứu chế tạo bê tông polystyrene kết cấu

Chương 4: Nghiên cứu một số tính chất của bê tông polystyrene kết cấu

Chương 5: Đánh giá khả năng chịu tải của tấm sàn và hiệu quả kinh tế

Kết luận

Tài liệu tham khảo

Phụ lục A

Luận án có 30 bảng, 31 hình vẽ và đồ thị với 94 tài liệu tham khảo được trình bày trên 121 trang giấy khổ A4.

Luận án "Nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ kết cấu sử dụng cốt liệu polystyrene" được thực hiện tại Viện Chuyên ngành Bê tông - Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU VÀ SỬ DỤNG BÊ TÔNG NHẹ KẾT CẤU SỬ DỤNG CỐT LIỆU POLYSTYRENE

1.1 Tình hình sử dụng bê tông nhẹ kết cấu

Bê tông nhẹ được sử dụng trong kết cấu xây dựng từ hơn 2.000 năm trước. Những công trình sử dụng bê tông nhẹ được tìm thấy ở nhiều nơi nhưng các công trình sử dụng bê tông nhẹ thời cổ đại chủ yếu tập trung ở khu vực Địa Trung Hải. Các loại bê tông nhẹ được ứng dụng nhiều trong thời cổ đại chủ yếu là bê tông sử dụng cốt liệu nhẹ từ sản phẩm đất sét hoặc đất đá nở phồng. Trong đó, nhiều di tích cho thấy bê tông sử dụng cốt liệu nhẹ đã được sử dụng trong xây dựng các kết cấu chịu lực như cột, sàn của công trình Cảng Cosa, Pantheon Dome, và Đấu trường La Mã.

Ngày nay, triển khai nghiên cứu, áp dụng các loại bê tông đặc biệt phục vụ cho các nhu cầu ngày càng đa dạng của thị trường xây dựng là một xu thế tất yếu của công nghiệp vật liệu xây dựng. Trong số đó, một hướng đi quan trọng, được nhiều nhà nghiên cứu tập trung quan tâm là các vấn đề nghiên cứu và ứng dụng bê tông nhẹ trong các hạng mục phù hợp. Việc nghiên cứu các loại bê tông nhẹ trên cơ sở cốt liệu nhẹ, bê tông nhẹ hộc lớn, bê tông khí, ... đã được triển khai quy mô và gặt hái được nhiều thành tựu đáng kể.

Bê tông nhẹ đã được ứng dụng rộng rãi trên các công trình xây dựng thuộc các lĩnh vực khác nhau. Bê tông nhẹ hiện nay có hai dạng chủ yếu là bê tông cách nhiệt kết cấu và bê tông nhẹ kết cấu. Bê tông cách nhiệt kết cấu có khối lượng thể tích từ 400 kg/m³ đến 900 kg/m³, cường độ chịu nén thường thấp hơn 15 MPa. Bê tông kết cấu có khối lượng thể tích từ thấp hơn 2.000 kg/m³, quy định về mức yêu cầu đối với cường độ chịu nén phụ thuộc tiêu chuẩn liên quan.

Tại Hoa Kỳ, tiêu chuẩn ACI 318-14, ACI 211.2-98 quy định bê tông kết cấu cần có cường độ đặc trưng f'_c không nhỏ hơn 17 MPa. Tại Nga, tiêu chuẩn GOST 25820:2014 quy định cường độ chịu nén tối thiểu của bê tông sử dụng cho kết cấu chịu lực là B12,5. Tại Việt Nam, theo TCVN 5574:2017, cấu kiện bê tông cốt thép chịu lực có thể được thiết kế sử dụng bê tông nhẹ có cấp cường độ chịu nén tối thiểu là B15 với khối lượng thể tích nhỏ hơn 2.000 kg/m³. Các tiêu chuẩn này chỉ có chỉ dẫn cụ thể với việc sử dụng bê tông thường và bê tông cốt liệu nhẹ vô cơ (cốt liệu keramzit, aglopolit...) trong thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt

thép. Do đó, bê tông nhẹ kết cấu sử dụng cốt liệu keramzit được nghiên cứu và ứng dụng khá phổ biến trên thế giới.

Cốt liệu nhẹ keramzit đã được sản xuất thương mại từ năm 1928 và một trong những công trình lớn đầu tiên ứng dụng bê tông keramzit kết cấu là công trình ở khu vực Đông Pennsylvania khởi công năm 1948. Cho đến nay, bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu keramzit đã được nghiên cứu và ứng dụng nhiều trên thế giới mang lại hiệu quả kinh tế kỹ thuật cho các công trình nhà nhiều tầng, cao tầng và cầu đường. Trong nhiều trường hợp, sử dụng bê tông nhẹ là phương án khả thi duy nhất, như ở các công trình cầu đường hay nhà cao tầng trong khu vực nền đất yếu.

Ngành công nghiệp dầu khí tại Mỹ cũng xem bê tông nhẹ là loại vật liệu lý tưởng để chế tạo các công trình nổi ngoài khơi phục vụ sản xuất, khai thác và dịch vụ khác. Để cung cấp các dữ liệu kỹ thuật cần thiết để xây dựng các công trình bằng bê tông ngoài khơi, các công ty dầu khí và các nhà thầu đã đánh giá việc sử dụng bê tông nhẹ có độ bền cao đáp ứng một số yêu cầu thiết kế của họ. Các đánh giá bắt đầu vào đầu những năm 1980 với những kết quả được đưa ra vào năm 1992. Kết quả của nghiên cứu này đã giúp cho các sản phẩm bê tông nhẹ được sử dụng cho nhiều ứng dụng hơn, trong đó có các ứng dụng yêu cầu bê tông có cường độ và độ bền cao.

Từ những năm 1950, những nghiên cứu được tiến hành tập trung chủ yếu vào việc sử dụng cấu trúc của bê tông cốt liệu nhẹ để xây dựng khung, sàn cầu và các sản phẩm đúc sẵn. Nhiều công trình nhiều tầng và công trình cao tầng được thiết kế sử dụng vật liệu nhẹ một cách đồng bộ, tận dụng giảm trọng lượng công trình bằng bê tông nhẹ và các vật liệu nhẹ khác. Ví dụ: tòa nhà Life Prudential 42 tầng ở Chicago, sử dụng sàn bê tông nhẹ và khách sạn Statler Hilton 18 tầng ở Dallas, được thiết kế với khung bê tông nhẹ và sàn bằng phẳng. Những nghiên cứu tiếp theo tập trung nhiều hơn vào việc làm rõ các tính chất của bê tông nhẹ. Tính năng nhẹ của vật liệu bê tông nhẹ được nhấn mạnh cùng hiệu quả tiết kiệm năng lượng của cấu trúc nhẹ.

Liên Xô cũ là nước sử dụng nhiều bê tông keramzit với sản lượng chiếm 30% tổng sản lượng bê tông nhẹ trên thế giới và đạt gần 25 triệu m³/năm. Nước

Nga hiện nay đã sản xuất các loại bê tông nhẹ keramzit chịu lực mác đến 600 dùng trong các kết cấu BTCT ứng lực trước.

Các nước Tây Âu và Mỹ sử dụng bê tông keramzit để chế tạo các cấu kiện đúc sẵn (panel, block, dầm cầu ...) và có xu hướng sử dụng bê tông keramzit mác cao có khối lượng thể tích từ 1600 kg/m^3 đến 1800 kg/m^3 cho các kết cấu chịu lực và BTCT ứng lực trước trong xây dựng dân dụng và công nghiệp, xây dựng cầu đường và thủy lợi. Các nước Châu Á, đặc biệt là Nhật Bản, các nước Mỹ La tinh cũng sử dụng bê tông keramzit ngày càng nhiều với tỉ trọng cao trong ngành sản xuất bê tông xây dựng.

Ở Việt Nam việc nghiên cứu và sản xuất cốt liệu keramzit và bê tông keramzit chưa được chú ý đúng mức. Nguyên liệu để sản xuất keramzit ở nước ta được một số cơ quan của Tổng cục Địa chất thuộc Bộ Công nghiệp nghiên cứu điều tra vào các năm 1975 đến năm 1977. Các kết quả khảo sát thăm dò địa chất cho thấy nguyên liệu để sản xuất keramzit khá dồi dào. Viện Vật liệu xây dựng (Bộ Xây dựng) đã tiến hành nghiên cứu công nghệ sản xuất keramzit và bê tông keramzit nhưng kết quả mới dừng lại ở phạm vi thăm dò thử nghiệm chưa được triển khai áp dụng trong thực tế. Trường Đại học Xây dựng Hà Nội đã có nghiên cứu về việc chế tạo bê tông keramzit trong điều kiện khí hậu nóng ẩm Việt Nam nhưng cũng mới dừng lại ở mặt lý thuyết. Công ty cổ phần thương mại và sản xuất Bemes là cơ sở duy nhất hiện nay đã đầu tư chế tạo sỏi keramzit nhưng chỉ ở quy mô pilot. Sản phẩm sỏi keramzit của Công ty Bemes đã được sử dụng chế tạo bê tông keramzit mác 200 trong một số công trình nhà ở tại Hà Nội, nhà tiền chế vùng bão lụt Nam Trung Bộ, trường học ở Lai Châu nhưng khối lượng còn hạn chế.

Nghiên cứu [7] đã chế tạo bê tông keramzit kết cấu chịu lực có cường độ chịu nén từ 15 MPa đến 30 MPa với khối lượng thể tích trong khoảng từ 1.600 kg/m^3 đến 1.800 kg/m^3 . Đề tài này đã ứng dụng bê tông keramzit trong chế tạo và ứng dụng tấm sàn và dầm. Nghiên cứu tính toán và thí nghiệm khả năng chịu tải của cấu kiện dầm và sàn bê tông keramzit cho thấy đối xử của chúng cũng tương tự như bê tông nặng thông thường. Có thể sử dụng các công thức tính toán và chỉ dẫn quy định trong TCVN 5574 : 1991 đối với bê tông nặng. Tuy nhiên khi tính toán khả năng chịu lực lớn nhất thì nên nhân với hệ số giảm yếu là 0,9.

Nghiên cứu [8] đã cho thấy việc chế tạo bê tông keramzit chịu lực kết cấu và có thể bơm là khả thi. Tác giả của nghiên cứu này cũng đã có các dự án ứng dụng kết quả nghiên cứu vào thi công và bước đầu có được các kết quả khả quan.

Tuy nhiên, trong giai đoạn hiện nay, các nhà máy sản xuất cốt liệu keramzit tại Việt Nam đã ngừng hoạt động. Do đó, việc nguồn cung cốt liệu cho chế tạo bê tông keramzit gặp nhiều khó khăn, đẩy giá thành bê tông lên cao, hạn chế khả năng ứng dụng của sản phẩm.

Bên cạnh việc hoàn thiện, nâng cao hiệu quả các loại bê tông nhẹ truyền thống sử dụng cốt liệu nhẹ là keramzit hay tốp núi lửa, sử dụng cốt liệu có cường độ tương đối cao, các nhà nghiên cứu cũng không ngừng tìm tòi, phát triển các loại bê tông nhẹ mới. Trong đó, bê tông nhẹ, trên cơ sở cốt liệu là cốt liệu EPS, được đánh giá là một hướng đi có nhiều triển vọng.

1.2 Tình hình nghiên cứu và sử dụng cốt liệu polystyrene trong bê tông

1.2.1 Cốt liệu polystyrene phòng nổ

Cốt liệu polystyrene phòng nổ được sử dụng với vai trò là cốt liệu nhẹ làm giảm khối lượng thể tích trong bê tông [2]. Cốt liệu EPS là sản phẩm thu được sau quá trình phòng nổ các hạt polystyrene nguyên liệu ở nhiệt độ thích hợp. Các hạt polystyrene nguyên liệu được chế tạo bằng cách polymer hoá nhũ tương styrol ($C_6H_5-CH=CH_2$) với sự có mặt của tác nhân gây nổ izopentan (C_5H_{12}). Dưới tác động của nhiệt độ thích hợp, tác nhân gây nổ sẽ tăng về thể tích và làm phòng nổ hạt polystyrene nguyên liệu.

Quá trình nổ các hạt polystyrene nguyên liệu có thể diễn ra liên tục hoặc qua một vài giai đoạn. Nếu được nổ liên tục các hạt polystyrene nguyên liệu sẽ đạt kích thước yêu cầu sau quá trình phòng nổ. Theo công nghệ không liên tục, các hạt nguyên liệu được nổ sơ bộ trong công đoạn đầu, sau đó được chuyển qua các công đoạn sau để tiếp tục quá trình phòng nổ đến khi đạt kích thước yêu cầu.

Cốt liệu EPS sử dụng trong chế tạo bê tông không bảo dưỡng bằng biện pháp chung hấp là loại đã được hoàn thành quá trình phòng nổ để có kích thước hạt ổn định. Các hạt cốt liệu này được coi là đã hoàn thành quá trình phòng nổ hoặc không còn khả năng tiếp tục nổ.

Cốt liệu EPS làm cốt liệu cho bê tông thường được phòng nổ bằng hơi nước có nhiệt độ cao trong điều kiện không giới hạn về mặt thể tích nên có dạng hình cầu. Kích thước của các hạt sau khi nổ có thể tăng tới $3,5 \div 5$ lần so với kích thước hạt nguyên liệu ban đầu hay thể tích của chúng có thể tăng từ 42,8 đến 135 lần [29, 37]. Kích thước các hạt thu được phụ thuộc vào kích thước hạt nguyên liệu và chế độ phòng nổ. Kích thước các hạt thu được dưới cùng một điều kiện phòng nổ (phụ thuộc vào công nghệ) là tương đối đồng đều nhau.

Cốt liệu EPS có cấu trúc xốp, gồm các lỗ rỗng chứa khí và vách ngăn polystyrene. Đường kính trung bình của lỗ rỗng từ 0,02 mm đến 0,2mm, chiều dày vách lỗ rỗng từ 0,5 μ m đến 18 μ m. Các lỗ rỗng của hạt cấu tạo bởi các lỗ rỗng kín (từ 88,5 % đến 95,8%) và lỗ rỗng hở (từ 2,2 đến 2,8%) (pha rắn từ 1,4 % đến 9,3%).

Cốt liệu EPS có độ bền hoá cao, không bị phá huỷ trong môi trường kiềm. Đó là yếu tố thuận lợi để sử dụng cốt liệu EPS trong bê tông. Khác với một số hợp chất hữu cơ khác, polystyrene có độ bền thời tiết khá cao, ít bị lão hoá, chúng hầu như không bị biến đổi dưới tác động của tia tử ngoại. Ngoài ra polystyrene bền vững dưới tác động của các tác nhân gây ăn mòn vi sinh. Đồng thời, cốt liệu EPS cũng không tạo ra môi trường thuận lợi cho sự phát triển của vi khuẩn và nấm. Đây là một yếu tố quan trọng khiến cho việc ứng dụng loại cốt liệu này đảm bảo độ bền cao và một môi trường vệ sinh cho người sử dụng.

Cốt liệu EPS có khả năng biến dạng đàn hồi cao. Khi bị nén cốt liệu EPS không thể hiện rõ ràng giới hạn bền nén và không xảy ra sự phá hoại giòn. Do đó giá trị giới hạn bền nén của cốt liệu EPS thường được xác định bằng giá trị áp lực nén tương ứng với giá trị biến dạng cho trước. Các nghiên cứu [7, 15, 16], cho thấy cường độ cốt liệu EPS tỷ lệ thuận với khối lượng thể tích của chúng.

Mặt khác, cốt liệu EPS không độc, không thải ra chlorofluorocarbon (CFC), hydro chlorofluorocarbon (HCFC) và formaldehyde, là những chất có khả năng gây hại cho môi trường và người sử dụng. Cốt liệu EPS không tạo ra khí nhà kính, không gây ô nhiễm không khí, nước hoặc hệ sinh thái.

Bên cạnh đó, nghiên cứu [37, 59] kiểm tra nguyên thiên nhiên so với các sản phẩm tương tự ví dụ hạt keramzit hay đá tốp phòng nổ. Bên cạnh đó, cốt liệu EPS là vật liệu có thể tái chế được, không gây lãng phí rác thải. Đã có những

nghiên cứu sử dụng phế thải polystyrene định hình để tạo ra cốt liệu EPS tái chế và sử dụng cốt liệu tái chế này trong bê tông.

Như vậy, với khối lượng thể tích nhỏ, độ bền hóa cao, cốt liệu EPS có thể sử dụng như một loại cốt liệu nhẹ đầy tiềm năng để chế tạo bê tông nhẹ.

Cốt liệu EPS có dạng hình cầu chuẩn có cấu trúc xốp bên trong và bề mặt hạt trơn nhẵn. Do cấu thành bởi phần lớn các lỗ rỗng kín nên cốt liệu EPS hầu như không thấm nước. Do cốt liệu EPS hầu như không hút nước nên các tính năng của nó không thay đổi ngay cả khi nó trực tiếp tiếp xúc với nước. Do đó, khác với các loại cốt liệu nhẹ khác như keramzit hay aglopolit, vốn là loại cốt liệu nhẹ có đặc điểm hút nước mạnh, sự có mặt của polystyrene phòng nổ trong bê tông không làm thay đổi lượng nước tự do, cũng như tỷ lệ nước trên xi măng của bê tông nền. Cốt liệu EPS không tương tác về mặt hoá học với bê tông nền mà chỉ làm giảm khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông. Tuy nhiên, sự có mặt của polystyrene phòng nổ với mô đun đàn hồi thấp cũng có ảnh hưởng nhất định đến các tính chất vật lý, cơ lý, biến dạng,... của bê tông nền.

Có thể coi bê tông polystyrene là hệ vật liệu composit mà ở đó cốt liệu EPS được phân bố đều trong pha nền là bê tông nặng thông thường hoặc vữa. Trong đó, cốt liệu EPS được đưa vào nhằm biến tính pha nền theo hướng làm giảm khối lượng thể tích và qua đó cũng làm thay đổi các tính chất khác của hỗn hợp bê tông và bê tông.

1.2.2 Nghiên cứu và sử dụng cốt liệu polystyrene phòng nổ trong bê tông

a, Các nghiên cứu trên thế giới

Theo các thông tin tổng hợp trong các công trình nghiên cứu đã công bố [7] thì những nghiên cứu đầu tiên về bê tông polystyrene được tiến hành vào giữa thập niên 70 của thế kỷ XX tại Newzealand, tiếp đến là Liên Xô cũ và Pháp.

Những nghiên cứu đầu tiên về bê tông polystyrene ở Liên Xô cũ và Pháp,... được tiến hành vào cuối các năm 80 đầu 90. Các nghiên cứu ứng dụng cốt liệu EPS trong bê tông tại các nước được tiến hành theo các hướng khác nhau và là cơ sở cho việc phát triển và ứng dụng rộng rãi loại bê tông mới này trong xây dựng. Cho đến nay bê tông polystyrene đã được ứng dụng trong lĩnh vực xây dựng ở nhiều nước trên thế giới như LB Nga, CH Pháp, CH Séc, CH Italia, LB Đức...

Tại LB Nga, sau khi quyết định số 18-81 của Bộ Xây dựng Nga có hiệu lực, qui định các thiết kế mới cho các công trình phải tuân theo SniP II-3-79 với yêu cầu cao hơn về hệ số cản truyền nhiệt của công trình, nhu cầu về vật liệu cách nhiệt hiệu quả cho nhà và công trình trở nên rất cấp thiết. Nghiên cứu về bê tông polystyrene được xem như một hướng đi có nhiều triển vọng đã được Viện nghiên cứu toàn liên bang về bê tông cốt thép tiến hành từ cuối những năm 80.

Các nghiên cứu tại LB Nga chủ yếu tập trung vào bê tông polystyrene có khối lượng thể tích trong phạm vi từ 150 kg/m^3 đến 600 kg/m^3 với cốt liệu EPS kích thước tới 20 mm và đã ban hành tiêu chuẩn kỹ thuật quốc gia GOST P 51263-99. Tiêu chuẩn này qui định các yêu cầu kỹ thuật đối với bê tông và hỗn hợp bê tông trên cơ sở cốt liệu EPS. Theo đó, mác bê tông polystyrene có khối lượng thể tích từ D150 đến D650 có mác theo cường độ chịu nén từ M2 đến M5, phân loại theo cường độ chịu nén từ B0,5 đến B2,5 và hệ số dẫn nhiệt ở trạng thái khô từ $0,055 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ đến $1,45 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$. Tiêu chuẩn này là cơ sở pháp lý để áp dụng rộng rãi bê tông polystyrene trong lĩnh vực xây dựng tại LB Nga.

Hiện nay tại LB Nga bê tông polystyrene được sử dụng để chế tạo các tấm cách nhiệt, các lớp cách nhiệt mái dể tại chỗ, sử dụng làm lớp cách nhiệt trong các panel ba lớp đúc sẵn, làm các khối xây block và vách ngăn tường ngoài, sử dụng làm các lớp lót cách nhiệt. Để phục vụ cho việc thi công tại công trường các nhà sản xuất đã giới thiệu một số tổ hợp máy trộn, bơm bê tông đặc chủng dùng riêng cho hỗn hợp bê tông polystyrene. Các nghiên cứu nhằm giảm giá thành, nâng cao cường độ cũng như độ bền cho bê tông polystyrene không ngừng được triển khai để nâng cao hiệu quả kinh tế kỹ thuật của việc sử dụng loại vật liệu này.

Các nghiên cứu về bê tông nhẹ trên cơ sở cốt liệu EPS tại Pháp với thương hiệu Polys Beto được tiến hành từ những năm 80. Điểm đặc biệt của Polys Beto là sử dụng cốt liệu EPS đã qua công đoạn xử lý bề mặt đặc biệt (đã được cấp paten) bao gồm việc bao phủ bề mặt hạt cốt liệu bằng một lớp ưa nước và làm cho chúng tích điện trái dấu với hạt xi măng. Sau khi xử lý các hạt cốt liệu này (có tên gọi AABS) sẽ dễ dàng nhào trộn với xi măng, nước và phụ gia tạo hỗn hợp bê tông có độ đồng nhất cao. Tùy thuộc vào chế độ xử lý, Polys Beto giới thiệu một vài chủng loại cốt liệu phục vụ cho các mục đích khác nhau.

Polys Beto khuyến cáo một số cấp phối bê tông nhẹ trên cơ sở xi măng CPA 55 có khối lượng thể tích 500 kg/m^3 với cường độ 27 kg/cm^2 , độ dẫn nhiệt

0,14 W/(m.°C) và 1.200 kg/m³ (sử dụng cát 0 - 3mm) với cường độ 40 kg/cm², độ dẫn nhiệt 0,39 W/(m.°C).

Bê tông trên cơ sở cốt liệu AABS được sử dụng rộng rãi trong xây dựng dân dụng làm lớp lán nền, lớp cách nhiệt cho sàn, mái, tường, được dùng chế tạo các tấm panel đúc sẵn, dùng để chèn đầy khuôn theo công nghệ 3D. Chúng còn được dùng làm lớp lót, lớp đắp cho đường, làm bê tông chống rung, bê tông trang trí, làm lớp lót và cách nhiệt cho các đường ống ngầm. Trong quân sự AABS được sử dụng làm các khối block hoặc tấm panel bảo vệ các chất cháy, nổ.

Theo các số liệu của Polys Beto, hàng năm riêng tại Pháp có khoảng 80.000m³ sản phẩm được sản xuất và ứng dụng theo các paten của hãng.

Công nghệ xử lý cốt liệu nhẹ polystyrene tại CH Séc được lấy tên là Prostyren. Công nghệ này cho phép xử lý các hạt nguyên liệu mới phòng nổ hoặc polystyrene phế thải đã được nghiền nhỏ. Công nghệ này không những giúp làm hạ giá thành cốt liệu nhẹ polystyrene mà còn có ý nghĩa rất lớn trong việc xử lý các phế thải (bao bì, tấm kê,... từ polystyrene) giúp bảo vệ môi trường.

Bê tông nhẹ trên cơ sở prostyrene có một số thông số kỹ thuật như sau (theo cấp phối của nhà sản xuất) khối lượng thể tích từ 200 kg/m³ đến 1.150 kg/m³, cường độ chịu nén từ 0,4 MPa đến 4,6 MPa, độ dẫn nhiệt từ 0,057 W/(m.°C) đến 0,297 W/(m.°C).

Tại CH. Séc Prostyren cũng được sử dụng vào mục đích cách nhiệt cho mái, tường, sàn trong xây dựng dân dụng và công nghiệp. Ngoài ra Prostyren còn được dùng cách nhiệt cho các hệ đường ống cấp, thoát nước và để sản xuất các cấu kiện đúc sẵn.

Ngoài ra bê tông nhẹ trên cơ sở polystyrene cũng được sử dụng rộng rãi ở LB Đức (Styrobeton) ở Italy (Izotego) và nhiều nước khác.

Trong khoảng 20 năm trở lại đây cùng với sự phát triển của các quốc gia công nghiệp mới như Nhật Bản, Hàn Quốc, Ấn Độ, Trung Quốc, Đài Loan... thì các nghiên cứu ứng dụng của các quốc gia này trên lĩnh vực nghiên cứu về bê tông polystyrene cũng xuất hiện nhiều.

Trong số các nghiên cứu về bê tông sử dụng cốt liệu cốt liệu EPS thì nhiều nghiên cứu tập trung làm rõ chức năng cách nhiệt nên chỉ tập trung nghiên cứu chế tạo và ứng dụng bê tông nhẹ có khối lượng thể tích dưới 1.300 kg/m³ và cường độ chịu nén không lớn hơn 15 MPa. Vì tập trung vào tính cách nhiệt của vật liệu

nhẹ nên các nghiên cứu này cũng tập trung làm rõ ảnh hưởng của các thành phần vật liệu đến hệ số dẫn nhiệt.

Gần đây, cùng với những yêu cầu đa dạng của các kết cấu công trình thì công dụng cách âm, cách nhiệt của các vật liệu nhẹ sử dụng cho kết cấu chịu lực cũng rất được quan tâm. Nghiên cứu [2] sử dụng bê tông nền có cường độ chịu nén đến 150 MPa để chế tạo bê tông nhẹ cốt liệu EPS. Cốt liệu nhẹ được sử dụng là các loại cốt liệu EPS có kích thước hạt trung bình là 1,1mm và 2,2 mm. Nghiên cứu này chú trọng đến việc nghiên cứu đặc trưng cấu trúc và tính chất nhiệt của bê tông nhẹ. Do đó, các cấp phối bê tông nhẹ được công bố nằm trong khoảng khối lượng thể tích từ 500 kg/m³ đến 1.000 kg/m³. Với khối lượng thể tích bê tông nhẹ là 1.100 kg/m³, nhóm tác giả đã chế tạo được bê tông nhẹ có cường độ chịu nén đạt 5 MPa và hệ số dẫn nhiệt 0,4 W/m.K .

Bên cạnh đó, nhiều nhóm tác giả khác cũng đã nghiên cứu làm rõ ảnh hưởng của các thành phần vật liệu chế tạo đến tính chất bê tông nhẹ có khối lượng thể tích dưới 1.300 kg/m³. Các nghiên cứu đã tiến hành theo hướng làm rõ các tính chất của bê tông nhẹ cốt liệu EPS đều thống nhất rằng, cường độ chịu nén của bê tông nhẹ cốt liệu EPS tỷ lệ nghịch với hạt cốt liệu nhẹ và khối lượng thể tích của bê tông. Nhiều nghiên cứu đã được thực hiện và đã xây dựng được mô hình dự đoán và đánh giá chất lượng bê tông nhẹ [3].

Gần đây, cùng với sự phát triển của các loại bê tông tính năng cao, các loại phụ gia cho bê tông, đồng thời là nhu cầu rõ rệt của thị trường vật liệu xây dựng về một phương án tổng thể cho công trình xanh, vừa đáp ứng yêu cầu về tiết kiệm năng lượng, vừa giảm chi phí xây lắp thì các nhóm nghiên cứu, các nhà sản xuất đã quan tâm hơn tới loại bê tông nhẹ kết cấu.

Các nghiên cứu [4, 5, 6] đã nghiên cứu ảnh hưởng của việc sử dụng tro bay trong thành phần của bê tông nhẹ cốt liệu EPS. Sự có mặt của tro bay làm giảm lượng nước yêu cầu của hỗn hợp bê tông, tăng cường độ tuổi dài ngày, giảm khối lượng thể tích của bê tông. Nghiên cứu [14] sử dụng chất kết dính là xi măng phù hợp với tiêu chuẩn ASTM loại I và tro bay F. Bê tông được thiết kế theo ACI-211.2. Các cấp phối bê tông polystyrene được thiết kế với việc thay thế tro bay chiếm 50% tổng khối lượng của xi măng. Bê tông nhẹ được thiết kế với khối lượng thể tích dao động từ 550 đến 2.200 kg/m³ với việc thay thế EPS tương ứng

của tổng thể tích đến 65%. Nghiên cứu này cũng viện dẫn khuyến cáo của [35], về yêu cầu đối với bê tông kết cấu cần có cường độ chịu nén tối thiểu ở mức 17 MPa. Theo đó, nghiên cứu đã chế tạo được bê tông cốt liệu EPS đạt 17 MPa với khối lượng thể tích khoảng 1.800 kg/m³. Nghiên cứu này cũng làm rõ ảnh hưởng của tro bay và hạt cốt liệu nhẹ đến mô đun đàn hồi của bê tông. Theo đó, các giá trị của mô đun đàn hồi tăng lên cùng với sự gia tăng sức nén và giảm với sự gia tăng về khối lượng phần trăm của hạt cốt liệu nhẹ. Mặt khác, nghiên cứu [4, 6] cũng đưa ra kết luận rằng cốt liệu EPS khi chế tạo bị nén lại dẫn đến khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông cao hơn một chút so với khối lượng thể tích thiết kế khoảng 50-100 kg/m³. Hiệu quả này nhiều hơn trong các hỗn hợp chứa cốt liệu thô thông thường. Đây là một lưu ý cần ghi nhận trong việc tính toán thiết kế và nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ cốt liệu EPS. Bên cạnh đó, nghiên cứu [4] cho thấy bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu EPS có khả năng kháng hóa chất tốt hơn. Độ thấm clo của bê tông này thấp hơn từ 50% đến 65% so với bê tông thường có tỷ lệ xi măng nước tương tự.

Trong khi đó, nghiên cứu [9, 14] đánh giá ảnh hưởng của silicafume đến sự phát triển cường độ chịu nén, lực nhổ cốt thép trong bê tông và một số tính chất của bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu EPS như khả năng chống ăn mòn. Các cấp phối thí nghiệm được thiết kế với lượng sử dụng silicafume tương ứng là 3%, 5%, 9%. Khối lượng thể tích hỗn hợp bê tông trong khoảng từ 1.500 kg/m³ đến 2.000 kg/m³, cường độ chịu nén đạt được là từ 10 MPa đến 21 MPa. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy việc sử dụng silicafume trong chế tạo bê tông nhẹ cốt liệu EPS đã làm tăng cường độ tuổi sớm ngày của bê tông. Nghiên cứu cũng đưa ra kết luận rằng bê tông nhẹ kết cấu có mức khối lượng thể tích và cường độ chịu nén đã nêu thì có khả năng chống thấm, chống ăn mòn, khả năng chống thấm ion clo đạt hiệu quả tốt.

Trong các nghiên cứu [4, 6], các cấp phối bê tông nhẹ đều được so sánh với cấp phối đối chứng có cường độ chịu nén tại tuổi 28 ngày đạt mức cường độ chịu nén M40, khối lượng thể tích từ 2.400 kg/m³ đến 2.500 kg/m³. Để bê tông nhẹ đạt mức cường độ từ 17 MPa đến 18MPa, khối lượng thể tích bê tông nhẹ nằm trong khoảng từ 1.800 kg/m³ đến 1.900 kg/m³. Nói cách khác, khi bổ sung lượng cốt liệu nhẹ là cốt liệu EPS vào thành phần của bê tông thì tương ứng với việc giảm khoảng 25% khối lượng, cường độ chịu nén của bê tông nhẹ giảm khoảng 40%.

Do đó, một trong các biện pháp để nâng cao cường độ chịu nén của bê tông nhẹ đó là nâng cao cường độ chịu nén của bê tông nền.

Sự phát triển của các loại phụ gia, đặc biệt là phụ gia hóa học, giúp nâng cao cường độ và tính công tác của bê tông là một điều kiện tốt để nâng cao chất lượng bê tông nhẹ, trong đó có cường độ chịu nén. Nhờ đó, cường độ của bê tông nhẹ đã có thể được nâng cao đáng kể so với thời kỳ trước. Một số nhóm tác giả đã sử dụng bê tông nền có cường độ chịu nén 100-150 MPa [2, 11].

Nghiên cứu [2, 4, 6] đã nghiên cứu việc phối hợp các cỡ hạt của cốt liệu EPS nhằm tạo nên cấu trúc tốt hơn cho bê tông nhẹ cốt liệu EPS. Nghiên cứu [10] tiến hành trên các cấp phối bê tông nhẹ có khối lượng thể tích là 1200, 1.400, 1600, 1.800, 2000 kg/m³. Cốt liệu EPS lần lượt là các loại có đường kính là 1 mm, 2,5 mm, 6,3 mm. Bê tông nền là bê tông hạt mịn có cường độ chịu nén là 150 MPa. Nghiên cứu đã cho thấy ảnh hưởng của kích thước cốt liệu EPS đến cường độ chịu nén của bê tông nhẹ là rất rõ ràng đối với bê tông có khối lượng thể tích thấp và không đáng kể cho bê tông khối lượng thể tích cao. Như vậy, trong chế tạo bê tông nhẹ kết cấu có khối lượng thể tích trong khoảng từ 1.500 kg/m³ đến 2.000 kg/m³ thì vấn đề lựa chọn kích thước cho hạt nhẹ không có nhiều ảnh hưởng đến cường độ chịu nén của bê tông.

Mặc dù sử dụng bê tông nhẹ cốt liệu EPS trên thế giới mới chỉ được triển khai trong khoảng 35 năm gần đây nhưng loại bê tông này đã chứng minh được những thế mạnh của mình như một loại vật liệu nhẹ có hiệu quả cao cho các công trình xây dựng.

b, Các nghiên cứu tại Việt Nam

Tại Việt Nam, cho đến những năm 1990 bê tông nhẹ nói chung chưa nhận được sự quan tâm nghiên cứu thích đáng và chưa được ứng dụng thực tế rộng rãi. Nguyên nhân chủ yếu là do trình độ phát triển của ngành và nhu cầu, nhận thức của người sử dụng nói chung còn hạn chế.

Trong thời gian hơn 10 năm trở lại đây nhu cầu về bê tông nhẹ đã xuất hiện và ngày càng tăng cao. Trong bối cảnh đó, các nghiên cứu về bê tông nhẹ trên cơ sở cốt liệu EPS đã được tiến hành ở một số đơn vị như ĐH Xây dựng, Viện KHCN Xây dựng, Đại học Bách Khoa thành phố Hồ Chí Minh...

Nghiên cứu [7] đã nghiên cứu chế tạo và ứng dụng bê tông polystyrene có khối lượng thể tích từ 400 kg/m^3 đến 700 kg/m^3 , cường độ chịu nén trong khoảng từ 1 MPa đến 5 MPa. Các cấp phối bê tông nhẹ được chế tạo dựa trên cấp phối bê tông nền có cường độ chịu nén trong khoảng 40-55 MPa. Nghiên cứu này đã đánh giá khả năng sử dụng cốt liệu EPS như một loại cốt liệu cho bê tông, đưa ra các phương pháp thí nghiệm thích hợp. Cụ thể là nghiên cứu này đã đề xuất phương pháp thí nghiệm xác định khối lượng thể tích và độ rỗng của cốt liệu EPS. Nghiên cứu đã xác định các tính chất của hỗn hợp bê tông polystyrene và bê tông polystyrene, trong đó có phương pháp tính toán cấp phối bê tông polystyrene. Khi làm rõ tính chất của hỗn hợp bê tông nhẹ, đề tài đã phân tích và cho thấy phương pháp thí nghiệm xác định tính công tác của hỗn hợp bê tông nhẹ có khối lượng thể tích nhỏ bằng côn thử độ sụt, như với hỗn hợp bê tông thông thường, là không phù hợp. Mặt khác, nghiên cứu đã cho thấy cường độ bám dính của cốt thép trong bê tông nhẹ cốt liệu EPS có khối lượng thể tích nhỏ hơn 700 kg/m^3 không tuân theo quy luật thường thấy như bê tông nặng. 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 chịu nén của bê tông polystyrene có khối lượng thể tích thấp nên ưu tiên tăng hệ số dư hồ. Nghiên cứu đã xây dựng công nghệ sản xuất các sản phẩm tấm từ bê tông polystyrene và ứng dụng các sản phẩm bê tông đúc sẵn này vào công trình. Tuy nhiên, nghiên cứu thực hiện tại Viện KHCN Xây dựng này chỉ làm rõ các tính chất của bê tông nhẹ cốt liệu EPS loại cách nhiệt.

Nghiên cứu [9] đã nghiên cứu chế tạo panel dạng sandwich sử dụng bê tông nhẹ cốt liệu EPS có khối lượng thể tích không lớn hơn 1.300 kg/m^3 , cường độ chịu nén 4-6 MPa. Cốt liệu nhẹ polystyrene sử dụng trong nghiên cứu là các hạt được nghiền từ phế thải bao bì polystyrene đến cỡ hạt nhỏ hơn 5mm. Sản phẩm panel nhẹ được xây dựng các quy trình chế tạo và thi công lắp đặt để tăng tính ứng dụng thực tế.

Nghiên cứu [10] đã chế tạo bê tông nhẹ cốt liệu EPS trên cơ sở nâng cao cường độ chịu nén của bê tông nền và hình thành cấu trúc rỗng tối ưu cho bê tông nhẹ tạo rỗng bằng cốt liệu EPS để hướng đến việc chế tạo các panel tường, panel sàn, panel mái nhẹ đạt các yêu cầu kỹ thuật sử dụng cho công trình nhà ở lắp ghép.

Kết quả nghiên cứu cho thấy đã chế tạo được bê tông nhẹ có khối lượng thể tích từ 875 kg/m^3 đến 1.150 kg/m^3 và cường độ chịu nén từ 7, MPa đến 15 MPa cho phép sản xuất panel tường, chế tạo được bê tông polystyrene có khối lượng thể tích 1.275 kg/m^3 và cường độ chịu nén đến 20 MPa cho phép sản xuất panel sàn. Trong nghiên cứu này, bê tông nhẹ kết cấu đã được đề cập và được khảo sát ảnh hưởng của thành phần hạt nhẹ đến khối lượng thể tích và cường độ chịu nén nhưng các tính chất khác thì chưa được làm rõ.

Như vậy, bê tông polystyrene tại Việt Nam nhìn chung vẫn chủ yếu được nhìn nhận là loại vật liệu nhẹ đáp ứng yêu cầu cách nhiệt, làm các kết cấu bao che và tấm lắp ghép cho nhà không kiên cố. Hiện nay, việc mở rộng ứng dụng các sản phẩm này trong các công trình xây dựng còn nhiều hạn chế.

Trong việc nghiên cứu và ứng dụng các sản phẩm bê tông nhẹ nói chung, bê tông polystyrene nói riêng, việc bổ sung các phương pháp thí nghiệm và đánh giá phù hợp với bản chất vật liệu rất cần được quan tâm.

Hiện nay, tại Việt Nam, ứng dụng bê tông nhẹ kết cấu là một nhu cầu thực tế rất được quan tâm, đặc biệt là các đơn vị thiết kế, các nhà máy sản xuất ... Nhưng việc nghiên cứu chế tạo, làm rõ những đặc trưng tính chất của loại vật liệu này còn chưa tương ứng. Các nghiên cứu đã thực hiện trong nước [7, 9, 10] chủ yếu hướng tới các sản phẩm bê tông polystyrene cách nhiệt kết cấu. Đây là nhóm sản phẩm mà khối lượng thể tích và khả năng cách nhiệt là các yêu cầu cơ bản. Các nghiên cứu về bê tông polystyrene kết cấu chịu lực, khối lượng thể tích trong khoảng 1.400 kg/m^3 đến 2.000 kg/m^3 , cường độ chịu nén lớn hơn 20 MPa, đáp ứng yêu cầu của bê tông cho kết cấu chịu lực, còn chưa đầy đủ. Vẫn còn tồn tại những vấn đề cần giải quyết về lý thuyết, công nghệ bê tông cũng như danh mục, phạm vi áp dụng các sản phẩm. Các mối tương quan, ảnh hưởng của thành phần vật liệu, tính chất bê tông nền đến tính chất của bê tông polystyrene còn chưa được lượng hóa rõ ràng. Do đó, nghiên cứu một cách hệ thống các tính chất của bê tông polystyrene kết cấu là cần thiết nhằm tạo cơ sở khoa học để tính toán thiết kế kết cấu và ứng dụng sản phẩm trong thực tế.

1.3 Yêu cầu kỹ thuật đối với bê tông polystyrene kết cấu

1.3.1 Yêu cầu đối với hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu

a. Tính công tác

Tính công tác là chỉ tiêu tính chất quan trọng nhất của hỗn hợp bê tông, nó đánh giá khả năng dễ chảy của hỗn hợp bê tông dưới tác dụng của trọng lượng bản thân hoặc rung động. Tính công tác của bê tông polystyrene trong đề tài được biểu thị thông qua độ chảy trong ống suttat và độ sụt của hình nón cụt hỗn hợp bê tông.

Cũng như bê tông thông thường, tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene phụ thuộc lớn vào lượng nước trộn, tỷ lệ nước – chất kết dính, kích thước hạt, mô đun độ lớn và thành phần hạt của cốt liệu. Theo [8], với bê tông nhẹ, do có khối lượng thể tích thấp hơn bê tông thông thường và cốt liệu nhẹ có xu hướng dịch chuyển lên trên hỗn hợp làm hạ thấp trọng tâm của hỗn hợp, làm giảm thể năng ban đầu của khối bê tông nên độ chảy và vận tốc chảy của hỗn hợp sẽ thấp hơn so với hỗn hợp bê tông thường có cùng độ nhót.

Tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene cũng chịu ảnh hưởng của rất nhiều yếu tố như lượng nước nhào trộn, hệ số dư vữa K_d .

Lượng nước nhào trộn bao gồm nước tham gia phản ứng thủy hóa với xi măng, nước hấp thụ vào cốt liệu phụ thuộc vào tính chất bề mặt cốt liệu và nước tự do. Tăng lượng nước trộn làm tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông và giảm khối lượng thể tích, đồng thời giảm cường độ chịu nén.

Nếu trong hỗn hợp bê tông có một lượng hỗn hợp vữa đủ để bao bọc các hạt cốt liệu và lấp đầy phần rỗng cốt liệu để đẩy xa các hạt cốt liệu ra (K_d tăng) làm cho các hạt cốt liệu ít có cơ hội tiếp xúc với nhau, lực ma sát khô sẽ giảm, tính lưu động của hỗn hợp sẽ tăng, nếu lượng hỗn hợp vữa ít (K_d giảm), lực ma sát khô tăng, hỗn hợp sẽ kém lưu động.

Vậy để tăng tính công tác cho hỗn hợp bê tông polystyrene thì có thể tăng hệ số dư vữa K_d và tỷ lệ N/X. Nhưng việc tăng tỷ lệ N/X sẽ dẫn đến giảm cường độ chịu nén của bê tông polystyrene. Mặt khác, cốt liệu EPS có khối lượng thể tích rất nhỏ, nên khi tăng N/X, cốt liệu EPS rất dễ nổi lên trên hỗn hợp tạo ra hiện

tượng phân tầng. Vì vậy, đề tài đã sử dụng thêm phụ gia siêu dẻo để làm giảm lượng nước trong hỗn hợp mà vẫn giữ được tính công tác yêu cầu.

b. Độ phân tầng

Khi chế tạo bê tông nhẹ nói chung và bê tông sử dụng hạt polystyrene nói riêng, một trong những vấn đề quan trọng nhất thiết phải giải quyết đó là sự phân tầng tách lớp. Do các hạt cốt liệu nhẹ hơn so với phần vữa nên có xu hướng nổi lên trên bề mặt hỗn hợp ảnh hưởng trực tiếp tới chất lượng bê tông.

Chuyển động của cốt liệu nhẹ trong hỗn hợp bê tông có thể được mô tả theo phương trình Stock (1).

$$v = 2 \cdot r^2 \cdot (\rho_n - \rho_{cl}) \cdot \frac{g}{9 \cdot \eta} \quad (1)$$

Phân tích phương trình Stock (1) có thể thấy rằng để giảm phân tầng trong hỗn hợp bê tông, có thể giảm kích thước cỡ hạt của cốt liệu nhẹ, giảm chênh lệch về khối lượng thể tích của pha nền và cốt liệu nhẹ hoặc tăng độ nhớt của hồ xi măng.

Việc sử dụng cốt liệu nhẹ hạt nhỏ sẽ làm giảm đáng kể vận tốc nổi lên của hạt bởi sự phụ thuộc bậc hai của vận tốc (v) vào bán kính hạt. Mặt khác cùng với nguồn gốc cốt liệu, khi kích thước hạt giảm thì khối lượng thể tích hạt sẽ tăng lên nên $\Delta\rho$ sẽ giảm, do đó vận tốc dịch chuyển của vận tốc (v) của cốt liệu nhẹ giảm. Tuy nhiên, việc sử dụng cốt liệu EPS với khối lượng thể tích lớn và kích thước hạt nhỏ cũng làm tăng chi phí vật liệu chế tạo bê tông.

Để giảm $\Delta\rho$ thì việc giảm khối lượng thể tích của hồ chất kết dính trong bê tông cốt liệu nhẹ là điều cần phải quan tâm vì tỷ lệ pha nền trong bê tông polystyrene kết cấu thì mật độ thể tích bê tông nền khá lớn. Về nguyên tắc, có thể thực hiện giải pháp sau để giảm $\Delta\rho$

- Sử dụng khoáng phụ gia mịn thay thế cho một phần xi măng. Cần lựa chọn loại phụ gia khoáng và tính toán hàm lượng cụ thể để không ảnh hưởng đến cường độ sản phẩm yêu cầu. Trong nhiều trường hợp sử dụng phụ gia khoáng phù hợp còn mang lại nhiều ưu điểm về tính chất cơ lý và độ bền cho bê tông cốt liệu nhẹ.

- Sử dụng phụ gia cuốn khí hoặc chất tạo bọt để tạo cấu trúc rỗng cần thiết cho pha nền. Hàm lượng khí cuốn vào bê tông cốt liệu nhẹ chịu lực có thể đạt 6-8% mà không ảnh hưởng đáng kể đến cường độ sản phẩm. Xuất phát từ điều kiện này nên trong thực tế, việc sử dụng phụ gia cuốn khí, hoặc phụ gia tổng hợp vừa giảm nước vừa cuốn khí, mang tính khả thi và thuận lợi hơn nhiều so với việc sử dụng phụ gia tạo bọt. Bọt khí với hàm lượng phù hợp và kích thước nhỏ không những giảm phân tầng, giảm khối lượng thể tích và hệ số truyền nhiệt cho bê tông mà còn làm tăng tính công tác và đặc trưng nhót dẻo của hồ xi măng.

Độ nhót η của hồ xi măng tăng lên sẽ làm giảm hiện tượng phân tầng trong hỗn hợp bê tông. Tuy nhiên khi đó độ chảy của vữa bê tông cũng sẽ giảm do ứng suất cắt trong hỗn hợp vật liệu tăng lên. Đặc trưng lưu biến của hồ chất kết dính phụ thuộc nhiều yếu tố : loại xi măng, loại và hàm lượng phụ gia, trị số N/X. Đối với mỗi loại xi măng nhất định, cần phải lựa chọn và tính toán lại phụ gia khoáng, phụ gia giảm nước, phụ gia biến tính độ nhót và tỷ lệ N/X để vữa bê tông có độ nhót đủ nhỏ, và đảm bảo được tính công tác, tính lên kết nội bộ đủ lớn để hạn chế phân tầng tách nước tách cốt liệu.

1.3.2 Yêu cầu đối với bê tông polystyrene kết cấu

a. Cường độ chịu nén

Đối với bê tông cốt liệu nhẹ nói chung, các nghiên cứu [7, 8, 37] đã chỉ ra mối quan hệ ảnh hưởng của thành phần và cấu trúc của các pha đến cường độ chịu nén và khối lượng thể tích của bê tông nhẹ cốt liệu nhẹ.

Xét các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ pha nền, thành phần chịu lực chính trong bê tông polystyrene, có thể thấy rằng ba yếu tố ảnh hưởng đến cường độ của pha nền là cường độ của hồ xi măng, bản chất liên kết giữa hồ xi măng- cốt liệu và chất lượng của cốt liệu.

Tài liệu [13, 51] đã cho rằng cường độ chịu nén của bê tông chịu ảnh hưởng không chỉ của cường độ chịu nén của bê tông nền hay vữa nền mà còn của cốt liệu sử dụng. Vì thế, đối với bê tông cốt liệu đá đặc chắc, cường độ cốt liệu khá cao, thường vượt qua cường độ yêu cầu của bê tông và khi đó liên kết giữa đá xi măng và hạt cốt liệu đóng vai trò quan trọng. Tương tự, xét ảnh hưởng của cốt liệu nhỏ với cường độ vữa (vữa xi măng cát), cường độ của cốt liệu nhỏ (cát tự nhiên hay

cát nghiền) cũng lớn hơn nhiều so với cường độ vữa nên sự gắn kết giữa hạt cát với hồ xi măng cũng vô cùng quan trọng. Cường độ liên kết này phụ thuộc vào hình dạng, trạng thái bề mặt, lượng tạp chất sét, bụi làm cản trở sự tiếp xúc giữ cốt liệu với đá xi măng. Cùng một loại đá gốc, cát có kích thước hạt nhỏ (khối lượng thể tích lớn) sẽ có cường độ cao hơn so với cát có kích thước hạt lớn hơn (khối lượng thể tích nhỏ), cát sạch có tạp chất sét, bụi ít hơn thì khả năng liên kết với đá xi măng sẽ tốt hơn, làm cho hai thành phần ấy trong vữa làm việc cùng nhau tốt hơn trong mọi trường hợp chịu tải và cường độ vữa xi măng sẽ lớn hơn. Hàm lượng cát trong vữa xi măng cũng ảnh hưởng đến cường độ chịu nén của vữa. Với cường độ của thành phần cát lớn hơn cường độ thành phần đá xi măng, khi tăng hàm lượng cát trong vữa tạo khả năng tiếp xúc nhiều hơn giữa các hạt, cường độ vữa sẽ tăng so với khi có hàm lượng cát ít hơn nhưng khi tăng đến quá giới hạn nhất định nào đó, lượng hồ xi măng không đủ bao bọc các hạt cát, khi đó sẽ làm giảm cường độ của vữa.

Tỷ lệ N/X quyết định độ đặc chắc cũng như cường độ của vữa. Tỷ lệ N/X tăng, cường độ vữa giảm do lượng nước sau quá trình thủy hóa xi măng sẽ tồn tại tự do chiếm một phần thể tích trong hỗn hợp, sau khi đóng rắn lượng nước này sẽ bay hơi và để lại lỗ rỗng trong khối vữa làm tăng độ rỗng, giảm cường độ vữa. Tỷ lệ N/X giảm, cường độ vữa tăng nhưng giảm quá một giới hạn nhất định thì cường độ vữa cũng giảm do không đủ lượng nước cho quá trình thủy hóa xi măng.

Xét đến thành phần cốt liệu trong bê tông polystyrene là cốt liệu EPS, có vai trò làm giảm khối lượng thể tích của bê tông và tạo rỗng trong khối bê tông nhưng hầu như không tham gia vào quá trình chịu tải của khối. Như đã phân tích phần trên, cường độ cốt liệu EPS tỷ lệ thuận với khối lượng thể tích của chúng nên cùng hạt nguyên liệu ban đầu, kích thước hạt nở phồng nhỏ hơn sẽ có cường độ lớn hơn. Hàm lượng cốt liệu EPS trong bê tông polystyrene cũng ảnh hưởng đến cường độ của bê tông polystyrene. Khác với bê tông thông thường, khi tăng hàm lượng cốt liệu đặc chắc (có cường độ lớn hơn cường độ pha nền) thì cường độ chịu nén của bê tông sẽ tăng lên nhưng với bê tông polystyrene, do cốt liệu EPS có cường độ thấp hơn rất nhiều so với pha nền nên khi hàm lượng cốt liệu EPS tăng hàm lượng pha nền giảm tương ứng (hệ số dư vữa K_d giảm), cường độ chịu nén của bê tông polystyrene sẽ giảm.

Mặt khác, các nghiên cứu [10, 37, 69] đã chỉ ra mối quan hệ ảnh hưởng của thành phần và cấu trúc của các pha đến cường độ chịu nén và khối lượng thể tích của bê tông nhẹ cốt liệu nhẹ.

Theo [8, 13, 51], cường độ chịu nén của bê tông sử dụng mỗi một loại cốt liệu nhẹ nhất định, sẽ có giá trị tới hạn mà khi tăng cường độ nền vữa lớn hơn cường độ giới hạn thì cường độ chịu nén của bê tông cốt liệu nhẹ cũng không tăng lên đáng kể. Khi đó, giá trị này phụ thuộc vào chất lượng cốt liệu, cường độ cốt liệu tăng, cường độ chịu nén của bê tông tăng.

Theo [51], mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và thể tích của bê tông nhẹ còn được thể hiện qua phương trình:

$$R_{bt} = R_n \cdot V_n + R_{cl} \cdot V_{cl} \quad (2)$$

Dựa trên quan điểm này, [8], cường độ chịu nén của bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu keramzit phụ thuộc cường độ cốt liệu và cường độ pha nền với mối quan hệ theo hàm log như sau:

$$\log R_b = \varphi \cdot \log R_{CLR} + (1 - \varphi) \cdot \log R_v \quad (3)$$

Như vậy, muốn tăng cường độ chịu nén của bê tông cốt liệu nhẹ, ngoài việc tăng cường độ pha nền (sử dụng xi măng mác cao; giảm tỷ lệ N/CKD) phải tăng đồng thời cường độ của cốt liệu nhẹ bằng cách giảm kích thước hạt hoặc chọn loại cốt liệu nhẹ mác cao hơn.

Đối với bê tông polystyrene, cốt liệu EPS có cường độ nhỏ hơn rất nhiều so với cường độ của pha nền nên chỉ có pha nền chịu lực chính trong bê tông còn cốt liệu EPS có tác dụng làm giảm khối lượng thể tích cho bê tông. Tỷ lệ thể tích bê tông nền càng giảm, tương đương với khối lượng thể tích bê tông giảm thì cường độ chịu nén của bê tông càng giảm. Để tăng cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu thì tăng cường độ pha nền, đồng thời tăng cường độ của cốt liệu EPS bằng cách ưu tiên sử dụng hạt có khối lượng thể tích hạt lớn. Tuy nhiên, với cốt liệu EPS thông thường chỉ có khối lượng thể tích trong khoảng 11 đến 30 kg/m³ nên việc tăng khối lượng thể tích để tăng cường độ của cốt liệu EPS là không đáng kể, do đó, các nghiên cứu thường lựa chọn theo hướng sử dụng bê tông nền có cường độ cao để tăng cường độ của bê tông polystyrene.

b. Khối lượng thể tích

Với bê tông thường, khối lượng thể tích không đặt ra là một chỉ tiêu cần không chế như đối với bê tông nhẹ. Khối lượng thể tích của bê tông polystyrene được xác định theo công thức:

$$\rho_{Kh} = \rho_{eps} \cdot \varphi + \rho_v \cdot (1 - \varphi) \quad (4)$$

Công thức trên cho thấy, muốn giảm khối lượng thể tích ρ_{Kh} thì cần giảm ρ_{eps} , ρ_v hoặc tăng cốt liệu EPS, φ . Giảm ρ_{eps} bằng cách dùng cốt liệu có kích thước hạt lớn nhất là lớn, tuy nhiên thì nếu sử dụng hạt kích thước lớn sẽ dễ gây ra hiện tượng phân tầng, mặt khác cốt liệu EPS nhẹ, khối lượng thể tích giữa các kích thước hạt chênh nhau không nhiều nên ta vẫn ưu tiên sử dụng hạt kích thước nhỏ để đảm bảo không phân tầng. Tăng φ tức là giảm tương ứng thể tích lượng pha nền trong bê tông, mà cường độ chịu nén của bê tông lại phụ thuộc chủ yếu vào cường độ pha nền, do đó làm giảm cường độ chịu nén của bê tông. Ngoài ra cũng có thể giảm khối lượng thể tích bê tông bằng cách sử dụng một số phương pháp khác như: cải thiện cấp phối hạt cốt liệu, chọn tỷ lệ phối hợp hợp lý giữa các cấp hạt và giảm khối lượng thể tích phần vữa nhờ sử dụng cát nhẹ, sử dụng xi măng mác cao, tạo rỗng cho vữa...

Mối quan hệ giữa tỷ lệ thể tích bê tông nền, tỷ lệ thể tích cốt liệu EPS, khối lượng thể tích bê tông polystyrene rất mật thiết. Do đó, nghiên cứu tính chất của bê tông polystyrene kết cấu có thể thông qua việc nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ thể tích bê tông nền.

c. Mô đun đàn hồi

Theo [51], mô đun đàn hồi của bê tông phụ thuộc vào mô đun đàn hồi của nền vữa, mô đun đàn hồi cốt liệu và sự liên kết của nền và cốt. Tính tương hợp đàn hồi của pha nền và cốt ảnh hưởng lớn đến sự xuất hiện vết nứt trong bê tông khi chịu tải trọng.

$$E_d = v \cdot E_d + \varphi \cdot \zeta \cdot E_h \quad (5)$$

Trong đó:

v : thể tích pha nền

E_d : mô đun đàn hồi của pha nền

$0 < \zeta \leq 1$: hệ số phụ thuộc vào liên kết giữa nền vữa với cốt liệu. Liên kết tốt thì $\zeta = 1$.

Trong khi mô đun đàn hồi của cốt liệu từ quartz là 60.000 MPa, từ đá vôi là 80.000 MPa, từ đá bazan là 100.000 MPa thì mô đun đàn hồi của cốt liệu EPS không đáng kể. Mặt khác, mức độ liên kết giữa cốt liệu EPS với pha nền rất kém nên mô đun đàn hồi của bê tông polystyrene phụ thuộc chủ yếu vào mô đun đàn hồi của nền vữa. Mô đun đàn hồi của pha nền phụ thuộc vào tỷ lệ N/CKD, mác xi măng, tỷ lệ Cát/CKD, tính chất của cát và hàm lượng bọt khí. Khi tỷ lệ Cát/CKD, mác xi măng, cường độ và mô đun đàn hồi của cát tăng; hàm lượng xi măng, tỷ lệ N/CKD giảm thì mô đun đàn hồi của nền vữa tăng, tương ứng mô đun đàn hồi của bê tông polystyrene cũng tăng.

Tuy nhiên, để chế tạo bê tông polystyrene kết cấu thì cần chọn pha nền có là bê tông cường độ cao, có mô đun đàn hồi lớn. Do đó, khi bổ sung cốt liệu EPS, vốn có cường độ không đáng kể, vào pha bê tông nền thì có ảnh hưởng làm giảm mô đun đàn hồi của bê tông nền.

c. Lực nhỏ cốt thép

Bê tông là một loại vật liệu giòn, cường độ chịu nén lớn, nhưng khả năng chịu kéo thấp, chỉ bằng 1/10 đến 1/15 cường độ chịu nén. Nhưng trong rất nhiều công trình, nhiều bộ phận làm việc ở trạng thái chịu kéo, do đó tại phần chịu kéo của các kết cấu làm bằng bê tông sẽ bị rạn nứt, khả năng chịu lực giảm có thể dẫn đến phá hoại hoàn toàn. Do đó, bê tông và thép được phối hợp sử dụng với nhau trong kết cấu bê tông cốt thép nhằm nâng cao ưu điểm và hạn chế nhược điểm của từng thành phần vật liệu này.

Lực nhỏ cốt thép trong bê tông có thể đạt đến 40 daN/cm². Nhờ sự bám dính tốt này, cốt thép không những làm tăng khả năng chịu kéo của bê tông mà còn làm tăng khả năng chịu nén. Lực liên kết tốt của bê tông với cốt thép đảm bảo cho hai loại vật liệu này cùng làm việc với nhau. Lực nhỏ cốt thép trong bê tông phụ thuộc vào nhiều yếu tố có liên quan đến tính chất của bê tông, hình dạng cốt thép và điều kiện tiếp xúc giữa bê tông và cốt thép [48].

Với cốt thép thanh tròn trơn thì lực nhô cốt thép trong bê tông tạo nên bởi hai yếu tố: lực liên kết trên bề mặt tiếp xúc giữa xi măng với cốt thép và lực ma sát xuất hiện giữa cốt thép và bê tông khi chúng dịch chuyển tương đối với nhau. Trị số của lực ma sát phụ thuộc vào sự bền chắc của tiếp xúc, tính chất bề mặt của vật liệu tiếp xúc và với trị số lực theo hướng dịch chuyển tác dụng vào cốt thép. Lực liên kết phụ thuộc vào cường độ chịu nén của bê tông, tính chất dính kết của đá xi măng tính chất này quyết định bởi hoạt tính của xi măng, tỉ lệ N/X, sự phát triển và điều kiện rắn chắc.

Đối với cốt thép thanh vằn thì lực ma sát ít có ý nghĩa. Khi đó vai trò lực dính với bề mặt tiếp xúc được tăng lên, đồng thời xuất hiện một yếu tố bổ sung là sự móc dính của bê tông với các gờ của cốt thép. Khi đó mỗi sự dịch chuyển của cốt thép đều phải khắc phục sự chống lại của rất nhiều móc bê tông có hình rãnh của gờ cốt thép.

Lực nhô cốt thép trong bê tông còn phụ thuộc vào mật độ tiếp xúc giữa bê tông và cốt thép. Với bê tông nặng ở vùng tiếp xúc giữa những cốt thép nằm ngang và lớp bê tông ở phía dưới có các hốc rỗng cục bộ làm giảm diện tích tiếp xúc giữa bê tông và cốt thép. Tương tự với bê tông nhẹ khi thành phần pha nền bị lắng xuống có thể tạo ra các hốc rỗng như vậy cũng sẽ làm giảm lực nhô cốt thép trong bê tông với cốt thép.

g. Cường độ chịu kéo khi uốn

Trong công trình có nhiều bộ phận sử dụng bê tông làm việc ở trạng thái chịu kéo nên việc nghiên cứu khả năng chịu kéo của bê tông polystyrene là vấn đề cần lưu ý.

Cường độ chịu kéo của bê tông không chế vết nứt và ảnh hưởng đến các tính chất khác của bê tông như: độ cứng, lực nhô cốt thép trong bê tông, độ bền. Cường độ chịu kéo còn liên quan đến ứng xử của bê tông dưới tác dụng của lực cắt.

Cường độ chịu kéo của bê tông bé hơn rất nhiều so với cường độ chịu nén. Cũng như cường độ chịu nén, nó phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố. Nhìn chung, khi cường độ chịu nén của bê tông tăng thì cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông cũng tăng theo.

k. Co ngót

Trong quá trình đông kết và rắn chắc, bê tông có sự biến đổi thể tích, thông thường, nếu không sử dụng các phụ gia nở thì sự biến đổi thể tích của bê tông trong quá trình đông rắn chính là sự co ngót. Khi đông rắn, với một hỗn hợp bê tông mới nhào trộn với nước, trước tiên nước ở thể tự do từ mao quản thoát ra không gây nên sự co ngót. Sau đó là sự thoát nước từ các mao quản và lỗ rỗng bé và sự bốc hơi nước ở các mao quản có đường kính nhỏ hơn 0,1 micron kèm theo sự biến dạng co ngót dưới tác dụng của áp lực mao dẫn. Sự co ngót do nước của các màng liên kết hấp thụ trong các thành gel thoát ra làm các hạt rắn thành gel xích lại gần nhau. Theo bản chất hóa lý, có ba loại biến dạng cơ bản: co tự sinh hay co hóa học, co khô và co cacbonat. Theo giai đoạn hình thành và phát triển cường độ, có biến dạng mềm và biến dạng khô. Biến dạng mềm là hiện tượng bê tông bị thay đổi thể tích khi chưa có cường độ hoặc cường độ còn rất nhỏ, khi bê tông còn mềm. Ngược lại, biến dạng khô xảy ra khi bê tông đã rắn chắc. Trong thời gian đông rắn, quá trình biến dạng mềm của bê tông phụ thuộc vào các yếu tố môi trường khí hậu bên ngoài, tính chất và thành phần vật liệu bên trong bê tông. Độ co của bê tông phụ thuộc vào độ lớn của cốt liệu, hàm lượng xi măng, tỷ lệ N/X,..cốt liệu càng lớn thì co mềm càng ít. Hàm lượng xi măng và thể tích hồ xi măng càng nhiều thì độ co càng lớn.

Co hóa học xuất hiện bởi các phản ứng hóa học xảy ra khi các khoáng vật của xi măng tác dụng với nước, hình thành các sản phẩm mới có khối lượng riêng lớn hơn hỗn hợp ban đầu.

Co tự sinh của bê tông xảy ra do sự hình thành gel- keo và kết tinh của tinh thể ettringite và các tinh thể C-S-H.

Co ngót kết hợp cùng biến dạng nhiệt không đồng nhất của các thành phần trong bê tông làm xuất hiện các vết nứt trong kết cấu. Quá trình thủy hóa xi măng gắn liền với các phản ứng tỏa nhiệt làm cho bê tông nóng lên nhất là trong những ngày đầu rắn chắc sau đó khi các quá trình cơ bản của thủy hóa kết thúc, bê tông bắt đầu nguội đi. Sự đốt nóng vì nhiệt và nguội lại gây ra sự biến dạng nhiệt trong bê tông. Biến dạng này liên quan đến sự phát triển ứng suất nội bộ trong bê tông. Ví dụ : khi một khối lớn bê tông nguội, lớp trong giữ được nhiệt độ cao cản trở sự co lại của các lớp bê tông ngoài đã nguội đi, gây ứng suất nén ở lớp trong và ứng

suất kéo ở lớp ngoài dẫn đến biến dạng. Nếu biến dạng này vượt quá sức chịu kéo của bê tông sẽ xuất hiện vết nứt ở vết ngoài.

Độ co của bê tông nhẹ thường lớn hơn bê tông nặng cùng mác. Độ co của bê tông nhẹ không những phụ thuộc môi trường dưỡng hộ thành phần bê tông mà còn chịu ảnh hưởng mạnh bởi các loại cốt liệu, khối lượng thể tích hạt, kích thước và thành phần hạt.

Sự co làm giảm kích thước cấu kiện, làm giảm sự dính kết giữa hai lớp bê tông đổ trước và đổ sau trong công trình.

Sự co ngót tắt dần theo thời gian. Vì bê tông trong quá trình rắn chắc sẽ khô lại, gradien độ ẩm giảm và cùng với sự giảm chiều dày màng nước, cường độ liên kết các tinh thể tăng lên dẫn đến sự tắt dần co ngót.

Trong phạm vi nghiên cứu chưa làm rõ sự co ngót trong bê tông polystyrene tuy nhiên bê tông polystyrene sử dụng một lượng xi măng rất lớn nên co ngót trong bê tông này là một vấn đề cần quan tâm và nghiên cứu thêm, để đảm bảo phạm vi ứng dụng, chất lượng của sản phẩm.

g, Tính dẫn nhiệt

Là tính chất vật lý kiến trúc quan trọng của bê tông sử dụng ở các công trình dân dụng. Nó liên quan mật thiết tới cấu tạo bê tông và cấu trúc các vật liệu thành phần. Tính dẫn nhiệt phụ thuộc trạng thái ẩm và nhiệt độ bê tông. Khi nhiệt độ và độ ẩm tăng, tính dẫn nhiệt tăng. Trong thực tế hệ số tính toán chỉ tiêu dẫn nhiệt hay hệ số dẫn nhiệt được xác định theo những công thức phụ thuộc vào khối lượng thể tích của bê tông ở trạng thái sấy khô. Độ dẫn nhiệt có thể xác định theo công thức B. N. Kaupman.

$$\lambda = 0,0935 \sqrt{m_{vb}} \cdot 2,28 m_{vb} + 0,025 \quad (6)$$

Công thức này không xét đến tính chất của bê tông (độ lớn của lỗ rỗng, sự phân bố mức độ kín và thông nhau) nên chỉ có thể chỉ cho kết quả gần đúng và phù hợp với bê tông có sự đồng nhất về cấu trúc cốt liệu. Như vậy cùng thành phần vật liệu, bê tông có khối lượng thể tích lớn hơn thì dẫn nhiệt tốt hơn.

Đối với bê tông polystyrene, cốt liệu EPS chứa 80-95% là lỗ rỗng kín, và 1.4 -9.3 % pha rắn, hệ số dẫn nhiệt của không khí 0,024 W/m.K, hệ số dẫn nhiệt của cốt liệu EPS dao động trong khoảng từ 0,039 W/m.K đến 0,04 W/m.K nhỏ hơn rất nhiều so với hệ số dẫn nhiệt của cốt liệu đặc chắc trong bê tông thông thường nên cốt liệu EPS cách nhiệt tốt hơn so với cốt liệu đặc chắc. Nên xét ở cùng tính chất pha nền thì bê tông polystyrene có khả năng cách nhiệt tốt hơn so với bê tông thông thường.

1.4 Cơ sở khoa học

Tính chất của bê tông polystyrene, bao gồm các tính chất của hỗn hợp bê tông và các tính chất cơ lý của bê tông đã đóng rắn, có thể được nghiên cứu trong mối quan hệ ảnh hưởng của tính chất cốt liệu EPS, tính chất bê tông nền và tỷ lệ giữa hai thành phần trên.

1.4.1 Ảnh hưởng của cốt liệu polystyrene phòng nổ đến tính chất của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu

Hỗn hợp bê tông là một hệ đa phân tán, theo các tính chất của mình, chiếm vị trí trung gian giữa chất lỏng dẻo và chất rắn. Tỷ lệ và tương tác giữa các pha (rắn, lỏng, khí) và các thành phần (xi măng, nước, cốt liệu, phụ gia) sẽ quyết định tính chất của hỗn hợp bê tông. Các tính chất của hỗn hợp bê tông như một thể thống nhất từ các vật liệu rời được hình thành nhờ tương tác giữa nước và các hạt mịn tạo nên sự dính kết giữa các thành phần. Trong đó, hồ xi măng đóng vai trò quan trọng nhất.

Hồ xi măng, bao gồm thể tích hồ và tính chất của hồ, có những ảnh hưởng lớn đến tính chất của hỗn hợp bê tông. Nghiên cứu [18] đã cho thấy hệ số điền đầy giảm làm giảm độ sụt hoặc tăng độ cứng của hỗn hợp bê tông. Vữa 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 lỗ rỗng giữa các hạt. Đó là do thể tích hồ trong bê tông polystyrene cách nhiệt nhỏ hơn thể tích cốt liệu EPS, nên khi giảm thể tích hồ để giảm khối lượng thể tích bê tông polystyrene thì cấu trúc bê tông chuyển từ liên tục sang không liên tục. Chính việc hình thành cấu trúc không liên tục này trong bê tông nhẹ cách nhiệt đã làm giảm mạnh tính công tác. Do đó, nghiên cứu này đã sử dụng silicafume, tro bay làm phụ gia khoáng bổ sung vào thành phần bê tông polystyrene có khối lượng thể tích thấp làm tăng hệ số điền

đầy của bê tông. Tuy nhiên, bê tông polystyrene kết cấu với khối lượng thể tích từ 1.400 kg/m^3 đến 2.000 kg/m^3 đã có cấu trúc liên tục, nên yếu tố cơ bản ảnh hưởng đến các tính chất của bê tông polystyrene kết cấu chính là tính chất của hồ xi măng.

Tính chất của hồ chịu ảnh hưởng lớn bởi tỷ lệ chất kết dính trên nước. Các nghiên cứu [4, 5, 6] đã nghiên cứu ảnh hưởng của việc sử dụng tro bay trong thành phần của bê tông nhẹ cốt liệu EPS. Sự có mặt của tro bay làm giảm lượng nước yêu cầu của hỗn hợp bê tông, tăng cường độ tuổi dài ngày, giảm khối lượng thể tích của bê tông. Nghiên cứu [4] sử dụng chất kết dính là xi măng phù hợp với tiêu chuẩn ASTM C150 loại I và tro bay F. Bê tông được thiết kế theo tiêu chuẩn ACI-211.2. Các cấp phối bê tông polystyrene được thiết kế với việc thay thế tro bay chiếm 50% tổng khối lượng của xi măng. Trong khi đó, nghiên cứu [6] đánh giá ảnh hưởng của silicafume đến sự phát triển cường độ chịu nén, cường độ bám dính và một số tính chất của bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu EPS như khả năng chống ăn mòn. Các cấp phối thí nghiệm được thiết kế với lượng sử dụng silicafume tương ứng là 3%, 5%, 9% theo khối lượng xi măng. Khối lượng thể tích hỗn hợp bê tông polystyrene trong khoảng từ 1.500 kg/m^3 đến 2.000 kg/m^3 , cường độ chịu nén đạt được là từ 10 MPa đến 21 MPa. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy việc sử dụng silicafume trong chế tạo bê tông nhẹ cốt liệu EPS đã làm tăng cường độ tuổi sớm ngày của bê tông. Nghiên cứu cũng đưa ra kết luận rằng bê tông nhẹ kết cấu có mức khối lượng thể tích và cường độ chịu nén đã nêu thì có khả năng chống thấm, chống ăn mòn, khả năng chống thấm ion clo đạt yêu cầu cho việc sử dụng trong các công trình dân dụng.

Việc sử dụng thêm phụ gia khoáng với độ mịn cao làm tăng nước của hỗn hợp bê tông khiến cho cường độ của bê tông polystyrene giảm. Chính vì vậy, phụ gia siêu dẻo cần được sử dụng trong thành phần bê tông nền để cải thiện tính công tác của bê tông polystyrene mà giữ nguyên nước.

Mặt khác, cường độ của bê tông polystyrene chịu ảnh hưởng của cường độ chịu nén của bê tông nền. Trong các nghiên cứu [4, 5, 8], các cấp phối bê tông nhẹ đều được thiết kế dựa trên với cấp phối nền có cường độ chịu nén tại tuổi 28 ngày đạt mức cường độ chịu nén M40, khối lượng thể tích 2.400 kg/m^3 đến 2.500 kg/m^3 . Kết quả cho thấy để bê tông polystyrene đạt mức cường độ từ 17 MPa đến 18MPa, khối lượng thể tích bê tông nhẹ thường nằm trong khoảng từ 1.800 kg/m^3

đến 1.900 kg/m^3 . Nói cách khác, khi bổ sung lượng cốt liệu nhẹ là cốt liệu EPS vào thành phần của bê tông thì tương ứng với việc giảm khoảng 25% khối lượng, cường độ chịu nén của bê tông nhẹ giảm khoảng 40%. Do đó, với cùng khối lượng thể tích bê tông polystyrene thì nâng cao cường độ chịu nén của bê tông nền là một trong các biện pháp để nâng cao cường độ chịu nén của bê tông polystyrene.

Sự phát triển của các loại phụ gia, đặc biệt là phụ gia hóa học, giúp nâng cao cường độ và tính công tác của bê tông là một điều kiện tốt để nâng cao chất lượng bê tông nhẹ, trong đó có cường độ chịu nén. Nhờ đó, cường độ của bê tông nhẹ đã có thể được nâng cao đáng kể so với thời kỳ trước. Một số nhóm tác giả đã sử dụng bê tông gốc có cường độ chịu nén từ 100 MPa đến 150 MPa [2, 4, 6].

Việc sử dụng phụ gia siêu dẻo trong thành phần bê tông cũng làm thay đổi tính lưu biến của hỗn hợp bê tông, tăng khả năng phân tầng khi có chấn động. Chính vì vậy, nghiên cứu [2] không sử dụng đầm rung khi thí nghiệm độ phân tầng của hỗn hợp bê tông polystyrene.

Mặt khác, vì thực tế hỗn hợp bê tông không đồng nhất và kích thước của cốt liệu trong bê tông nền không cố định nên cần tính đến ảnh hưởng của độ phân tầng tới tính chất của bê tông. Khác với bê tông nặng thông thường, khi bị phân tầng, cốt liệu EPS có xu hướng dịch chuyển lên trên, còn bê tông nền dịch chuyển xuống dưới. Điều này có thể thấy rõ khi xem xét chuyển động tương đối của các cấu tử trong hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu theo phương trình Stocke (1).

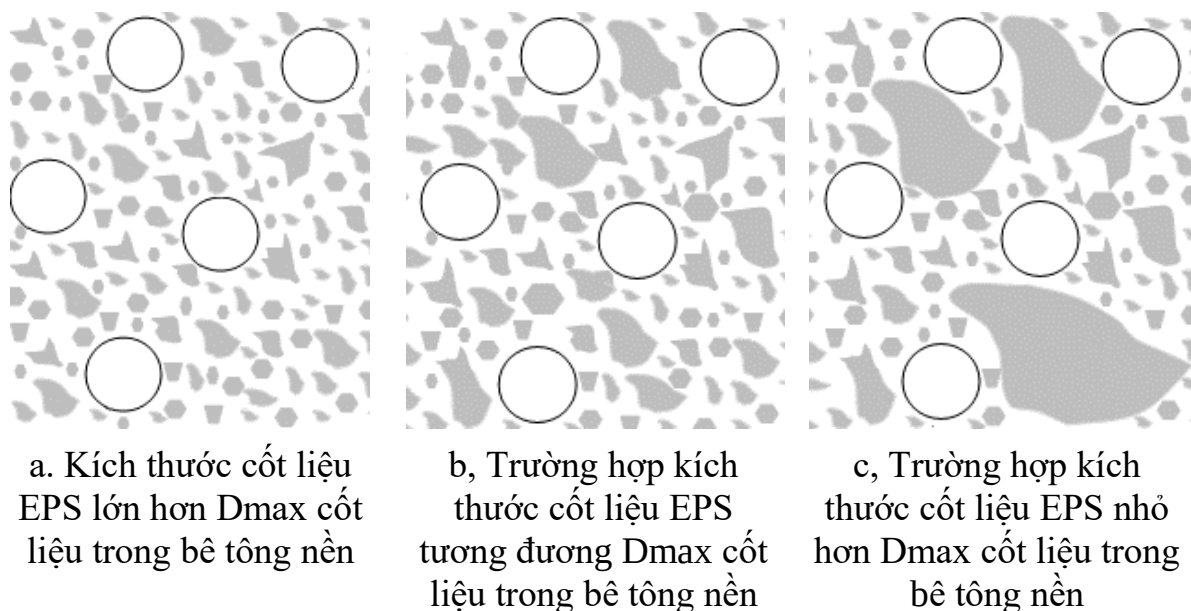
Trên cơ sở phân tích phương trình (1) có thể thấy rằng ba yếu tố cơ bản ảnh hưởng đến vận tốc dịch chuyển của cốt liệu EPS trong hỗn hợp bê tông nền đó là kích thước cốt liệu EPS, khối lượng thể tích cốt liệu EPS và độ nhớt hỗn hợp bê tông nền. Hỗn hợp bê tông polystyrene với sự chênh lệch lớn về khối lượng thể tích giữa các vật liệu thành phần bao gồm pha nền (với khối lượng thể tích khoảng từ 2.000 kg/m^3 đến 2.400 kg/m^3) và cốt liệu EPS (với khối lượng thể tích từ 15 kg/m^3 đến 30 kg/m^3) nên khả năng phân tầng của hỗn hợp bê tông polystyrene cao hơn nhiều so với bê tông thường. Với một loại cốt liệu EPS cụ thể, tức là đường kính cốt liệu EPS và khối lượng thể tích cốt liệu EPS không đổi, thì độ phân tầng giảm khi tăng độ nhớt của hỗn hợp bê tông nền. Một trong các biện pháp tăng độ nhớt của hồ trong bê tông là sử dụng các phụ gia điều chỉnh độ nhớt.

Phụ gia điều chỉnh độ nhớt là các hợp chất hữu cơ có khả năng làm giảm lượng nước tự do trong dung dịch và vì vậy làm tăng độ nhớt của bê tông. Trong

hỗn hợp hồ xi măng, các chuỗi phân tử này đan xen vào nhau đảm bảo sự ổn định của hỗn hợp. Khi vận tốc biến dạng trượt tăng lên, các chuỗi phân tử có khả năng duỗi ra theo hướng chảy, làm giảm độ nhớt của hồ xi măng. Hiện tượng này đảm bảo sự ổn định của hỗn hợp bê tông ở trạng thái tĩnh và đảm bảo độ linh động cần thiết của hỗn hợp bê tông khi thi công. Các nghiên cứu đã cho thấy ảnh hưởng trực tiếp của độ nhớt đến tính công tác của hỗn hợp bê tông và cũng chỉ ra ảnh hưởng nhất định của thành phần bê tông đến mối quan hệ trên.

1.4.2 Ảnh hưởng của cốt liệu polystyrene phòng nổ đến cường độ chịu nén của bê tông

Bê tông polystyrene được thiết kế theo yêu cầu chủ yếu là khối lượng thể tích và cường độ. Để bê tông polystyrene đạt được khối lượng thể tích yêu cầu, cốt liệu EPS được cho vào hỗn hợp bê tông nền để làm giảm khối lượng thể tích của bê tông. Khi đó, vì cốt liệu EPS có cường độ nhỏ, nên trong cấu trúc bê tông polystyrene, bê tông nền đóng vai trò tạo thành khung chịu lực. Cường độ chịu nén của bê tông polystyrene phụ thuộc vào khả năng chịu lực của khung nêu trên. Do đó, cường độ chịu nén của bê tông nền và độ dày của vách tạo bởi vữa xi măng bao quanh cốt liệu EPS có quan hệ mật thiết với khả năng chịu lực của bê tông polystyrene.



Hình 1.1 Tương quan kích thước hạt cốt liệu trong bê tông

Vì thế, để nâng cao cường độ chịu nén của bê tông polystyrene ở cùng một khối lượng thể tích thì nâng cao cường độ chịu nén của bê tông nền là một lựa

chọn được sử dụng trong nhiều nghiên cứu đã tiến hành [7, 16, 17]. Các nghiên cứu này cũng cho thấy tính chất cơ học của bê tông polystyrene có thể được cải thiện đáng kể khi bổ sung thêm silicafume, tro bay vào bê tông nền làm tăng lượng chất kết dính và cường độ của bê tông nền. Nói cách khác, các tính chất cơ lý của bê tông polystyrene phụ thuộc lớn vào tính chất của bê tông nền.

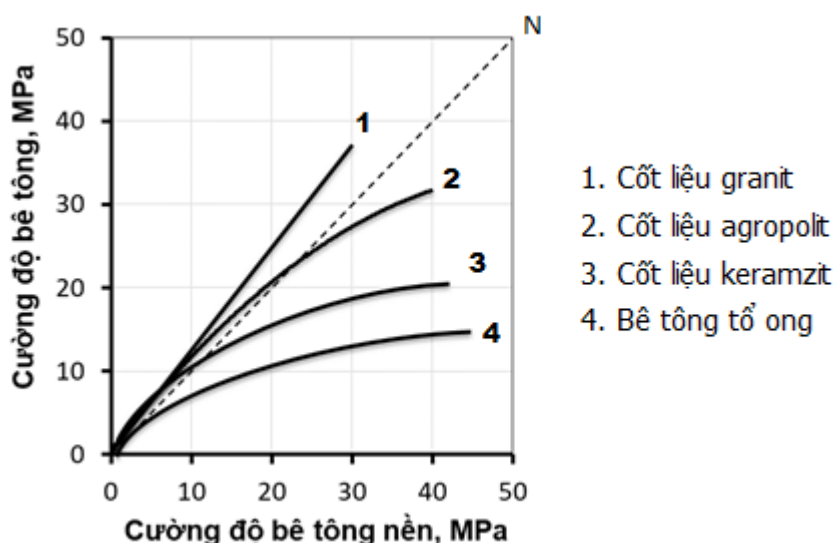
Điều này cũng có thể thấy rõ khi phân tích mối quan hệ giữa kích thước của các thành phần cốt liệu trong bê tông polystyrene. Do đặc trưng hình dạng cốt liệu EPS là hình khối cầu nên khi đưa cốt liệu EPS vào hỗn hợp bê tông thì xảy ra ba trường hợp.

Trường hợp thứ nhất là kích thước cốt liệu EPS lớn hơn kích thước hạt lớn nhất của cốt liệu trong bê tông nền (Hình 1.1a). Khi đó hỗn hợp vữa xi măng bao bọc xung quanh cốt liệu EPS và khi hỗn hợp đóng rắn thì lớp này hình thành khung chịu lực cho bê tông. Chiều dày thành vách tạo bởi vữa xi măng này bằng khoảng cách giữa cốt liệu EPS. Giả thiết là cốt liệu EPS phân bố đều trong thành phần bê tông theo mô hình sắp xếp chặt khít nhất. Khi đó, với cùng kích thước cốt liệu EPS thì khoảng cách giữa cốt liệu EPS là như nhau.

Trường hợp thứ hai và trường hợp thứ ba là khi kích thước cốt liệu EPS nhỏ hơn hoặc bằng kích thước hạt lớn nhất của cốt liệu trong bê tông nền được thể hiện trong Hình 1.1b, Hình 1.1c. Khi đó, hỗn hợp bê tông bao bọc xung quanh cốt liệu EPS và khi hỗn hợp đóng rắn thì lớp này hình thành khung chịu lực cho bê tông polystyrene. Với tỷ lệ thể tích bê tông nền lớn, khối lượng thể tích hỗn hợp bê tông ở mức cao, thì chiều dày thành vách tạo bởi bê tông nền bằng khoảng cách giữa cốt liệu EPS. Tuy nhiên, khi giảm tỷ lệ thể tích bê tông nền thì sự có mặt của cốt liệu lớn có thể ảnh hưởng đến phân bố cốt liệu EPS trong bê tông. Khi đó, có thể xem như cốt liệu EPS phân bố đều trong hỗn hợp vữa xi măng của bê tông nền. Lúc này, giảm tỷ lệ thể tích bê tông nền thì lượng vữa xi măng giảm, khoảng cách giữa cốt liệu EPS giảm. Khi đó, ảnh hưởng của kích thước cốt liệu nặng trong bê tông nền đến cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu tăng.

Trong hỗn hợp bê tông, hồ vữa xi măng đóng vai trò làm lớp đệm đảm bảo tính công tác của hỗn hợp bê tông. Khi tăng lượng sử dụng cốt liệu EPS trong hỗn hợp bê tông, tính công tác của hỗn hợp bê tông và các tính chất khác sẽ có những chuyển biến và sẽ có thay đổi đột ngột khi lớp hồ này giảm kích thước đến mức

nhỏ hơn kích thước hạt cốt liệu nhỏ trong hồ. Khi đó, nếu tiếp tục tăng tỷ lệ sử dụng cốt liệu EPS, hay nói cách khác là giảm khối lượng thể tích của bê tông polystyrene, thì cấu trúc bê tông có thể chuyển từ cấu trúc liên tục sang cấu trúc không liên tục.



Hình 1.2 Ảnh hưởng của cường độ cốt liệu pha nền

Phân tích các trường hợp trên, có thể thấy rằng trong bê tông polystyrene thì đường kính cốt liệu của bê tông nền có ảnh hưởng đến tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông. Bên cạnh đó, trong thực tế, cốt liệu có độ thoái nhất định nên sự phân bố cốt liệu EPS là không đồng đều mà phụ thuộc kích thước, hình dạng hạt.

Hình 1.2 biểu diễn sự phụ thuộc của cường độ chịu nén của bê tông vào cường độ pha nền khi sử dụng các loại cốt liệu khác nhau. Mặt khác, theo [13] cường độ của cốt liệu có ảnh hưởng lớn đến cường độ chịu nén của bê tông nhẹ. Theo đó, cường độ chịu nén của bê tông nhẹ có thể coi là tỷ lệ thuận với cường độ chịu nén của bê tông nền và cường độ cốt liệu.

Với cùng cường độ chịu nén của bê tông nền thì cường độ chịu nén của bê tông sử dụng cốt liệu granit cao hơn cường độ chịu nén của bê tông sử dụng cốt liệu keramzit [51]. Đường biểu diễn tương quan cường độ vữa nền và cường độ chịu nén của bê tông cho thấy bê tông sử dụng cốt liệu đá granit nằm trên đường phân giác 0N tức là có bê tông sử dụng đá granit cường độ cao luôn có cường độ cao hơn pha nền. Khi đó, việc sử dụng cốt liệu có cường độ cao thể hiện rõ vai trò ảnh hưởng đối với cường độ chịu nén của bê tông. Bê tông sử dụng cốt liệu

keramzit có khoảng giao với đường phân giác, miền cao hơn đường phân giác này có cường độ cao hơn pha nền.

Theo dõi ảnh hưởng của cường độ bê tông nền đến cường độ chịu nén của bê tông tổ ong, thực hiện tại Viện CN Bê tông, cho phép xây dựng đường biểu diễn số 4 (Hình 1.2). Có thể coi, bọt khí trong bê tông tổ ong như một loại cốt liệu nhẹ không có cường độ. Vậy, có thể suy luận rằng cốt liệu EPS là loại cốt liệu nhẹ có cường độ chịu nén không đáng kể nên bê tông polystyrene kết cấu sẽ có cường độ chịu nén phụ thuộc cường độ pha nền và luôn thấp hơn pha nền. Làm rõ được mối quan hệ này có thể xác định được giá trị cường độ pha nền tối hạn mà tại đó việc gia tăng cường độ pha nền ít có tác động tới cường độ chịu nén của bê tông polystyrene.

Bên cạnh đó, khác với bê tông keramzit sử dụng cốt liệu lớn keramzit, kích thước của cốt liệu EPS thuộc cỡ hạt cốt liệu nhỏ. Do đó, khi bổ sung cốt liệu EPS vào trong bê tông nền thì tương quan kích thước cốt liệu EPS và kích thước của cốt liệu trong pha nền cũng có nhưng ảnh hưởng nhất định đến cường độ chịu nén của bê tông. Do đó, xác định được tương quan này là cơ sở để lựa chọn vật liệu phù hợp nhằm chế tạo bê tông polystyrene kết cấu đạt được các chỉ tiêu kỹ thuật tốt nhất.

1.5 Mục tiêu và nhiệm vụ nghiên cứu

Trên cơ sở nhu cầu cần thiết của sản phẩm bê tông polystyrene kết cấu, phân tích đặc điểm của cốt liệu EPS và các mối quan hệ kể trên, NCS thấy rằng do đặc điểm của cốt liệu EPS nên khác với bê tông sử dụng cốt liệu keramzit, cường độ chịu nén của bê tông polystyrene có thể luôn nhỏ hơn cường độ pha nền. Mặt khác, kích thước cốt liệu EPS nằm ở cỡ hạt cốt liệu nhỏ nên cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu có thể được cải thiện khi lựa chọn được kích thước hạt trong bê tông nền phù hợp.

Với các phân tích kể trên, nghiên cứu sinh đã xác định mục tiêu nghiên cứu của luận án là: **Chế tạo bê tông polystyrene kết cấu có khối lượng thể tích từ 1.600 kg/m^3 đến 2.000 kg/m^3 , cường độ chịu nén lớn hơn 20 MPa trong điều kiện vật liệu tại Việt Nam.**

Các nghiên cứu trong trong luận án được căn cứ vào giả thuyết khoa học về ảnh hưởng của kích thước hạt lớn nhất của bê tông nền tới các tính chất của bê tông polystyrene kết cấu.

Căn cứ vào mục tiêu nghiên cứu, dựa trên cơ sở lý luận và giả thuyết khoa học đã phân tích và thiết lập ở trên, luận án đề ra các nhiệm vụ nghiên cứu chế tạo và sử dụng bê tông polystyrene kết cấu bao gồm các vấn đề sau:

- Nghiên cứu tổng quan bê tông polystyrene, bê tông polystyrene kết cấu trên thế giới và tại Việt Nam.

- Nghiên cứu đặc điểm của cốt liệu EPS và vai trò của cốt liệu EPS đến một số tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông.

- Nghiên cứu ảnh hưởng của kích thước hạt lớn nhất cốt liệu đến tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông polystyrene kết cấu.

- Nghiên cứu chế tạo bê tông polystyrene kết cấu trên cơ sở làm rõ ảnh hưởng của khối lượng thể tích, của tính chất hỗn hợp bê tông nền và cường độ chịu nén của bê tông nền, của kích thước hạt lớn nhất trong bê tông nền đến tính công tác, độ phân tầng của hỗn hợp bê tông và cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu.

- Nghiên cứu một số tính chất của bê tông polystyrene kết cấu như: cường độ chịu nén, cường độ uốn, độ co ngót, mô đun đàn hồi, độ hút nước và hệ số hóa mềm, lực nhổ cốt thép trong bê tông, khả năng chống thấm...

- Nghiên cứu thí nghiệm kiểm chứng khả năng chịu tải của tấm sàn bê tông polystyrene kết cấu.

CHƯƠNG 2: VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

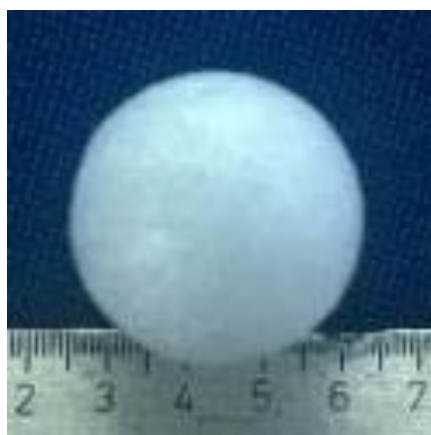
2.1 Vật liệu sử dụng

2.1.1 Cốt liệu polystyrene phòng nổ

Cốt liệu EPS sử dụng trong nghiên cứu là loại thương phẩm có sẵn trên thị trường, thường dùng trong sản xuất bao bì. Đây là loại cốt liệu EPS được phòng nổ 1 lần sử dụng 1 cỡ hạt polystyrene nguyên liệu. Các tính chất của cốt liệu EPS sử dụng trong nghiên cứu được trình bày tại bảng 2.1.

Bảng 2.1 Tính chất của cốt liệu EPS

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị
1	Đường kính hạt	mm	1,5 – 2,5
2	Khối lượng thể tích	kg/m ³	19,7
3	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	11,1
4	Cường độ ứng với biến dạng 10%	MPa	0,20
5	Cường độ ứng với biến dạng 2%	MPa	0,04



Hình 2.1 Cốt liệu EPS

2.1.2 Xi măng

Thị trường hiện nay có nhiều loại xi măng thương phẩm, chủ yếu là các loại xi măng pooclang (PC30, PC40), xi măng poocland hỗn hợp (PCB30, PCB40). Tuy nhiên, để tránh các ảnh hưởng khó kiểm soát của phụ gia trong xi măng đến các tính chất của bê tông, nghiên cứu đã chọn dùng xi măng poóc lăng. Để bê tông

nền có được cường độ cao, nghiên cứu đã tham khảo tính chất của một số loại xi măng poocland thương phẩm thông dụng trên thị trường và đã chọn dùng PC40 Bút Sơn. Đây là loại xi măng có tính ổn định về tính chất kỹ thuật và có cường độ chịu nén thực tế ở mức cao. Trong các chế tạo tấm sàn thí nghiệm gia tải đã sử dụng xi măng PCB40 Bút Sơn. Các tính chất cơ lý của xi măng được trình bày trong Bảng 2.2.

Bảng 2.2 Tính chất của xi măng

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm	
			PC40	PCB40
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	3,10	3,10
2	Bề mặt riêng	cm ² /g	3.570	3.270
3	Lượng sót trên sàng 0,09 mm	%	3,4	3,4
4	Độ dẻo tiêu chuẩn	%	29,0	28,5
5	Thời gian đông kết:	phút		
	Bắt đầu		105	115
	Kết thúc		215	220
6	Độ ổn định thể tích	%	0,5	0,5
7	Cường độ chịu uốn:	MPa		
	3 ngày		7,1	6,7
	7 ngày		7,9	7,6
	28 ngày		8,8	8,1
8	Cường độ chịu nén:	MPa		
	3 ngày		27,5	23,4
	7 ngày		37,1	32,1
	28 ngày		46,3	41,3

2.1.3 Cốt liệu

Trong nghiên cứu đã sử dụng 3 loại cát ký hiệu là C1, C2, C3, C4 có kích thước hạt lớn nhất tương ứng là 0,63 mm, 1,25 mm, 5 mm. Cốt liệu C1, C2, C3 được sử dụng trong các nghiên cứu chương 3. Cốt liệu C4 được sử dụng trong chế tạo tấm sàn bê tông polystyrene kết cấu. Các tính chất của cốt liệu được trình bày trong Bảng 2.3.

Bảng 2.3 Tính chất của cốt liệu nhỏ

STT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm			
			C1	C2	C3	C4
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,66	2,67	2,65	2,65
2	Khối lượng thể tích bão hoà nước	g/cm ³	2,64	2,66	2,64	2,64
3	Khối lượng thể tích khô	g/cm ³	2,62	2,65	2,63	2,63
4	Độ hút nước	%	0,4	0,4	0,2	0,2
5	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	1.310	1.430	1.440	1.450
6	Độ hồng	%	0,50	0,46	0,45	0,45
7	Mô đun độ lớn		1,4	2,2	2,5	2,5
8	Hàm lượng bùn, bụi, sét	%	0,7	0,9	0,5	0,5
9	Độ ẩm	%	0,06	0,06	0,06	0,07
10	Thành phần hạt (sốt riêng)	%				
	5 mm		0	0	0	0
	2,5 mm		0	0	8,5	13,6
	1,25 mm		0	0	16,8	17,8
	0,63 mm		0	47,1	21,8	11,8
	0,315 mm		45,7	28,6	27,7	22,6
	0,14 mm		48,9	19,9	20,8	29,9
	đáy sàng (<0,14)		5,4	4,4	4,4	6,4

Trong nghiên cứu, đã lựa chọn sử dụng các loại cốt liệu lớn là đá có thành phần hạt và kích thước hạt lớn nhất khác nhau. Tính chất của đá được trình bày trong Bảng 2.4.

Bảng 2.4 Tính chất của cốt liệu lớn

STT	Ký hiệu	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm	
			D1	D2
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,85	2,85
2	Khối lượng thể tích bão hoàn nước	g/cm ³	2,84	2,84
3	Khối lượng thể tích khô	g/cm ³	2,8	2,8
4	Độ hút nước	%	0,5	0,5
5	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	1.400	1.410
6	Độ hồng	%	0,50	0,50
7	Cỡ hạt nhỏ nhất - D _{min}		5	10
8	Cỡ hạt lớn nhất - D _{max}		10	20
9	Độ ẩm	%	0,06	0,05
10	Thành phần hạt (sét riêng)			
	40 mm	%	0	0
	20 mm	%	0	0
	10 mm	%	0	100
	5 mm	%	100	0
	đáy sàng (<5)	%	0	0
11	Độ hút nước	%	2,5	2,5

2.1.4 Phụ gia

a, Phụ gia giảm nước

Trong các thí nghiệm đã sử dụng các loại phụ gia giảm nước của một số nhà cung cấp khác nhau, bao gồm các chủng loại với các tính chất sau:

PCA1 là phụ gia giảm nước cao, kéo dài thời gian ninh kết gốc polycarboxylate, có khối lượng riêng 1,05 g/cm³, hàm lượng chất khô 28,7%. Sản phẩm này được nhà sản xuất khuyến cáo là từ 0,5 lít đến 1,1 lít cho 100 kg CKD.

Phụ gia sử dụng được nhà sản xuất công bố đã thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật quy định trong TCVN 8826:2011 đối với phụ gia siêu dẻo loại G.

b, Phụ gia điều chỉnh độ nhớt

Phụ gia điều chỉnh độ nhớt sử dụng trong nghiên cứu là các este xenlulô được nhập khẩu từ nước ngoài.

Các hợp chất xenlulô rất đa dạng với các tính chất và phạm vi sử dụng khác nhau trong nhiều ngành công nghiệp. Các sản phẩm dùng trong vữa xi măng cần có một số đặc tính phù hợp về nhiệt độ tạo gen, độ nhớt, độ pH, ... Sản phẩm này đã được sử dụng trong hệ vữa mạch mỏng nhằm nâng cao khả năng giữ nước của hỗn hợp vữa.

Lựa chọn sơ bộ các sản phẩm phụ gia xenlulô trên thị trường được tiến hành nhằm xác định một số loại phụ gia phù hợp với hệ vữa xi măng. Trong số đó, tiếp tục lựa chọn phụ gia phù hợp phục vụ các nghiên cứu trong luận án.

Phụ gia điều chỉnh độ nhớt, ký hiệu là VM, có bản chất hóa là hydroxypropyl methyl xenlulô, có công thức hóa học là C₆H₇O₂(OH)₂OCHCOONa. Sản phẩm có dạng bột màu trắng, đóng bao chống ẩm, trọng lượng tịnh 20 kg. Thông số kỹ thuật do nhà sản xuất cung cấp trình bày trong Bảng 2.5.

Bảng 2.5 Tính chất của phụ gia điều chỉnh độ nhớt

STT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Đơn vị	Giá trị
1	Độ pH	—	4 - 8
2	Độ nhớt dung dịch 2% ở 20°C	MPa.s	93,7
3	Kích thước hạt: sót sàng 0,125 mm tối đa	%	10,0

c, Phụ gia khoáng hoạt tính silicafume

Trong nghiên cứu có sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính silicafume loại U920 của Elkem. Một số tính chất và thành phần hoá của SF được trình bày trong Bảng 2.6, Bảng 2.7.

Bảng 2.6 Tính chất của phụ gia khoáng hoạt tính silicafume

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị
1	Lượng hạt trên sàng 45 μ m	%	1,0
2	Chỉ số hoạt tính	%	89,0
3	Độ ẩm	%	2,0
4	Mất khi nung	%	3,8
5	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	350

Bảng 2.7 Thành phần hóa của phụ gia khoáng hoạt tính silicafume

SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
98,28	0,02	0,07	0,26	0,16	0,05	0,73	0,43

d, Bột đá

Ngoài ra, trong một số cấp phối có sử dụng bột đá làm chất độn. Bột đá được nghiền từ đá cacbonate có độ mịn tương đương xi măng sử dụng trong nghiên cứu này, tương đương bề mặt riêng là 3.470 cm²/g. Thành phần hóa học của bột đá được trình bày trong Bảng 2.8.

Bảng 2.8 Thành phần hóa học của bột đá

CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O	SiO ₂
98,42	1,41	0,02	0,03	0,12

2.1.5 Nước trộn

Nước sử dụng để trộn bê tông trong các thí nghiệm là nước máy phù hợp với tiêu chuẩn TCVN 4506:2012.

2.1.6 Thép cốt

Thép cốt bê tông sử dụng trong xác định lực nhỏ của cốt thép trong bê tông là thép cuộn Hòa Phát D8, mác CB240-T có các tính chất được trình bày trong Bảng 2.9.

Bảng 2.9 Tính chất của cốt thép

STT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Đơn vị	Thép tròn trơn	Thép thanh vằn
1	Đường kính danh nghĩa	mm	8,0	8,0
2	Diện tích danh nghĩa	mm ²	50,3	50,5
3	Giới hạn chảy	N/mm ²	365,8	366,0
4	Giới hạn bền	N/mm	524,9	526,0
5	Độ giãn dài tương đối	%	32,0	32,0

2.2 Phương pháp nghiên cứu

Để thực hiện nội dung nghiên cứu, luận án đã sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết và phương pháp nghiên cứu thực nghiệm.

2.2.1 Phương pháp nghiên cứu lý thuyết

Phương pháp nghiên cứu lý thuyết đã thực hiện gồm có:

- Tìm hiểu các tài liệu liên quan đến bê tông tông nhẹ, bê tông nhẹ kết cấu, bê tông sử dụng cốt liệu polystyrene. Các cơ sở lý thuyết có liên quan.
- Các kết quả nghiên cứu về bê tông polystyrene đã công bố, các tài liệu, tiêu chuẩn liên quan.
- Tổng hợp các thông tin, phân tích đưa ra hướng nghiên cứu phù hợp.

2.2.2 Phương pháp thực nghiệm

Trong nghiên cứu thực nghiệm đã áp dụng các phương pháp thí nghiệm tiêu chuẩn của Việt Nam và quốc tế cũng như các phương pháp thí nghiệm chưa được tiêu chuẩn hóa.

a. Các phương pháp thí nghiệm tiêu chuẩn

Thí nghiệm xác định tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông được tiến hành theo các phương pháp tiêu chuẩn của Việt Nam và nước ngoài.

TCVN 3105:1993 Hỗn hợp bê tông nặng và bê tông nặng - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử

TCVN 3106:1993 Hỗn hợp bê tông nặng - Phương pháp thử độ sụt

TCVN 3108:1993 Hỗn hợp bê tông nặng - Phương pháp xác định khối lượng thể tích

TCVN 3118:1993 Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ chịu nén

b. Các phương pháp phi tiêu chuẩn

a, Xác định một số tính chỉ tiêu kỹ thuật của cốt liệu polystyrene phòng nổ

- Khối lượng thể tích xốp của cốt liệu polystyrene phòng nổ

Khối lượng thể tích xốp của cốt liệu EPS xác định dựa trên tiêu chuẩn TCVN 7752-6: 2006 Cốt liệu cho bê tông và vữa- phương pháp thử -Phần 6: Xác định khối lượng thể tích xốp và độ hong.

- Xác định độ rỗng của cốt liệu polystyrene phòng nổ

Xác định độ rỗng của cốt liệu EPS có sử dụng các dụng cụ là ống đong 1.000 ml, ống đong có chia vạch chính xác đến ml, màng ngăn không thấm nước. Cốt liệu EPS được cho từ từ vào ống đong 1000 ml. Khi đã đong đủ 1.000 ml, lắp màng ngăn phía trên nhằm cố định lượng cốt liệu trong bình. Dùng ống đong chia độ đổ từ từ nước sạch vào ống. Khi đổ lắc nhẹ ống để đuổi hết bọt khí. Đổ nước đến khi mực nước trong ống đạt gần 1000ml (cùng mặt trên của cốt liệu trong bình).

Độ rỗng của cốt liệu được tính bằng lượng nước thêm vào (ml) chia cho 1000ml.

Tiến hành 03 lần thử với 03 mẫu khác nhau của cùng loại cốt liệu. Độ rỗng của cốt liệu là trung bình cộng kết quả của 03 lần thử.

- *Xác định khối lượng thể tích của cốt liệu polystyrene phòng nổ*

Khối lượng thể tích hạt của cốt liệu EPS tính theo công thức;

$$\gamma_{poh} = \frac{\gamma_{po}}{(1-r)} \quad (7)$$

Trong đó: γ_{poh} - khối lượng thể tích cốt liệu EPS kg/m³;

γ_{po} - khối lượng thể tích xốp của cốt liệu, kg/m³;

r - độ rỗng cốt liệu.

b) Xác định độ phân tầng của bê tông polystyrene kết cấu

Độ phân tầng của hỗn hợp bê tông polystyrene được xác định theo phương pháp đã áp dụng tại nghiên cứu [7].

Hỗn hợp bê tông sau khi trộn được cho vào bình đong hình trụ thể tích 5 lit thành 3 lớp mỗi lớp chiếm khoảng 1/3 chiều cao của bình đong. Sau khi đổ từng lớp thì dùng thanh thép tròn chọc đều trên toàn mặt hỗn hợp theo chiều từ xung quanh vào giữa. Mỗi lớp chọc 50 lần.

Sau khi làm phẳng lại mặt của hỗn hợp trong bình đong. Lấy ra lượng hỗn hợp bê tông thuộc ½ phía trên của bình. Sau đó lấy ra lượng hỗn hợp còn lại. Cân 2 phần hỗn hợp này. Độ phân tầng được xác định như sau.

$$Pt = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (8)$$

Trong đó:

Pt: độ phân tầng, %.

m_1 : khối lượng của ½ hỗn hợp bê tông phía trên, g.

m_2 : khối lượng của ½ hỗn hợp bê tông phía dưới, g.

c) Xác định độ co khô của bê tông của bê tông polystyrene kết cấu

Độ co khô của bê tông được xác định dựa trên tiêu chuẩn ASTM C157/157M-08 "Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic - Cement Mortar and Concrete" với một số điều chỉnh.

Mẫu sử dụng để xác định độ co khô có kích thước 100x100x285 mm với các đầu có mẫu đo được gắn vào bê tông trong quá trình đúc mẫu. Hỗn hợp bê tông được trộn theo cấp phối thí nghiệm. Sau khi đổ vào khuôn, hỗn hợp bê tông được che phủ bề mặt trong vòng 24h. Sau 24h tiến hành dỡ khuôn và đo giá trị ban đầu để làm cơ sở xác định độ co.

Theo dõi độ co của các mẫu bê tông đặt trong phòng thí nghiệm liên tục trong thời gian 3 tháng.

d) Xác định lực nhỏ của cốt thép trong bê tông polystyrene kết cấu

Lực nhỏ của cốt thép trong bê tông được xác định trên mẫu bê tông lập phương 15x15x15 cm có đặt trước thanh cốt thép tại chính tâm. Trong nghiên cứu lực nhỏ của cốt thép trong bê tông, NCS đã sử dụng mẫu thép tròn trơn và thép thanh vằn có đường kính thanh thép $\Phi 8$ đã được làm sạch bề mặt khỏi bụi bẩn.



a, Khung thép lắp mẫu thí nghiệm xác định lực nhỏ của cốt thép trong bê tông



b, Lắp khung thép thí nghiệm lực nhỏ của cốt thép trong bê tông

Hình 2.2 Khung thí nghiệm xác định lực nhỏ của cốt thép trong bê tông

Thanh thép được đặt trước khi đổ bê tông vào chính giữa mẫu. Thanh thép được lồng qua cơ cấu giữ cố định bằng vít sao cho không bị dịch chuyển trong quá trình đổ bê tông.

Mẫu bê tông và thép được dỡ khuôn sau 24 giờ và được bảo dưỡng trong điều kiện phòng thí nghiệm trong vòng 27 ngày tiếp theo.

Sử dụng khung thép lắp mẫu (Hình 2.2a) để xác lắp mẫu vào máy kéo thép (Hình 2.2b) để xác định lực nhổ của cốt thép trong bê tông .

c. Mô hình toán

Để so sánh các tính chất của bê tông như cường độ, khối lượng thể tích hay tính công tác thì cần đưa các giá trị này về các mức để tiện so sánh. Ví dụ, các mức khối lượng thể tích là 1.600 kg/m^3 , 1.800 kg/m^3 , 2.000 kg/m^3 , các mức cường độ chịu nén là 40 MPa, 60 MPa, 80 MPa.

Tuy nhiên, do đặc điểm của công tác chế tạo bê tông nên việc chế tạo bê tông có các tính chất chính xác như đã định là khó thực hiện. Do đó, trong nghiên cứu thực nghiệm, luận án có sử dụng kết quả thí nghiệm để xây dựng tương quan ảnh hưởng giữa các yếu tố, tính chất và biểu diễn các quan hệ này bằng mô hình toán.

Sử dụng mô hình đã xây dựng được để tính nội suy các giá trị cường độ tại các mức khối lượng thể tích và cường độ chịu nén của bê tông nền nhất định.

CHƯƠNG 3: NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO BÊ TÔNG POLYSTYRENE KẾT CẤU

3.1 Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến tính công tác của bê tông polystyrene kết cấu

Để nghiên cứu ảnh hưởng của bê tông nền và cốt liệu EPS đến tính chất của bê tông polystyrene kết cấu đã sử dụng các cấp phối bê tông nền với tính chất và vật liệu khác nhau. Bê tông polystyrene kết cấu được chế tạo bằng cách thêm một lượng cốt liệu EPS nhất định vào bê tông nền. Lượng dùng vật liệu chế tạo bê tông polystyrene kết cấu được tính toán trên cơ sở khối lượng thể tích hỗn hợp bê tông và tính chất vật liệu đầu vào. Các cấp phối bê tông nền và tính chất của chúng được trình bày tại Bảng 3.1. Lượng nước (N) trình bày trong Bảng 3.1 đã bao gồm lượng nước có trong phụ gia siêu dẻo.

Bảng 3.1 Cấp phối bê tông nền sử dụng trong nghiên cứu

Ký hiệu	Loại cốt liệu		Lượng dùng vật liệu						
	Cốt liệu nhỏ	Cốt liệu lớn	X, kg/m ³	N, lit/m ³	C, kg/m ³	Đ, kg/m ³	SF, kg/m ³	SP, l/m ³	VM, kg/m ³
M0.63.80.21V15	C1	-	793	309	970	-	79,34	7,93	1,19
M0.63.80.18V00	C1	-	779	303	953	-	77,94	5,80	1,17
M0.63.80.14V15	C1	-	776	302	949	-	77,61	4,66	1,16
M1.25.80.21V15	C2	-	768	299	938	-	76,76	7,68	1,15
M1.25.80.18V15	C2	-	754	293	921	-	75,37	5,61	1,13
M5.00.80.21V15	C3	-	746	290	911	-	74,56	7,46	1,12
M100.80.21V15	C3	D1	595	231	727	661	59,47	5,95	0,89
M100.80.18V15	C3	D1	587	228	718	653	58,73	4,44	0,88
M100.80.14V15	C3	D1	574	223	702	638	57,44	3,51	0,86
M100.80.18.V20	C3	D1	587	228	717	652	58,68	5,87	1,17
M100.80.18.V10	C3	D1	587	228	717	652	58,70	5,87	0,59
M200.80.21V15	C3	D2	597	232	730	664	59,73	5,97	0,90

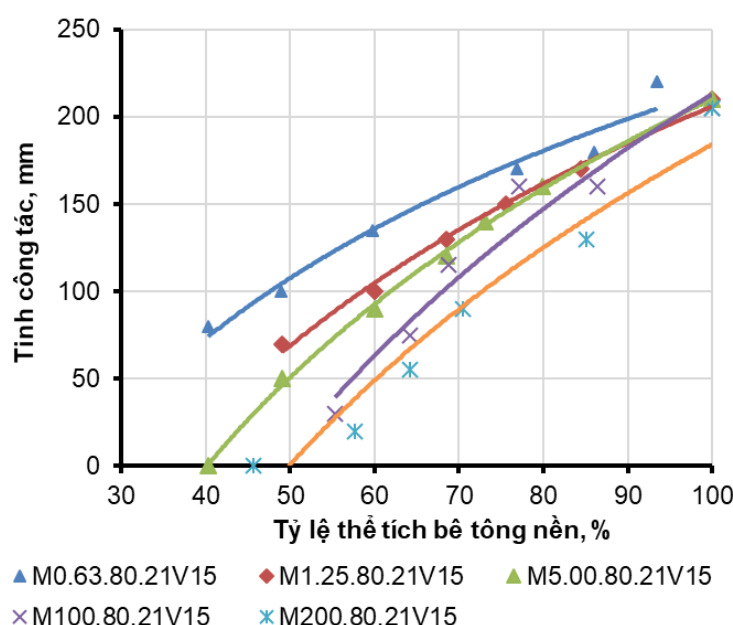
Ký hiệu	Loại cốt liệu		Lượng dùng vật liệu						
	Cốt liệu nhỏ	Cốt liệu lớn	X, kg/m ³	N, lit/m ³	C, kg/m ³	Đ, kg/m ³	SF, kg/m ³	SP, l/m ³	VM, kg/m ³
M200.80.18V15	C3	D2	593	231	724	659	59,27	3,62	0,89
M100.80.18.V15	C3	D2	587	228	718	653	58,75	3,59	0,88

Bảng 3.2 Tính chất của bê tông nền

Ký hiệu	Loại cốt liệu		SP, % X	VM, % X	N/X	Tính chất		
	Cốt liệu nhỏ	Cốt liệu lớn				KLTT, kg/m ³	Độ sụt, mm	R _{n28} , MPa
M0.63.80.21V15	C1	-	1,00	0,15	0,39	2.160	220	82,0
M0.63.80.18V00	C1	-	0,74	0,15	0,39	2.120	180	72,0
M0.63.80.14V15	C1	-	0,60	0,15	0,39	2.110	140	60,4
M1.25.80.21V15	C2	-	1,00	0,15	0,39	2.090	210	82,5
M1.25.80.18V15	C2	-	0,74	0,15	0,39	2.050	180	84,1
M5.00.80.21V15	C3	-	1,00	0,15	0,39	2.030	210	83,1
M100.80.21V15	C3	D1	1,00	0,15	0,39	2.280	205	78,2
M100.80.18V15	C3	D1	0,76	0,15	0,39	2.250	180	76,5
M100.80.14V15	C3	D1	0,61	0,15	0,39	2.200	140	75,5
M100.80.18.V20	C3	D1	1,00	0,20	0,39	2.250	180	69,3
M100.80.18.V10	C3	D1	1,00	0,10	0,39	2.250	205	76,2
M200.80.21V15	C3	D2	1,00	0,15	0,39	2.290	205	81,1
M200.80.18V15	C3	D2	0,61	0,15	0,39	2.270	180	82,4
M100.80.18.V15	C3	D2	0,61	0,15	0,39	2.250	140	82,2

Trước tiên, để nghiên cứu ảnh hưởng của bê tông nền đến tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu, đã sử dụng các cấp phối bê tông nền

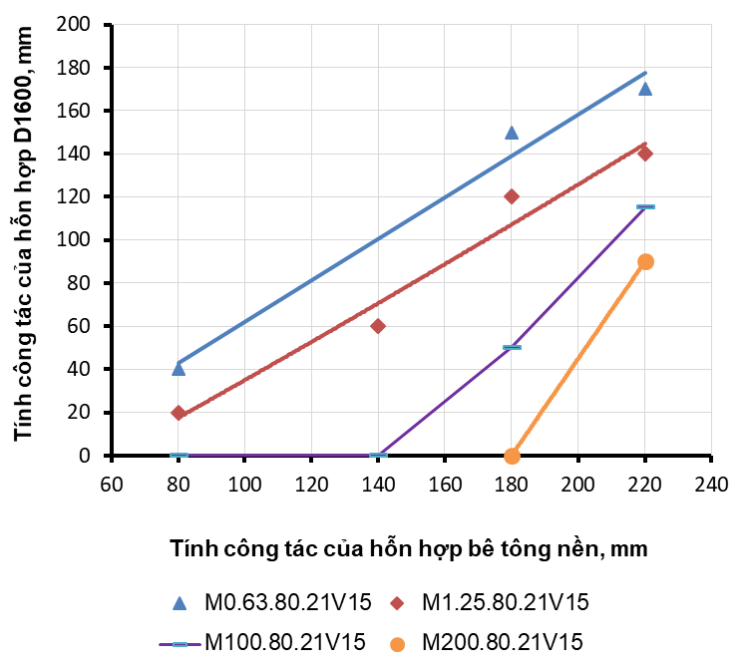
M0.63.80.21V15, M1.25.80.21V15, M100.80.21V15, M200.80.21V15. Các cấp phối nền này sử dụng 4 loại cốt liệu có kích thước hạt khác nhau, có cùng phụ gia VM là 0,15% và có cùng tính công tác. Bê tông polystyrene kết cấu được chế tạo bằng cách thêm polystyrene phòng nổ để hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu đạt giá trị khối lượng thể tích trong khoảng định trước là 2.000 kg/m³, 1.800 kg/m³, 1.600 kg/m³, 1.400 kg/m³. Các kết quả xác định tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu được trình bày trên Hình 3.1 trong mối tương quan với khối lượng thể tích và tỷ lệ thể tích bê tông nền của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu.



Hình 3.1 Ảnh hưởng của kích thước hạt lớn nhất trong bê tông nền

Kết quả thí nghiệm Hình 3.1 (số liệu Bảng A.3.1) cho thấy tính công tác và khối lượng thể tích của bê tông polystyrene phụ thuộc chủ yếu vào tỷ lệ thể tích bê tông nền. Khi giảm tỷ lệ thể tích bê tông nền, khối lượng thể tích bê tông polystyrene giảm, đồng thời, tính công tác giảm. Mức giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu tăng khi tăng kích thước hạt lớn nhất của bê tông nền. Với cùng mức khối lượng thể tích là 1.400 kg/m³, tính công tác của hỗn hợp bê tông có cấp phối nền M0.63.80.21V15 vẫn ở mức 120 mm trong khi các hỗn hợp bê tông sử dụng cấp phối nền M100.80.21V15 và M200.80.21V15 chỉ đạt từ 20 đến 60 mm. Như vậy, với cùng khối lượng thể tích của bê tông polystyrene kết cấu và cùng tính công tác của hỗn hợp bê tông nền thì tăng kích thước hạt lớn nhất của bê tông nền, làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu.

Để làm rõ ảnh hưởng của tính công tác và kích thước hạt lớn nhất của bê tông nền đến tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu, thí nghiệm đã được thực hiện với các hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu có khối lượng thể tích 1.600 kg/m^3 dựa trên cấp phối bê tông nền M0.63.80.21V15, M1.25.80.21V15, M100.80.21V15, M200.80.21V15 tại Bảng 3.1. Tính công tác của bê tông nền được điều chỉnh thông qua việc thay đổi tỷ lệ sử dụng phụ gia siêu dẻo trên xi măng.



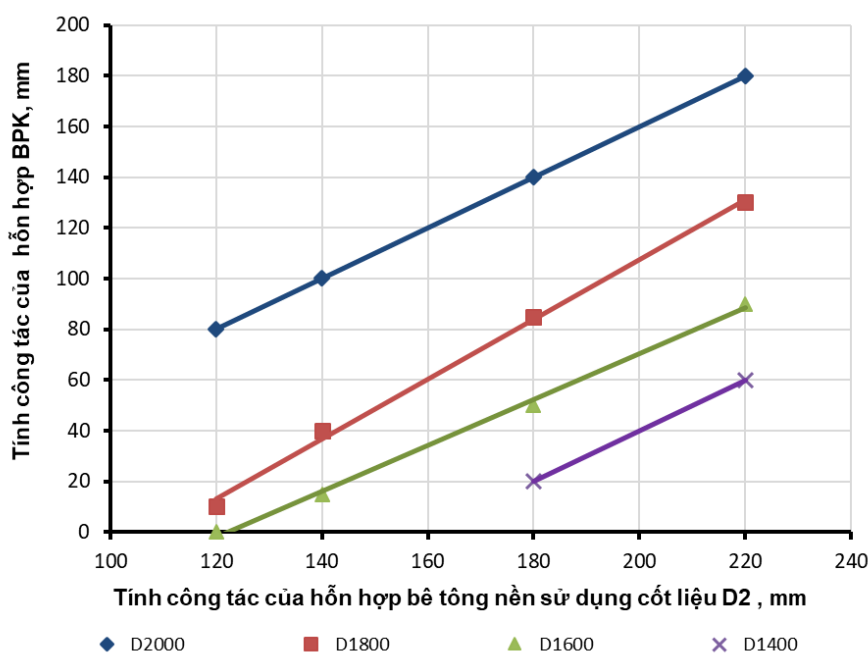
Hình 3.2 Ảnh hưởng của tính công tác của hỗn hợp bê tông nền

Kết quả thể hiện trên Hình 3.2 (số liệu Bảng A.3.2) cho thấy, với cấp phối nền sử dụng cốt liệu lớn D1 và D2, tính công tác của hỗn hợp bê tông giảm nhanh chóng khi khối lượng thể tích bê tông giảm. Cụ thể, với cấp phối nền sử dụng cốt liệu D2 có tính công tác là 180 mm thì tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu là 0 mm tại D1600, trong khi đó, giá trị tương ứng khi cấp phối nền sử dụng cốt liệu D1 là 50 mm, cốt liệu C1 là 140 mm. Như vậy, kích thước hạt trong bê tông nền càng nhỏ thì mức độ giảm tính công tác càng ít.

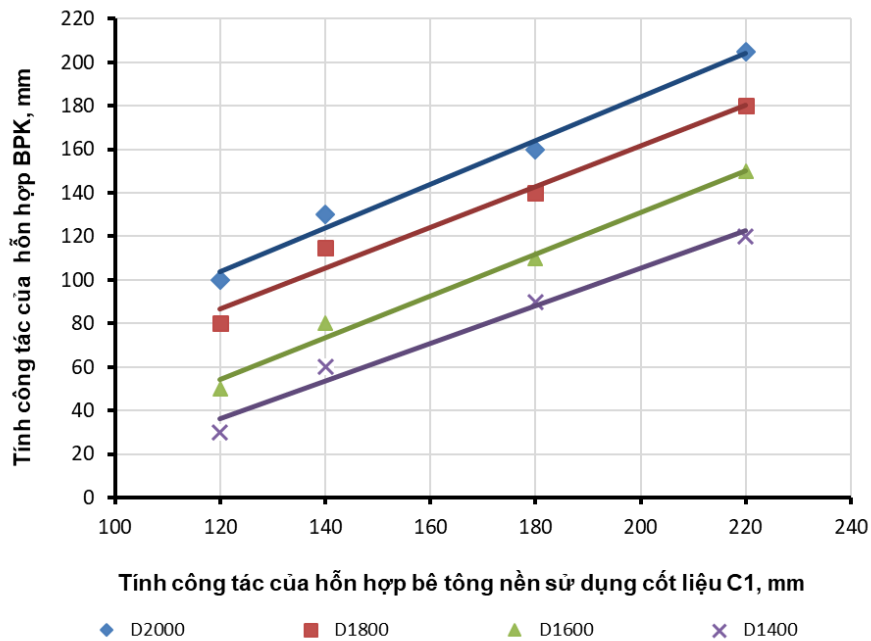
Đó là do, khi bổ sung thêm cốt liệu polystyrene vào hỗn hợp bê tông nền đã làm giảm lượng hồ trong hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu. Hồ chất kết dính bao bọc xung quanh hạt cốt liệu, lấp đầy các lỗ rỗng giữa các hạt cốt liệu, đồng thời có vai trò làm lớp đệm tạo độ dẻo cho hỗn hợp bê tông. Khi sử dụng cốt liệu bê tông polystyrene kết cấu để làm giảm khối lượng thể tích của bê tông thì thể

tích hồ xi măng trong bê tông polystyrene kết cấu nhỏ hơn trong bê tông nền. Càng giảm khối lượng thể tích bê tông polystyrene kết cấu, thể tích hồ xi măng càng giảm, làm giảm tính công tác của hỗn hợp.

Để xem xét ảnh hưởng của tính công tác bê tông nền đến tính công tác của bê tông polystyrene kết cấu, nghiên cứu đã dùng các cấp phối nền M200.80.21V15, M200.80.18V15, M100.80.18.V15 (Bảng 3.1) sử dụng cốt liệu C3 và D2 kích thước hạt lớn nhất là 20mm, cấp phối nền M0.63.80.21V15, M0.63.80.18V00, M0.63.80.14V15 (Bảng 3.1) sử dụng cốt liệu C1 có kích thước hạt lớn nhất là 0,63 mm. Hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu, sau khi bổ sung lượng cốt liệu polystyrene phòng nở định trước, được xác định tính công tác và khối lượng thể tích. Dựa trên các số liệu này, nghiên cứu đã xác định phương trình hồi quy thể hiện tương quan giữa tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu và tính công tác của bê tông nền. Đồ thị Hình 3.3, Hình 3.4 được xây dựng với khối lượng thể tích bê tông polystyrene kết cấu ở các mức 2.000 kg/m³ (D2000), 1.800 kg/m³ (D1800), 1.600 kg/m³ (D1600), 1.400 kg/m³ (D1400).



Hình 3.3 Tính công tác của BPK khi bê tông nền sử dụng cốt liệu D2



Hình 3.4 Tính công tác của BPK khi bê tông nền sử dụng cốt liệu C1

Hình 3.3 (số liệu Bảng A3.3), Hình 3.4 (số liệu Bảng A3.3) cho thấy quan hệ tuyến tính giữa tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu và tính công tác của hỗn hợp bê tông nền. Khi tính công tác bê tông nền giảm 40 mm thì tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu cũng giảm khoảng 40 mm. Điều này thể hiện tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu không chỉ phụ thuộc cốt liệu nhẹ mà còn phụ thuộc tính chất ban đầu của bê tông nền. Các cấp phối đã sử dụng trong phần nghiên cứu này có nước, bao gồm lượng nước có trong phụ gia siêu dẻo, không đổi. Do đó, với cùng mức khối lượng thể tích thì có thể coi thành phần cốt liệu của bê tông polystyrene kết cấu là như nhau, lớp đệm tạo bởi hồ chất kết dính như nhau. Tính công tác khác nhau giữa các cấp phối bê tông polystyrene kết cấu có cùng khối lượng thể tích hoàn toàn chịu ảnh hưởng bởi độ linh động của hồ chất kết dính trong pha nền.

Kết quả cũng cho thấy sự khác biệt lớn về mức độ suy giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu khi sử dụng bê tông nền có kích thước hạt lớn nhất khác nhau. Với hỗn hợp bê tông sử dụng cốt liệu C1 có kích thước hạt lớn nhất là 0,63 mm, tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu giảm khoảng 20 đến 30 mm khi khối lượng thể tích bê tông polystyrene kết cấu giảm 200 kg/m³. Trong khi đó, hỗn hợp bê tông sử dụng cốt liệu D2 có xu hướng

giảm tính công tác nhanh hơn, tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu giảm khoảng 40 mm khi khối lượng thể tích giảm 200 kg/m³. Điều này cũng đã được thể hiện ở Hình 3.1. Như vậy, với cùng tính công tác của hỗn hợp bê tông nền, với cùng khối lượng thể tích của bê tông polystyrene kết cấu, khi tăng kích thước hạt cốt liệu trong bê tông nền thì tính công tác của bê tông polystyrene kết cấu giảm và mức độ giảm tính công tác tăng.

3.2 Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến độ phân tầng của bê tông polystyrene kết cấu

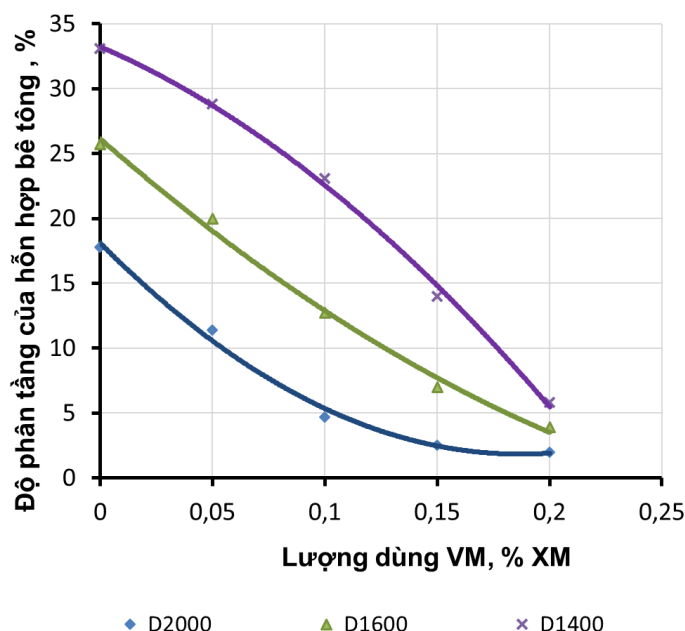
Trong thực tế, hỗn hợp bê tông là một hệ không đồng nhất bao gồm các thành phần có khối lượng thể tích khác nhau. Hiện tượng phân tầng khiến cho cốt liệu có khối lượng thể tích lớn có xu hướng dịch chuyển xuống dưới và hồ chất kết dính và cốt liệu nhẹ có xu hướng dịch chuyển lên trên (Hình 3.5). Vì vậy, hiện tượng phân tầng trong bê tông cần được hạn chế để đảm bảo đồng nhất các tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông.



Hình 3.5 Phân tầng trong bê tông polystyrene kết cấu

Hiện nay, tiêu chuẩn quốc gia chưa có quy định về độ phân tầng đối với bê tông nhẹ kết cấu. Đối với bê tông trộn sẵn, TCVN 9340:2012 quy định mức độ phân tầng của hỗn hợp bê tông được đánh giá thông qua độ tách nước và độ tách vữa. Theo đó, độ tách vữa không vượt quá 3% với hỗn hợp bê tông có tính công tác ở cấp D1, D2; không vượt quá 4% với hỗn hợp bê tông có tính công tác ở cấp D3, D4. Tiêu chuẩn GOST P 51263-2012 quy định đối với hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu cách nhiệt thì độ phân tầng không quá 25 %.

Nghiên cứu độ phân tầng của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu có khối lượng thể tích ở các mức 1.400 kg/m³, 1.600 kg/m³, 2.000 kg/m³ được thực hiện trên các cấp phối nền M200.80.21V15 sử dụng cốt liệu lớn D2 trình bày tại Bảng 3.3, không sử dụng phụ gia điều chỉnh độ nhớt. Kết quả cho thấy, với tính công tác của cấp phối nền là 220 mm, độ phân tầng của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu khối lượng thể tích D2000 là 17%, tại D1600 là 27 %, tại D1400 là 34 %. Như vậy, với cấp phối nền không sử dụng phụ gia điều chỉnh độ nhớt thì độ phân tầng khá cao và có xu hướng tăng khi khối lượng thể tích bê tông polystyrene kết cấu giảm. Độ phân tầng của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu vượt mức 25% khi khối lượng thể tích hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu nhỏ hơn 1.600 kg/m³. Phân tầng làm hỗn hợp không đồng nhất nên cần có các biện pháp để đảm bảo giảm độ phân tầng của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu.

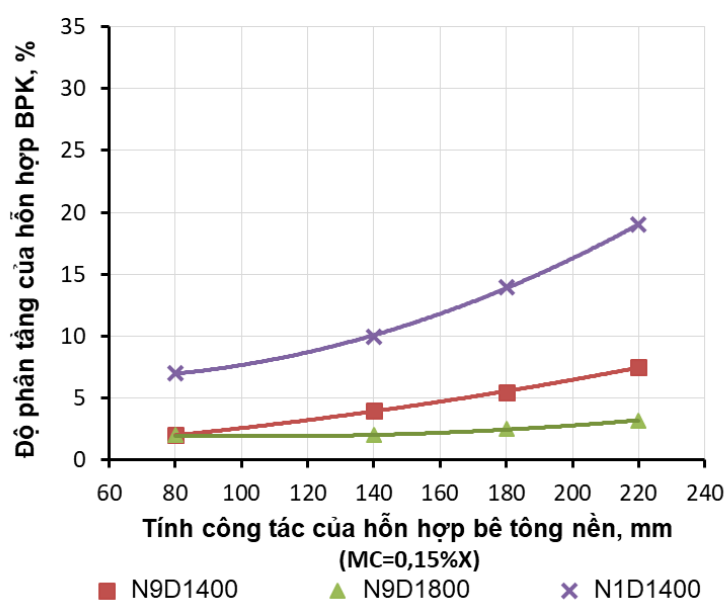


Hình 3.6 Ảnh hưởng của VM đến độ phân tầng

Để xem xét ảnh hưởng của việc sử dụng phụ gia điều chỉnh độ nhớt đến độ phân tầng của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu, nghiên cứu đã sử dụng cấp phối nền M200.80.21V15 (Bảng 3.1) với phụ gia điều chỉnh độ nhớt ở các mức 0,05%, 0,1%, 0,15%, 0,2%. Hình 3.6 (Bảng A3.6) cho thấy việc sử dụng phụ gia điều chỉnh độ nhớt có ảnh hưởng lớn đến độ phân tầng của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu và ảnh hưởng này càng thể hiện rõ với các hỗn hợp có khối lượng thể tích thấp. Khi tăng phụ gia điều chỉnh độ nhớt thì chênh lệch độ phân

tăng của bê tông polystyrene kết cấu ở các khối lượng thể tích khác nhau giảm xuống. Với phụ gia điều chỉnh độ nhớt là 0,15%, khối lượng thể tích của bê tông polystyrene kết cấu đảm bảo điều chỉnh độ nhớt không vượt quá 25%.

Nguyên nhân là do phụ gia là một hợp chất hữu cơ có khả năng làm giảm lượng nước tự do trong hỗn hợp khiến độ nhớt của hồ chất kết dính tăng. Khi tăng lượng sử dụng VM thì độ nhớt của hồ chất kết dính tăng, hạn chế sự dịch chuyển của các thành phần trong hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu.



Hình 3.7 Ảnh hưởng đến độ phân tầng

Để nghiên cứu ảnh hưởng của tính công tác bê tông nền đến tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu, nghiên cứu đã sử dụng các cấp phối nền M0.63.80.21V15 và M200.80.21V15 (Bảng 3.1). phụ gia VM cố định là 0,15%, phụ gia siêu dẻo được điều chỉnh sao cho cấp phối nền đạt được tính công tác 80 mm, 140 mm, 180 mm, 220 mm. Kết quả thể hiện trên Hình 3.7 cho thấy độ phân tầng của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu tăng khi tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông nền.

Điều này là do phụ gia siêu dẻo SP có gốc polycarboxylate, có kích thước phân tử lớn, khi hoà tan trong nước đã thúc đẩy sự phân tán của xi măng trong hồ chất kết dính, giải phóng lượng nước tự do, làm tăng độ linh động của hồ. Khi tăng lượng sử dụng phụ gia siêu dẻo (với tổng nước và phụ gia không đổi), mặc

dù tỷ lệ giữa các pha trong bê tông polystyrene kết cấu là không đổi nhưng tính chất của hồ chất kết dính đã thay đổi theo hướng giảm độ nhớt của hồ.

Kết quả trên cũng cho thấy độ phân tầng của hỗn hợp bê tông phụ thuộc kích thước cốt liệu trong bê tông nền. Hỗn hợp bê tông nền có đường kính cốt liệu càng nhỏ thì khả năng phân tầng của hỗn hợp càng cao. Kết quả này cũng tương đồng với kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của tính công tác của hỗn hợp bê tông nền đến tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu.

Như vậy, để giảm độ phân tầng của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu thì cần giảm tính công tác của cấp phối nền hoặc sử dụng phụ gia điều chỉnh độ nhớt.

3.3 Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến cường độ chịu nén của bê tông polystyrene

3.3.1 Ảnh hưởng của phụ gia hóa học

Cũng giống như bê tông thông thường, cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu chịu ảnh hưởng lớn bởi tỷ lệ chất kết dính trên nước. Việc sử dụng thêm phụ gia khoáng với độ mịn cao làm tăng nước của hỗn hợp bê tông khiến cho cường độ của bê tông polystyrene kết cấu giảm. Chính vì vậy, phụ gia siêu dẻo cần được sử dụng để giảm nước của hỗn hợp đồng thời đảm bảo tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu. Để xác định ảnh hưởng của phụ gia hóa đến cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu, nghiên cứu đã thực nghiệm trên các cấp phối có khối lượng thể tích thiết kế ở mức 1.600 kg/m³. Các cấp phối thí nghiệm trong phần nghiên cứu này có lượng phụ gia SP được điều chỉnh để hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu có được tính công tác khác nhau. Lượng phụ gia VM cố định ở mức 0,15%. Thành phần cấp phối sử dụng trong nghiên cứu được trình bày tại Bảng 3.3, từ M0.63.80.21V15A1 đến M100.80.21V15A10. cốt liệu EPS được tính theo thể tích xốp.

Bảng 3.3 Cấp phối bê tông BPK sử dụng trong nghiên cứu

Ký hiệu	Cấp phối nền	Cốt liệu sử dụng	Lượng dùng vật liệu							
			X, kg/m ³	N, lit/m ³	C, kg/m ³	Đ, kg/m ³	SF, kg/m ³	SP, l/m ³	VM, kg/m ³	EPS, kg/m ³
A1	M0.63.80.21V15	C1	591	230	722	-	59,06	5,91	0,89	4,93
A2	M0.63.80.21V15	C1	579	225	708	-	57,91	4,28	0,87	4,83
A3	M0.63.80.21V15	C1	565	220	690	-	56,47	3,39	0,85	4,71
A4	M1.25.80.21V15	C2	575	224	703	-	57,50	5,75	0,86	4,47
A5	M1.25.80.21V15	C2	579	225	708	-	57,92	4,28	0,87	4,51
A6	M1.25.80.21V15	C2	561	218	686	-	56,12	3,37	0,84	4,37
A7	M1.25.80.21V15	C2	591	230	722	-	59,07	2,96	0,89	4,60
A8	M100.80.21V15	D1, C3	408	159	499	453	40,80	4,08	0,61	5,89
A9	M100.80.21V15	D1, C3	408	159	499	453	40,82	3,10	0,61	5,89
A10	M100.80.21V15	D1, C3	401	156	490	445	40,06	2,45	0,60	5,79
A11	M100.80.21V15	D1, C3	411	160	502	456	41,05	4,11	0,82	5,93
A12	M100.80.21V15	D1, C3	403	157	492	447	40,28	4,03	0,40	5,82
A13	M100.80.21V15	D1, C3	398	155	486	441	39,77	3,98	0,20	5,75

Kết quả xác định tính công tác, khối lượng thể tích hỗn hợp bê tông và cường độ chịu nén của bê tông được trình bày trong Bảng 3.4.

Các thí nghiệm đã tiến hành với ba nhóm cấp phối nền sử dụng kích thước hạt cốt liệu lớn nhất lần lượt là 0,63 mm (C1), 1,25 mm (C2), 10 mm (D1) với cấp phối từ A1 đến A10 (Bảng 3.1) cho thấy khi giảm phụ gia siêu dẻo, tính công tác của hỗn hợp bê tông giảm nhưng cường độ chịu nén của bê tông thay đổi trong khoảng 5%. Điều này cho thấy việc sử dụng phụ gia siêu dẻo PS trong bê tông polystyrene, khi nước không đổi, chỉ làm thay đổi tính công tác của hỗn hợp, mà không ảnh hưởng đáng kể đến cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu.

Bảng 3.4 Cường độ chịu nén

Ký hiệu	Cấp phối nền	Cốt liệu sử dụng	KLTT, kg/m ³	Tính công tác, mm	Cường độ chịu nén, MPa, ở tuổi		
					3	7	28
A1	M0.63.80.21V15	C1	1.610	160	19,3	25,5	32,8
A2	M0.63.80.21V15	C1	1.580	120	18,5	26,0	28,1
A3	M0.63.80.21V15	C1	1.540	60	17,8	26,6	26,9
A4	M1.25.80.21V15	C2	1.570	150	17,0	24,1	30,0
A5	M1.25.80.21V15	C2	1.580	110	17,9	26,6	29,8
A6	M1.25.80.21V15	C2	1.530	60	18,0	24,9	29,8
A7	M1.25.80.21V15	C2	1.610	40	17,8	26,3	30,9
A8	M100.80.21V15	D1, C3	1.570	115	26,4	27,4	29,4
A9	M100.80.21V15	D1, C3	1.570	50	26,4	28,0	28,3
A10	M100.80.21V15	D1, C3	1.540	0	20,7	26,6	30,0
A11	M100.80.21V15	D1, C3	1.580	110	26,1	27,2	28,3
A12	M100.80.21V15	D1, C3	1.550	115	26,4	27,8	28,9
A13	M100.80.21V15	D1, C3	1.530	120	26,1	28,3	31,1

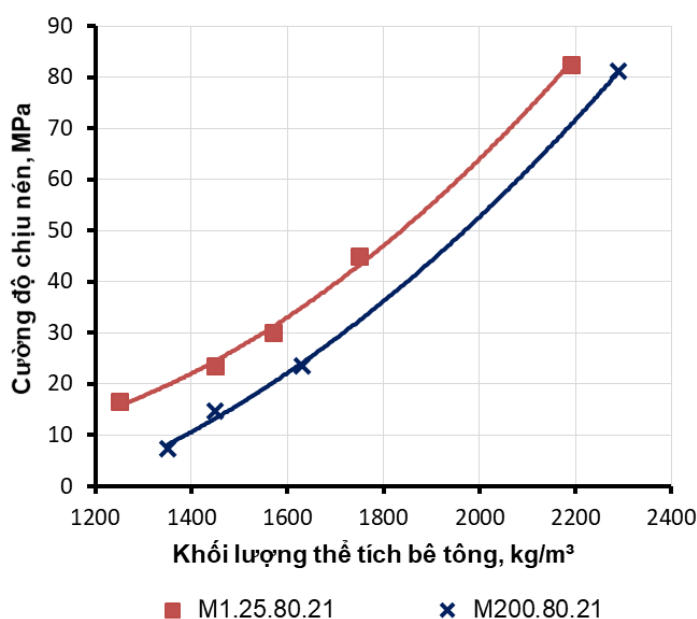
Mặt khác, do sự chênh lệch lớn về khối lượng thể tích của cốt liệu EPS so với khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông nền nên nguy cơ phân tầng xảy ra đối với hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu lớn hơn nhiều so với bê tông nặng [10]. Chính vì vậy, phụ gia điều chỉnh độ nhớt được sử dụng trong nghiên cứu nhằm hạn chế sự phân tầng của hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu.

Nghiên cứu ảnh hưởng của phụ gia VM đến cường độ chịu nén của bê tông polystyrene được thực hiện với các cấp phối A8, A11, A12, A13 (Bảng 3.2). Kết quả thí nghiệm (Bảng 3.3) cho thấy trên cùng cấp phối nền sử dụng cốt liệu D1 và C3, phụ gia SP dùng 1%, phụ gia VM thay đổi từ 0,05% đến 0,2% thì không ảnh hưởng đến tính công tác của hỗn hợp bê tông và cường độ chịu nén của bê tông. Điều này là do phụ gia điều chỉnh độ nhớt là các hợp chất hữu cơ có khả

năng làm giảm lượng nước tự do trong dung dịch và vì vậy làm tăng độ nhớt của bê tông. Trong hỗn hợp hồ xi măng, các chuỗi phân tử VM đan xen vào nhau đảm bảo sự ổn định của hỗn hợp. Khi vận tốc biến dạng trượt tăng lên, các chuỗi phân tử có khả năng duỗi ra theo hướng chảy, làm giảm độ nhớt của hồ xi măng. Hiện tượng này đảm bảo sự ổn định của hỗn hợp bê tông ở trạng thái tĩnh và đảm bảo tính công tác của hỗn hợp bê tông.

3.3.2 Ảnh hưởng của đường kính hạt cốt liệu lớn nhất trong bê tông nền

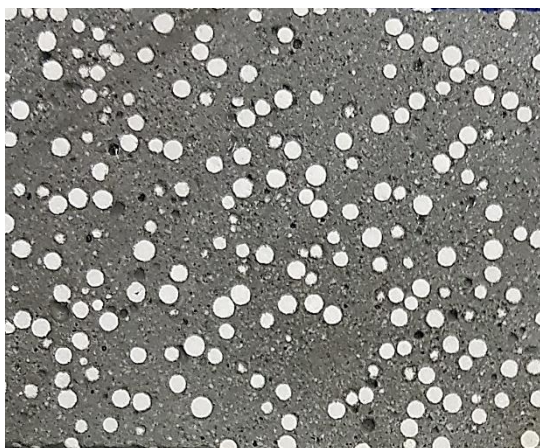
Bê tông là hệ composite mà cường độ của nó chịu ảnh hưởng của cường độ pha cốt liệu và pha nền (đá xi măng) và liên kết giữa các pha này. Với bê tông nặng, để nâng cao cường độ có thể sử dụng loại cốt liệu đá có cường độ cao hơn, bề mặt được sàng rửa sạch để nâng cao liên kết với đá xi măng hoặc sử dụng loại xi măng cường độ cao. Tuy nhiên, với bê tông polystyrene kết cấu thì việc bổ sung vào bê tông nền một lượng cốt liệu EPS có cường độ nhỏ làm cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu giảm, tuy nhiên mức suy giảm cường độ còn phụ thuộc vào một số yếu tố khác.



Hình 3.8 Ảnh hưởng của của khối lượng thể tích

Để nghiên cứu ảnh hưởng kích thước hạt lớn nhất trong bê tông nền đến cường độ chịu nén của bê tông polystyrene, nghiên cứu đã tiến hành trên các cấp phối nền M1.25.80.21V15, M200.80.21V15 (Bảng 3.1). Kết quả nghiên cứu quan

hệ giữa cường độ chịu nén và khối lượng thể tích của bê tông khi bổ sung cốt liệu EPS và bê tông nền để bê tông polystyrene kết cấu đạt được khối lượng thể tích bê tông polystyrene 2.000 kg/m^3 đến 1.400 kg/m^3 cho thấy cường độ chịu nén của bê tông polystyrene chịu ảnh hưởng trước hết bởi khối lượng thể tích của bê tông, tức là tỷ lệ thể tích bê tông nền (Hình 3.8). Đồng thời, sự suy giảm cường độ không theo quy luật tuyến tính mà theo đường cong với sự thay đổi cường độ lớn khi khối lượng thể tích dưới 1.600 kg/m^3 . Mức độ giảm cường độ chịu nén ở cấp phối nền M200.80.21V15 có sử dụng cốt liệu D2 lớn gấp đôi cấp phối nền M1.25.80.21V15 sử dụng cốt liệu C2.



Hình 3.9 Bê tông BPK sử dụng bê tông nền M1.25.80.21V15

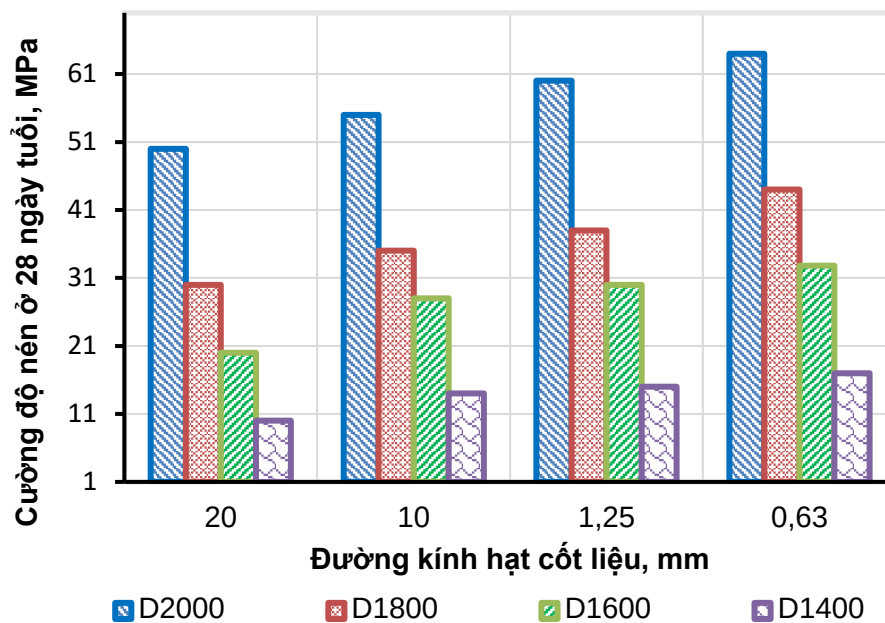


Hình 3.10 Bê tông BPK sử dụng bê tông nền M200.80.21V15

Kết quả trên đã chứng tỏ cường độ chịu nén của bê tông polystyrene không chỉ phụ thuộc khối lượng thể tích mà còn phụ thuộc đường kính lớn nhất của cốt liệu bê tông nền (Hình 3.9, Hình 3.10). Trong cấu trúc bê tông polystyrene kết cấu sử dụng bê tông nền M1.25.80.21V15, các hạt cốt liệu EPS phân bố khá đồng đều trong bê tông nền nên mức độ suy giảm cường độ chủ yếu chỉ phụ thuộc vào tỷ lệ thể tích bê tông nền. Trong bê tông polystyrene kết cấu có sử dụng bê tông nền M200.80.21V15 có sử dụng cốt liệu lớn thì cốt liệu EPS nằm trong phần vữa giữa các cốt liệu lớn có kích thước hạt và hình dạng hạt đa dạng. Lúc này, cốt liệu EPS trở thành vùng yếu, phân bố không đều trong bê tông. Chính vì vậy, mức suy giảm cường độ của bê tông polystyrene kết cấu có sử dụng bê tông nền với cốt liệu lớn là lớn hơn so với bê tông nền không sử dụng cốt liệu lớn.

Để xem xét ảnh hưởng của cốt liệu bê tông nền cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu, nghiên cứu đã sử dụng các cấp phối nền

M0.63.80.21V15, M1.25.80.21V15, M100.80.21V15, M200.80.21V15 (Bảng 3.1) có kích thước hạt lớn nhất lần lượt là 0,63 mm, 0,125 mm, 10 mm, 20 mm. Hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu, sau khi bổ sung lượng cốt liệu EPS định trước, được xác định tính công tác và khối lượng thể tích, cường độ chịu nén. Dựa trên các số liệu này, nghiên cứu đã thiết lập phương trình hồi quy thể hiện tương quan giữa đường kính lớn nhất của cốt liệu trong bê tông nền và cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu. Đồ thị Hình 3.9 được xây dựng với khối lượng thể tích bê tông polystyrene kết cấu ở các mức 2.000 kg/m³ (D2000), 1.800 kg/m³ (D1800), 1.600 kg/m³ (D1600), 1.400 kg/m³ (D1400).



Hình 3.11 Ảnh hưởng của cốt liệu bê tông nền

Hình 3.11 cho thấy cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu giảm khi đường kính hạt cốt liệu lớn nhất trong bê tông nền tăng. Với các cấp phối nền M100.80.21V15 hoặc M200.80.21V15, khi pha loãng bê tông nền bằng polystyrene phòng nổ, các hạt này phân bố đều trong pha vữa giữa các hạt cốt liệu lớn. Khi lượng polystyrene phòng nổ thêm vào đủ lớn khiến cho hồ chất kết dính không đủ để bao phủ bề mặt các hạt cốt liệu gồm có cốt liệu lớn, cát, polystyrene phòng nổ, thì cấu trúc của bê tông polystyrene có chuyển biến đáng kể thể hiện ở kết cấu đá chất kết dính trở nên không liên tục. Lúc này, cường độ chịu nén của bê tông polystyrene giảm mạnh. Với các cấp phối nền M0.63.80.21V15,

M1.25.80.21V15 (Bảng 3.1), cường độ chịu nén của bê tông polystyrene vẫn duy trì tốt ở mức khối lượng thể tích thấp.

Ảnh hưởng của đường kính hạt cốt liệu lớn nhất trong bê tông nền đến cường độ chịu nén của bê tông polystyrene tương đồng với các kết quả nghiên cứu tính công tác và độ phân tầng của hỗn hợp bê tông đã trình bày tại mục 3.1 và 3.2. Đó là do lượng hồ vữa xi măng trong bê tông nền lớn hơn trong bê tông nhẹ. Thể tích hồ trong bê tông polystyrene nhỏ hơn trong bê tông nền. Càng giảm tỷ lệ thể tích bê tông nền thì thể tích hồ càng giảm. Do cốt liệu EPS có tính đàn hồi cao, cường độ chịu nén không đáng kể nên cường độ của bê tông polystyrene phụ thuộc nhiều vào cường độ và cấu trúc vùng liên kết với bê tông nền. Khi giảm khối lượng thể tích, chiều dày của vùng liên kết này giảm, ảnh hưởng lớn đến khả năng chịu nén của bê tông polystyrene.

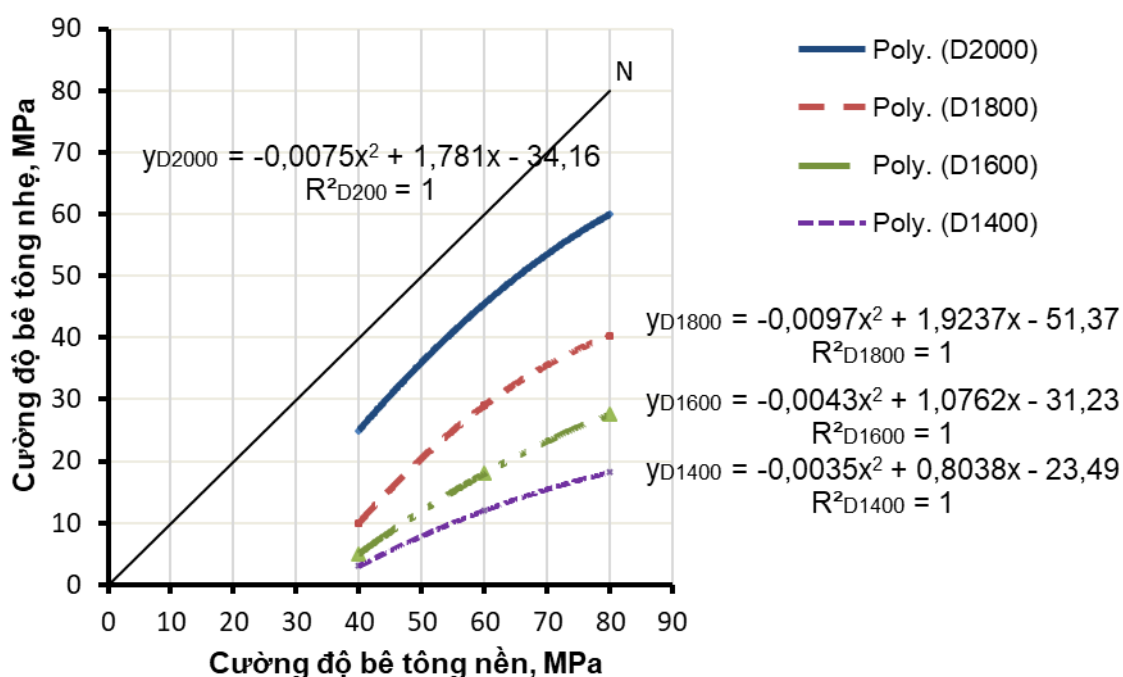
Nghiên cứu tương quan các tính chất của bê tông polystyrene và đường kính cốt liệu trong bê tông nền đã cho thấy tại mỗi mức khối lượng thể tích nhất định của bê tông polystyrene, tồn tại giới hạn kích thước hạt lớn nhất của bê tông nền sao cho cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu đạt giá trị lớn nhất.

3.3.3 Ảnh hưởng của cường độ chịu nén của bê tông nền

Như đã trình bày ở trên, cường độ của bê tông polystyrene kết cấu không chỉ phụ thuộc cường độ cốt liệu EPS, khối lượng thể tích bê tông mà còn phụ thuộc lớn và cường độ chịu nén của bê tông nền.

Nghiên cứu ảnh hưởng của cường độ chịu nén của bê tông nền đến cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu được thực hiện trên cấp phối nền M0.63.80.21V15. Thay thế một phần xi măng trong cấp phối nền bằng bột đá vôi có cùng độ mịn với lần lượt là 25%, 10%, 0% để điều chỉnh cường độ chịu nén của bê tông nền tương ứng là 42,3 MPa, 61,5 MPa, 82,1 MPa, thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của bê tông polystyrene với khối lượng thể tích 1.400 đến 2.000 kg/m³. Dựa trên kết quả thực nghiệm về khối lượng thể tích và cường độ thực tế của bê tông polystyrene kết cấu đã tính toán quy đổi ra các giá trị cường độ tại D1400, D1600, D1800, D2000 từ đó xây dựng biểu đồ thể hiện trong Hình 3.12.

Hình 3.12 thể hiện mối quan hệ giữa cường độ chịu nén của bê tông nền và cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu khi giảm khối lượng thể tích ở các mức D2000 đến D1400. Kết quả cho thấy, cấp phối có cường độ chịu nén của bê tông nền cao hơn thì tỷ lệ giảm cường độ khi giảm khối lượng thể tích thấp hơn các cấp phối có cường độ chịu nén của bê tông nền thấp. Kết quả này cho thấy cường độ của vách tạo bởi bê tông nền đóng vai trò quan trọng đảm bảo cường độ chịu nén của bê tông polystyrene. Kết quả này cũng phù hợp với các lý thuyết về bê tông.



Hình 3.12 Quan hệ về cường độ chịu nén của bê tông

Mặt khác, tương quan cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu với cường độ chịu nén của bê tông nền cũng cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của cốt liệu EPS với đặc trưng cường độ chịu nén không đáng kể có ảnh hưởng rất lớn, làm giảm cường độ chịu nén của bê tông polystyrene. Các đường biểu diễn quan hệ cường độ của bê tông polystyrene kết cấu ở mọi khối lượng thể tích đều nằm dưới đường phân giác của đồ thị. Điều này khác biệt rõ rệt với bê tông nặng thông thường hay bê tông keramzit.

Từ Hình 3.11, Hình 3.12 có thể thấy rằng để chế tạo bê tông polystyrene kết cấu có khối lượng thể tích từ 1.400 kg/m^3 nên sử dụng bê tông nền có cường độ chịu nén lớn hơn 60 MPa. Với bê tông polystyrene kết cấu có khối lượng thể

tích nhỏ hơn 1.600 kg/m^3 nên ưu dùng bê tông nền có kích thước hạt lớn nhất không quá 10 mm.

3.4 Các bước lựa chọn thành phần bê tông polystyrene kết cấu

Để thiết kế thành phần bê tông polystyrene, cần dựa vào các yêu cầu thiết kế đã đặt ra đối với hỗn hợp bê tông và bê tông, cụ thể là cường độ chịu nén, khối lượng thể tích, tính công tác. Các yêu cầu này được lấy làm căn cứ để lựa chọn các trong các bước được trình bày dưới đây.

Các bước lựa chọn thành phần bê tông polystyrene kết cấu thực hiện trình tự: lựa chọn kích thước hạt lớn nhất trong bê tông nền, lựa chọn cường độ bê tông nền, lựa chọn tính công tác của bê tông nền, thiết kế bê tông nền với các thông tin đã chọn, tính tỷ lệ thể tích bê tông nền, thí nghiệm thực tế. Chi tiết các bước như sau.

Bước 1: Lựa chọn kích thước hạt lớn nhất của bê tông nền theo cường độ chịu nén yêu cầu của bê tông polystyrene kết cấu.

Với bê tông polystyrene kết cấu có khối lượng thể tích từ 1.800 kg/m^3 đến 2.000 kg/m^3 có thể dùng bê tông nền có kích thước hạt lớn nhất đến 20 mm.

Với bê tông polystyrene kết cấu có khối lượng thể tích từ 1.600 kg/m^3 đến 1.800 kg/m^3 có thể dùng bê tông nền có kích thước hạt lớn nhất đến 10 mm.

Với bê tông polystyrene kết cấu có khối lượng thể tích từ 1.400 kg/m^3 đến 1.600 kg/m^3 có thể dùng bê tông nền có kích thước hạt lớn nhất đến 5 mm.

Trong mọi trường hợp trên, ưu tiên phương án sử dụng bê tông nền không sử dụng cốt liệu lớn.

Bước 2: Dựa vào cường độ chịu nén yêu cầu của bê tông polystyrene kết cấu, lựa chọn cường độ bê tông nền theo định hướng trong Bảng 3.5.

Bước 3: Dựa vào yêu cầu của tính công tác bê tông polystyrene kết cấu, lựa chọn tính công tác của hỗn hợp bê tông nền. Có thể tham khảo biểu đồ Hình 3.3, Hình 3.4.

Bước 4: Thiết kế thành phần bê tông nền theo các định hướng đã xác định tại bước 1, bước 2 và bước 3.

Bảng 3.5 Dự kiến sơ bộ cường độ chịu nén của bê tông BPK

KLTT	M40	M60	M80
D1400	—	—	20
D1600	—	20	25
D1800	—	25	40
D2000	20	40	50

Ghi chú:

- Số liệu trong bảng áp dụng với bê tông nền có kích thước hạt lớn nhất là 0,63 mm. Khi tăng kích thước hạt lớn nhất của bê tông nền lên 1 cấp sàng thì cường độ bê tông nhẹ tương ứng giảm 5 MPa.

- Khi tăng kích thước hạt lên 1 mắt sàng thì cường độ bê tông nhẹ giảm khoảng 2 MPa đến 3 MPa.

- Với bê tông polystyrene kết cấu có khối lượng thể tích nhỏ hơn 1400 kg/m³, nên xem xét phương án tăng cường độ bê tông nền lớn hơn 80 MPa.

Bước 5: Dựa vào khối lượng thể tích bê tông nền và khối lượng thể tích dự kiến của bê tông polystyrene kết cấu, tính tỷ lệ sử dụng bê tông nền hợp lý.

Bước 6: Thí nghiệm cấp phối sau khi tính toán, căn chỉnh theo thực tế.

3.5 Kết luận chương 3

- Với bê tông polystyrene kết cấu, được chế tạo bằng cách bổ sung lượng cốt liệu polystyrene phòng nỡ vào bê tông nền, tỷ lệ thể tích bê tông nền có ảnh hưởng lớn đến tính công tác và độ phân tầng của bê tông polystyrene. Tính công tác giảm và độ phân tầng tăng khi giảm khối lượng thể tích bê tông polystyrene.

- Mức thay đổi tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene phụ thuộc kích thước hạt lớn nhất trong bê tông nền. Kích thước hạt lớn nhất của bê tông nền càng nhỏ thì mức giảm tính công tác càng thấp khi giảm khối lượng thể tích bê tông polystyrene. Với cấp phối nền có chứa cốt liệu lớn, khi giảm độ sụt của cấp phối nền đi 40 mm thì độ sụt của bê tông polystyrene giảm tương ứng khoảng 40 mm. Trong khi cấp phối nền không chứa cốt liệu lớn, khi giảm độ sụt của cấp phối nền đi 40 mm thì độ sụt của bê tông polystyrene giảm tương ứng khoảng 20 mm.

- Ở cùng khối lượng thể tích, độ phân tầng tăng khi tính công tác của hỗn hợp bê tông nền tăng. Việc sử dụng phụ gia điều chỉnh độ nhớt là cần thiết nhằm giảm độ phân tầng của hỗn hợp bê tông polystyrene. Mức sử dụng hợp lý của phụ gia điều chỉnh độ nhớt là 0,15% so với xi măng.

- Cường độ chịu nén của bê tông polystyrene giảm khi giảm tỷ lệ thể tích bê tông nền. Mức giảm cường độ chịu nén của bê tông polystyrene phụ thuộc đường kính hạt lớn nhất trong bê tông nền. Với cùng cường độ chịu nén của bê tông nền, kích thước hạt lớn nhất của bê tông nền càng nhỏ thì mức giảm cường độ chịu nén càng thấp. Mức độ giảm cường độ chịu nén ở cấp phối nền M200.80.21V15 có sử dụng cốt liệu D2 lớn gấp đôi cấp phối nền M1.25.80.21V15 sử dụng cốt liệu C2. Ở cùng khối lượng thể tích, cường độ chịu nén của bê tông polystyrene giảm đáng kể khi đường kính cốt liệu bê tông nền lớn hơn 10 mm.

- Để chế tạo bê tông polystyrene kết cấu có khối lượng thể tích từ 1.400 kg/m³ nên sử dụng bê tông nền có cường độ chịu nén lớn hơn 60 MPa. Với bê tông polystyrene kết cấu có khối lượng thể tích nhỏ hơn 1.600 kg/m³ nên ưu dùng bê tông nền có kích thước hạt lớn nhất không quá 10 mm.

CHƯƠNG 4: NGHIÊN CỨU MỘT SỐ TÍNH CHẤT CỦA BÊ TÔNG POLYSTYRENE KẾT CẤU

4.1 Cường độ chịu nén và sự phát triển cường độ

Các nghiên cứu về bê tông đều cho thấy cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông có quan hệ chặt chẽ. Để làm sáng tỏ mối quan hệ này của bê tông polystyrene kết cấu, nghiên cứu đã được thực hiện trên các cấp phối trình bày tại Bảng 4.1.

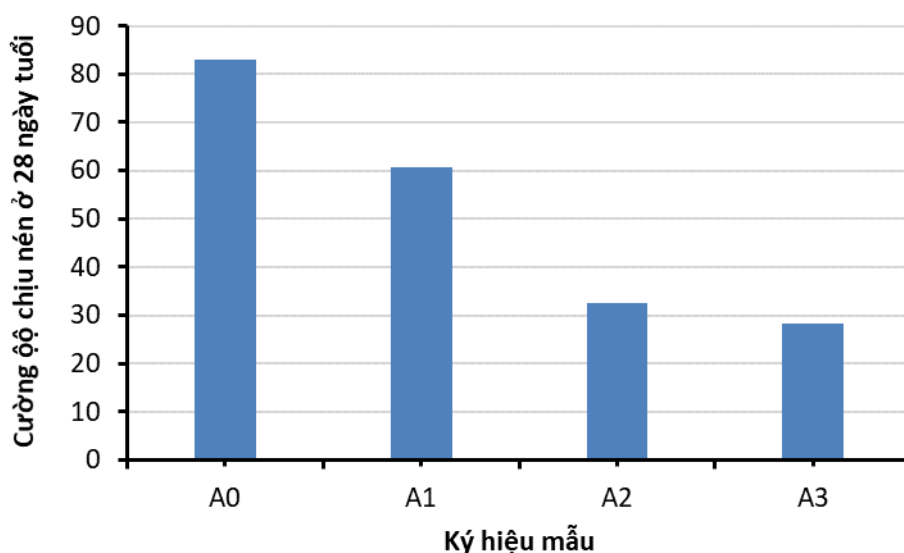
Bảng 4.1 Cấp phối bê tông sử dụng trong nghiên cứu

Ký hiệu	Loại xi măng	Loại cốt liệu	Thành phần vật liệu						
			X, kg/m ³	N, lit/m ³	C, kg/m ³	SF, kg/m ³	SP, lit/m ³	VM, kg/m ³	EPS, kg/m ³
A0	PC40	C3	746	290	911	74,56	3,7	1,12	0,00
A1	PC40	C3	664	258	811	66,37	4,9	1,00	2,95
A2	PC40	C3	579	225	707	57,86	3,5	0,87	4,83
A3	PC40	C3	519	202	635	51,94	5,2	0,78	5,77
A4	PCB40	C4	680	265	840	69,00	6,8	1,00	2,95
A5	PCB40	C4	580	230	720	59,00	5,8	0,87	4,83

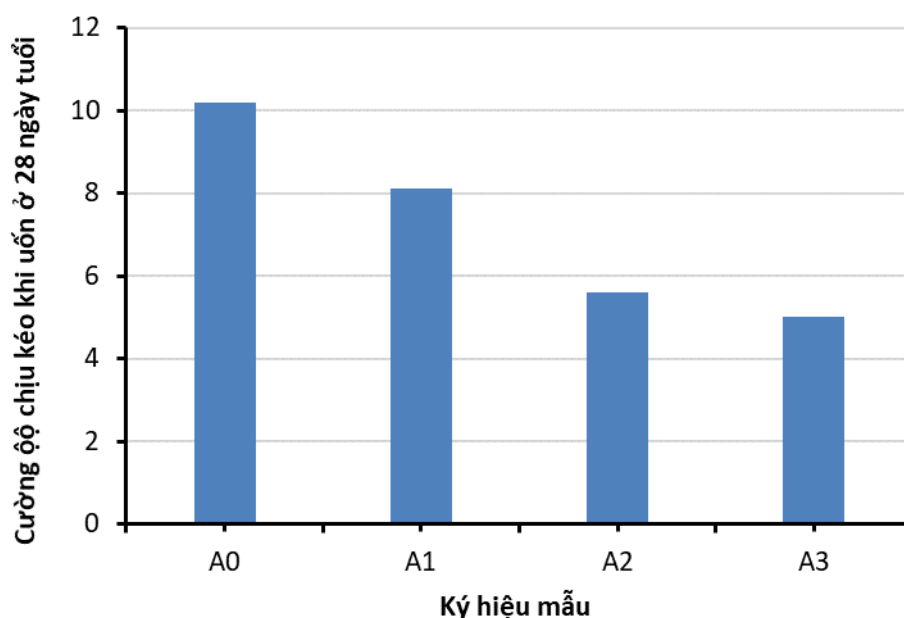
Bảng 4.2 Cường độ và sự phát triển cường độ

Ký hiệu	KLTT, kg/m ³	Tính công tác, mm	Cường độ chịu nén, MPa, ở tuổi			Cường độ chịu kéo khi uốn, MPa		
			3	7	28	3	7	28
A0	2.130	210	57,9	67,3	83,1	7,3	8,6	10,2
A1	1.810	170	45,6	52,2	60,8	5,1	6,4	8,1
A2	1.580	120	23,3	27,1	32,6	4,3	4,9	5,6
A3	1.420	70	19,6	23,4	28,3	4,2	4,67	5,0
A4	1.850	100	—	—	30,8	—	—	—
A5	1.610	50	—	—	25,9	—	—	—

Cường độ chịu nén và sự phát triển cường độ chịu nén được thí nghiệm trên các mẫu có kích thước tiêu chuẩn 150x150x150 mm. Cường độ chịu kéo khi uốn và sự phát triển cường độ chịu kéo được thí nghiệm trên mẫu 100x100x400 mm. Kết quả thí nghiệm được trình bày trong Bảng 4.2, Hình 4.1. Kết quả cường độ chịu kéo khi uốn thể hiện trong Bảng 4.2, Hình 4.2 đã được quy đổi về kích thước mẫu tiêu chuẩn 150x150x600 mm như quy định trong TCVN 3119:1993.



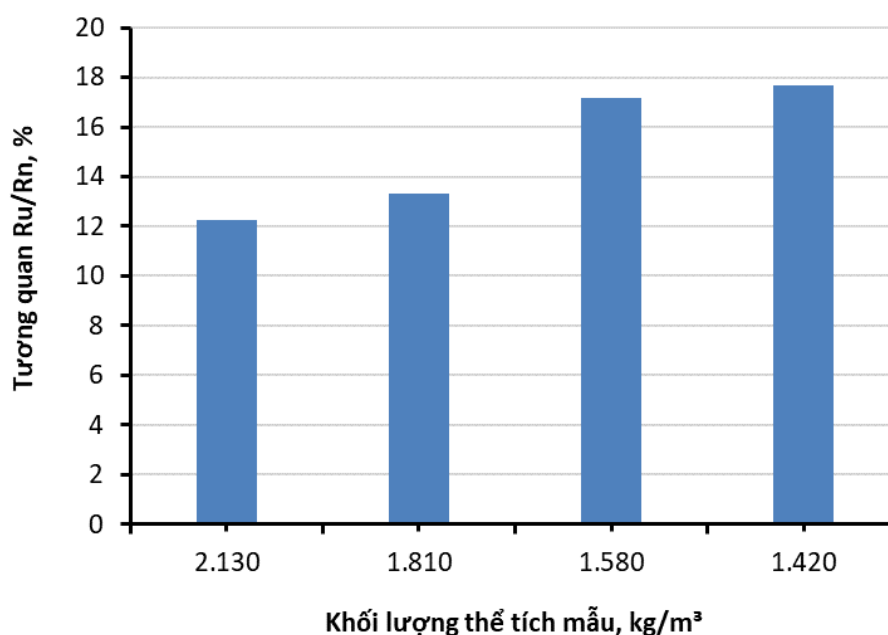
Hình 4.1 Cường độ chịu nén ở 28 ngày



Hình 4.2 Cường độ chịu kéo khi uốn ở 28 ngày

Cường độ bê tông polystyrene kết cấu phụ thuộc vào các vật liệu thành phần. Mẫu A4 và A5 có mức khối lượng thể tích gần tương đương mẫu A1 và A2, với lượng dùng vật liệu thực tế gần tương tự nhưng có cường độ chịu nén chênh lệch đáng kể. Mẫu A4 và A5 có sử dụng cốt liệu nhỏ là C4 với thành phần hạt khác so với cát C3, đồng thời xi măng sử dụng có cường độ chịu nén thấp hơn. Điều này chứng tỏ rằng cường độ chịu nén của bê tông polystyrene kết cấu phụ thuộc rất lớn vào cường độ chịu nén của bê tông nền và tỷ lệ thể tích bê tông nền.

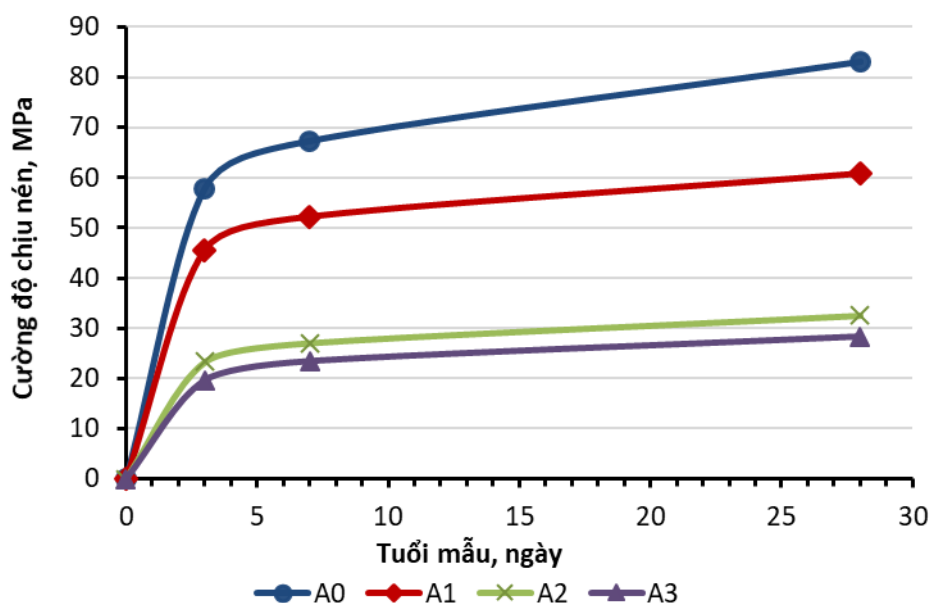
Cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo ở tuổi 28 ngày của mẫu thí nghiệm đều có sự thay đổi lớn trong tương quan với khối lượng thể tích bê tông. Theo đó, khi đưa polystyrene phòng nở vào hỗn hợp bê tông nền để khối lượng thể tích giảm khoảng 15% từ 2.130 kg/m³ xuống còn 1.810 kg/m³ thì cường độ chịu nén tương ứng giảm 26%, cường độ chịu kéo khi uốn giảm 26%. Trong khi đó, khi giảm thêm khối lượng thể tích xuống mức 1.580 kg/m³ thì cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn tương ứng giảm còn 60% và 45%.



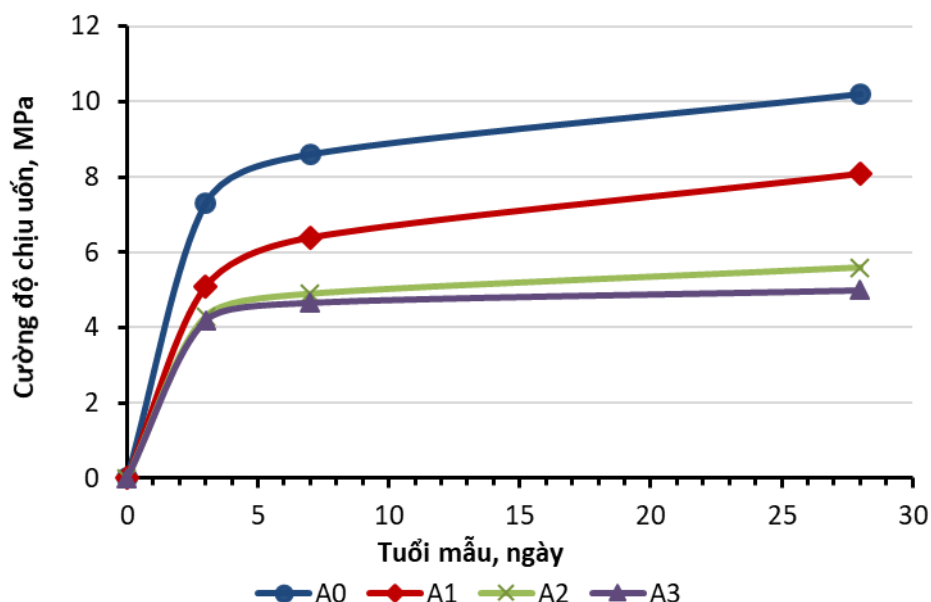
Hình 4.3 Tương quan cường độ R_u/R_n ở 28 ngày

Như vậy, khối lượng thể tích giảm thì cường độ bê tông giảm. Điều này tương đồng với kết quả nghiên cứu [37, 56, 60, 94] khi nghiên cứu cường độ của bê tông polystyrene có khối lượng thể tích từ 800 kg/m³ đến 1.500 kg/m³.

Tương quan cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo khi uốn của bê tông polystyrene kết cấu được thể hiện trên Hình 4.3. Kết quả cho thấy tương quan cường độ chịu kéo khi uốn so với cường độ chịu nén của polystyrene kết cấu nằm trong khoảng 12% đến 18 % và phụ thuộc lớn vào khối lượng thể tích của bê tông. Theo đó, khi tỷ lệ thể tích bê tông nền giảm, khối lượng thể tích giảm thì tỷ lệ R_u/R_n tăng.



Hình 4.4 Phát triển cường độ chịu nén



Hình 4.5 Phát triển cường độ chịu kéo khi uốn

Điều này có là do cốt liệu EPS có tính đàn hồi cao, khác biệt hoàn toàn với cốt liệu đá tự nhiên hoặc keramzit. Khi chịu lực uốn, mẫu bê tông có được biến dạng lớn hơn mẫu bê tông nền.

Bê tông polystyrene cũng như các loại bê tông trên nền xi măng phát triển cường độ mạnh trong vòng 28 ngày đầu. Hình 4.4, Hình 4.5 cho thấy cường độ chịu nén đạt đến 70-75% ở tuổi 3 ngày và đến 80-85% ở tuổi 7 ngày so với cường độ ở 28 ngày. Trong giai đoạn sau, cường độ chịu nén của bê tông vẫn tiếp tục phát triển, nhưng với tốc độ chậm. Đồng thời, bê tông có khối lượng thể tích càng nhỏ thì tốc độ phát triển cường độ trong những ngày đầu càng cao.

4.2 Độ co

Co ngót là biến dạng của bê tông khi không chịu tác động của ngoại lực, đó là một trong những đặc tính biến dạng quan trọng có ảnh hưởng lớn tới việc sử dụng bê tông. Về cơ chế, co ngót của bê tông bao gồm co do mất nước (ứng suất phát sinh trong mao quản khi mất nước), co do thủy hóa (suy giảm thể tích sản phẩm thủy hóa so với thể tích xi măng và nước ban đầu) và co nội tại (do nước trong mao quản và gel tham gia thủy hóa xi măng trong điều kiện không đủ lượng nước tự do). Tùy điều kiện cụ thể, hiện tượng co của bê tông quan sát được có thể là tổng hợp của các nguyên nhân nói trên.

Co ngót bê tông là một quá trình liên tục phụ thuộc không những vào bản chất của bê tông mà còn vào điều kiện môi trường bên ngoài. Quá trình này diễn ra từ khi bê tông còn trong quá trình đông kết cho đến khi đã đạt cường độ và được đưa vào sử dụng do đó việc theo dõi liên tục quá trình co bê tông là khó thực hiện. Các phương pháp tiêu chuẩn thường tiến hành đo khi bê tông đã đạt cường độ sau một quá trình bảo dưỡng. Trong thực tế, các kết cấu bê tông cốt thép có thể được tháo khuôn chỉ sau 1 ngày. Khi đó, với diện tích bề mặt hở lớn, quá trình bay hơi nước diễn ra mạnh sẽ thúc đẩy co ngót. Do đó, trong thí nghiệm này, bê tông sau khi được tạo hình trong khuôn thì bề mặt khuôn được che phủ bằng nilon để ngăn mất nước do bay hơi.

Nghiên cứu độ co mềm, trong 8 giờ sau khi trộn được thực hiện trên các cấp phối bê tông trình bày trong Bảng 4.1. Bê tông sau khi trộn được tạo hình trong khuôn 10x10x40 cm, để tĩnh định trong khoảng 3 h. Sau đó, tháo thành khuôn 10x10 cm, lắp đồng hồ đo, tiến hành đo độ co mềm. Thí nghiệm được tiến hành trong phòng thí nghiệm có độ ẩm 70%, nhiệt độ 28°C được giữ ổn định. Tiến

hành đo mất nước, co mềm của bê tông trong khi bề mặt mẫu có phủ nilon. Kết quả thí nghiệm trình bày trong Bảng 4.3.

Bảng 4.3 Độ co mềm của bê tông

Thời điểm, giờ	Độ co mềm, mm/m			
	A0	A1	A2	A3
3,0	0	0	0	0
3,5	0,427	0,220	0,209	0,031
4,0	0,462	0,405	0,427	0,040
4,5	1,826	1,848	1,013	1,056
5,0	3,058	2,125	1,076	1,127
5,5	3,243	2,409	1,913	1,867
6,0	4,180	2,937	2,300	1,959
6,5	4,338	3,091	2,474	2,278
7,0	4,422	3,586	2,777	2,428
7,5	4,400	3,687	2,802	2,564
8,0	4,422	3,588	2,901	2,582

Các số liệu về mất khối lượng của mẫu bê tông cũng được thí nghiệm đồng thời với các mẫu đo biến dạng. Mẫu xác định mất khối lượng được phủ kín bề mặt bằng nilon ngay sau khi làm phẳng bề mặt. Kết quả cho thấy mẫu không thay đổi khối lượng trong quá trình đóng rắn. Do đó, độ co mềm ghi nhận trong bảng 4.3 có thể coi là co trong quá trình mẫu đóng rắn.

Độ co mềm của mẫu xuất hiện ngay từ những giờ đầu thí nghiệm. Độ co sự phụ thuộc lớn vào khối lượng thể tích của mẫu. Theo đó, mẫu bê tông polystyrene kết cấu có khối lượng thể tích thấp thì có độ co mềm nhỏ hơn so với mẫu có khối lượng thể tích cao hơn.

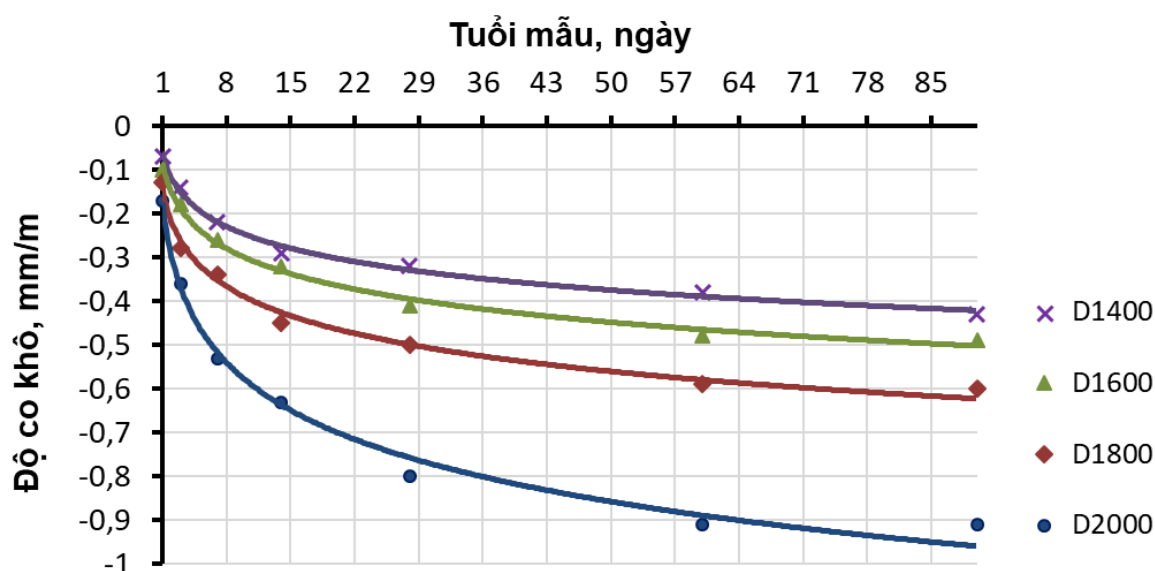
Bên cạnh đó, theo quan sát khi tiến hành thí nghiệm thì có sự biến dạng lớn của mẫu trong khoảng thời gian trước 3 h sau tạo hình. Các mẫu khi tạo hình trong khuôn đều được làm phẳng mặt với chiều cao mẫu bằng chiều cao thành khuôn.

Trong 1h đầu sau khi tạo hình, chiều cao mẫu nở lên vượt quá chiều cao thành khuôn. Đồng thời, mẫu có khối lượng thể tích nhỏ thì độ nở này tăng hơn so với mẫu có khối lượng thể tích thấp. Hiện tượng này không xảy ra với mẫu A0. Do hạn chế của phương pháp đo nên biến dạng này chưa được xác định các chỉ số cụ thể. Tuy nhiên, hiện tượng này có thể giải thích được, đó là do khi trộn hỗn hợp bê tông polystyrene kết cấu, cốt liệu EPS có tính đàn hồi nên bị ép chặt lại. Sau khi tạo hình, cốt liệu EPS trở lại hình dạng ban đầu nên làm thay đổi kích thước mẫu.

Trong phạm vi nghiên cứu đã tiến hành xác định độ co khô của các cấp phối bê tông trong Bảng 4.1. Kết quả thí nghiệm trình bày tại Bảng 4.4. Hình 4.6.

Bảng 4.4 Độ co khô

TT	Ký hiệu mẫu	Độ co ngót của bê tông, mm/m tại thời điểm, ngày						
		1	3	7	14	28	60	90
1	A0	0	0,36	0,53	0,63	0,80	0,91	0,91
2	A1	0	0,28	0,34	0,45	0,50	0,59	0,60
3	A2	0	0,18	0,22	0,32	0,41	0,48	0,49
4	A3	0	0,14	0,22	0,29	0,42	0,43	0,43



Hình 4.6 Độ co khô của bê tông polystyrene kết cấu

Kết quả trình bày trong Bảng 4.4 cho thấy độ co khô của bê tông polystyrene kết cấu phụ thuộc vào khối lượng thể tích của bê tông hay tỷ lệ polystyrene phòng nở được sử dụng trong cấp phối. Theo đó, khối lượng thể tích của bê tông polystyrene càng cao thì độ co ngót càng tăng. Nhìn chung bê tông polystyrene có độ co ngót thấp hơn và ổn định sớm hơn so với bê tông thường.

Hình 4.6 cho thấy đường biểu diễn độ co ngót của mẫu bê tông polystyrene có quy luật giống như biểu đồ biểu diễn sự phát triển cường độ của bê tông theo thời gian. Bên cạnh đó, độ co của mẫu bê tông nền và của các mẫu bê tông polystyrene kết cấu dần ổn định sau 90 ngày.

Nguyên nhân chính dẫn đến tính co ngót của bê tông là đá xi măng. Trong bê tông thường, sự có mặt của cốt liệu lớn và nhỏ 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 polystyrene, cốt liệu EPS có cường độ và mô đun đàn hồi thấp nhưng bản thân cốt liệu EPS không có tương tác với nước nên độ co cứng của bê tông chủ yếu do thành phần bê tông nền. Vì vậy, khối lượng thể tích bê tông polystyrene kết cấu càng thấp, tỷ lệ thể tích cốt liệu EPS càng cao thì thể tích bê tông nền sử dụng càng thấp nên càng giảm độ co của bê tông polystyrene kết cấu.

4.3 Mô đun đàn hồi

Mô đun đàn hồi của bê tông polystyrene được xác định theo ASTM C469-10. Kết quả thí nghiệm trình bày tại Bảng 4.5.

Bảng 4.5 Mô đun đàn hồi

STT	Ký hiệu mẫu	Loại xi măng	Loại cốt liệu	KLTT, kg/m ³	R_{n28} , MPa	Mô đun đàn hồi, N/mm ²
1	A0	PC40	C3	2.130	83,1	33.600
2	A1	PC40	C3	1.810	60,8	21.600
3	A2	PC40	C3	1.580	32,6	19.250
4	A3	PC40	C3	1.420	28,3	13.750
5	A4	PCB40	C4	1.850	30,8	17.150
6	A5	PCB40	C4	1.610	25,9	15.550



Hình 4.7 Thí nghiệm mô đun đàn hồi của bê tông

Theo dõi quá trình biến dạng của bê tông polystyrene cho thấy ngoài biến dạng đàn hồi và biến dạng dẻo còn có thành phần biến dạng dẻo ảo. Nguyên nhân là do cốt liệu EPS có tính đàn hồi cao nên khi chịu nén, mặc dù cấu trúc đã có vết nứt và mất đi tính liên tục nhưng mẫu vẫn chưa bị phá huỷ hoàn toàn. Khi đó, nếu tiếp tục gia lực thì mẫu vẫn có thể chịu thêm tải trọng tác dụng.

Số liệu thí nghiệm cho thấy mô đun đàn hồi của bê tông polystyrene tăng theo chiều tăng cường độ chịu nén của bê tông và khối lượng thể tích bê tông. Mô đun đàn hồi của bê tông phụ thuộc rất nhiều vào tỷ lệ thể tích bê tông nền và tính chất của cốt liệu EPS. Sử dụng cốt liệu EPS với mô đun đàn hồi thấp làm giảm mô đun đàn hồi của bê tông. Mức giảm của mô đun đàn hồi cao hơn mức giảm tỷ lệ thể tích bê tông nền. Theo đó, khi so sánh mẫu A1 và A0, khối lượng thể tích giảm 15% thì mô đun đàn hồi giảm tới 35 %. So sánh mẫu A3 và A0, khối lượng thể tích giảm 33% thì mô đun đàn hồi giảm tới 59 %. Ngoài ra, bản thân mẫu A0 cũng có mô đun đàn hồi nhỏ hơn so với các mẫu bê tông nặng thông thường, có sử dụng cốt liệu lớn, thường ở mức 40.000-56.000 N/mm². Đây cũng là một trong các nguyên nhân khiến cho mô đun đàn hồi của mẫu bê tông polystyrene kết cấu thấp.

Mặt khác, mô đun đàn hồi phụ thuộc vào các vật liệu thành phần. Mẫu A4 và A5 có mức khối lượng thể tích gần tương đương mẫu A1 và A2, với lượng dùng vật liệu thực tế gần tương tự nhưng có cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi chênh lệch đáng kể. Mẫu A4 và A5 có sử dụng cốt liệu nhỏ là C4 với thành

phần hạt khác so với cát C3, đồng thời xi măng sử dụng có cường độ chịu nén thấp hơn. Điều này một lần nữa chứng tỏ rằng cường độ và mô đun đàn hồi của bê tông polystyrene kết cấu phụ thuộc rất lớn vào bản chất của bê tông nền và tỷ lệ thể tích bê tông nền.

Bảng 17 TCVN 5574:2017 đã quy định mô đun đàn hồi ban đầu khi nén và kéo của bê tông nặng, bê tông keramzit phụ thuộc cấp cường độ chịu nén và khối lượng thể tích. Bảng 4.6 trình bày các giá trị mô đun đàn hồi của các loại bê tông đường hộ tự nhiên có cấp cường độ chịu nén B20.

Bảng 4.6 Mô đun đàn hồi các loại bê tông

STT	Mẫu	Mô đun đàn hồi theo Bảng 17 TCVN 5574:2017, N/mm²
1	Bê tông nặng	27.000
2	Bê tông hạt nhỏ	22.000
3	Bê tông keramzit D1800	18.000
4	Bê tông keramzit D1600	15.500
5	Bê tông keramzit D1400	14.000

Số liệu bảng 4.6 cho thấy, trong khoảng nghiên cứu, khi sử dụng cấp phối nền A0, bê tông polystyrene kết cấu có mac khối lượng thể tích D1600, D1800 thì có mô đun đàn hồi cao hơn giá trị quy định của TCVN 5574:2017, và cao hơn mô đun đàn hồi của bê tông keramzit D1800 theo nghiên cứu [7]. Điều này có thể là do pha nền của bê tông polystyrene kết cấu sử dụng trong phần nghiên cứu này là bê tông hạt nhỏ có mô đun đàn hồi lớn 33.600 N/mm².

Mô đun đàn hồi của bê tông phụ thuộc vào mô đun đàn hồi của nền vữa, mô đun đàn hồi của cốt liệu và sự liên kết của nền và cốt. Từ kết quả thực nghiệm và các nghiên cứu khác có thể thấy rằng, khi sử dụng một loại cốt liệu EPS, tức là mô đun đàn hồi của cốt liệu và sự liên kết cốt liệu với đá xi măng là không đổi thì mô đun đàn hồi của bê tông polystyrene kết cấu chủ yếu phụ thuộc tính chất của pha nền.

4.4 Độ hút nước, hệ số hoá mềm

Độ hút nước của bê tông polystyrene được xác định theo TCVN 3113 : 1993. Các cấp phối thí nghiệm lấy theo Bảng 5. Tiến hành xác định hệ số hoá mềm của bê tông polystyrene theo cường độ chịu nén. Kết quả thí nghiệm trình bày tại Bảng 4.7.

Bảng 4.7 Độ hút nước và hệ số hoá mềm

TT	Ký hiệu mẫu	Độ hút nước, %	Cường độ, MPa, ở trạng thái		Hệ số hoá mềm
			khô	bão hoà nước	
1	A0	10,3	84,3	69,1	0,82
2	A1	9,3	47,9	43,6	0,91
3	A2	8,1	36,7	34,1	0,93
4	A3	6,7	22,2	20,9	0,94

Các cấp phối bê tông nghiên cứu có giá trị độ hút nước nằm trong khoảng 5 đến 10%. Cốt liệu EPS không hút nước nên độ hút nước của bê tông phụ thuộc vào độ hút nước của bê tông nền. Hệ số hoá mềm của bê tông polystyrene dao động trong khoảng từ 0,82 đến 0,94. Bê tông polystyrene có khối lượng thể tích càng lớn thì hệ số hoá mềm càng nhỏ. Điều này chứng tỏ khối lượng thể tích bê tông càng lớn thì ảnh hưởng của cường độ vữa xi măng tới cường độ chịu nén của bê tông càng thể hiện rõ nét.

4.5 Lực nhỏ cốt thép trong bê tông

Thí nghiệm khả năng liên kết giữa cốt thép và bê tông được tiến hành trên các mẫu bê tông polystyrene kích thước 150 x 150 x 150 mm theo phương pháp trình bày trong mục 2.2.2. Lực nhỏ cốt thép trong bê tông được xác định ở tuổi 28 ngày.

Các thí nghiệm tiến hành trên cấp phối bê tông A0, A1, A2, A3 đã trình bày ở Bảng 4.1 với cốt thép thanh tròn trơn và cốt thép thanh vằn có tính chất trình bày tại Bảng 2.7.

Kết quả thí nghiệm Lực nhỏ cốt thép trong bê tông được thể hiện tại Bảng 4.8.

Bảng 4.8 Lực nhỏ cốt thép trong bê tông

STT	Ký hiệu mẫu bê tông	Loại thép	Lực kéo, KN
1	A0	Thép thanh tròn tròn	38,7
			38,5
			40,5
		Thép thanh vằn	46,5
			44,5
			47,0
2	A1	Thép thanh tròn tròn	43,2
			45,3
			44,5
		Thép thanh vằn	38,3
			39,1
			38,1
3	A2	Thép thanh tròn tròn	32,2
			31,5
			35,5
		Thép thanh vằn	30,5
			31,5
			33,8
4	A3	Thép thanh tròn tròn	30,7
			28,5
			27
		Thép thanh vằn	26,5
			26,7
			30,5

Kết quả thí nghiệm cho thấy lực nhỏ cốt thép trong bê tông phụ thuộc vào khối lượng thể tích của bê tông polystyrene. Lực nhỏ cốt thép trong bê tông polystyrene phụ thuộc khối lượng thể tích hay phụ thuộc tỷ lệ cốt liệu EPS trong bê tông.

Đối với bê tông thường, lực nhỏ cốt thép thanh vằn thường lớn hơn so với thép thanh tròn tròn do diện tích bám dính của thép thanh vằn lớn hơn so với thép

thanh tròn trơn. Tuy nhiên lực kéo thanh thép thanh vằn trượt trong lòng mẫu bê tông thí nghiệm thực tế gồm 2 loại lực là lực bám dính giữa thép với bê tông và lực nén giữa phần gờ thép và phần bê tông giữa các gờ của thanh thép. Lực nén giữa phần gờ thép và phần bê tông giữa các gờ của thanh thép phụ thuộc cường độ chịu nén của bê tông polystyrene. Khi khối lượng thể tích bê tông polystyrene giảm thì cường độ chịu nén của bê tông giảm nên tổng hợp lực kéo thanh thép khỏi khối bê tông thí nghiệm giảm.

Mặt khác, trong bê tông polystyrene kết cấu vẫn có hiện tượng phân tầng khiến cho cốt liệu EPS dịch chuyển lên phía trên. Khi tạo mẫu thí nghiệm lực nhỏ cốt thép trong bê tông, các hạt này dịch chuyển lên tiếp xúc với các gờ của thanh thép trong mẫu làm yếu liên kết tại vùng này.

Hai nguyên nhân trên dẫn đến tương quan giữa lực kéo lớn nhất của thanh thép ra khỏi mẫu bê tông trong hai trường hợp sử dụng thép thanh vằn và thép trơn trơn thay đổi.

Kết quả thí nghiệm cho thấy rằng khi khối lượng thể tích bê tông polystyrene kết cấu nhỏ hơn 1.800 kg/m^3 thì việc sử dụng thép thanh vằn thay thế thép trơn trơn trong kết cấu không thể hiện hiệu quả rõ rệt.

4.6 Kết luận chương 4

- Khi tỷ lệ thể tích bê tông nền giảm thì các tính chất như khối lượng thể tích giảm, cường độ chịu nén giảm, cường độ chịu uốn giảm, độ co giảm, mô đun đàn hồi giảm, độ hút nước đều giảm, hệ số hóa mềm tăng.

- Hệ số hóa mềm của bê tông polystyrene dao động trong khoảng từ 0,82 đến 0,94.

- Độ co khô của bê tông polystyrene kết cấu tỷ lệ thuận với tỷ lệ thể tích bê tông nền.

- Mô đun đàn hồi của bê tông polystyrene kết cấu giảm tỷ lệ thuận với tỷ lệ thể tích bê tông nền và phụ thuộc nhiều vào tính chất của bê tông nền.

- Tỷ lệ cường độ chịu kéo khi uốn so với cường độ chịu nén của polystyrene kết cấu nằm trong khoảng 12% đến 18 % và tăng khi tỷ lệ thể tích bê tông nền giảm.

- Lực nhổ cốt thép trong bê tông polystyrene thấp hơn so với bê tông nền. Khác với bê tông nặng thông thường, tương quan giữa lực nhổ lớn nhất của thanh

thép ra khỏi mẫu bê tông trong hai trường hợp sử dụng thép tròn trơn và thép thanh vẫn phụ thuộc vào khối lượng thể tích bê tông polystyrene. Khi khối lượng thể tích bê tông polystyrene kết cấu nhỏ hơn 1.800 kg/m^3 thì việc sử dụng thép thanh vẫn thay thế thép tròn trơn trong kết cấu không thể hiện hiệu quả rõ nét.

CHƯƠNG 5: ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG CHỊU TẢI CỦA TẤM SÀN VÀ HIỆU QUẢ KINH TẾ

5.1 Đánh giá khả năng chịu tải của tấm sàn sử dụng bê tông polystyrene kết cấu

Tại nhiều nước trên thế giới, bê tông nhẹ đã được ứng dụng chế tạo các kết cấu bê tông cốt thép cho các công trình cầu đường và công trình nhà dân dụng, công nghiệp với mục đích làm giảm nhẹ so với sử dụng bê tông thường. Nhờ đó tiết kiệm được chi phí xây dựng công trình. Bên cạnh đó, việc sử dụng vật liệu nhẹ còn tăng khả năng cách âm, cách nhiệt cho kết cấu.

Tại Hoa Kỳ, tiêu chuẩn ACI 318-14, ACI 211.2-98 quy định bê tông kết cấu cần có cường độ đặc trưng f'_c không nhỏ hơn 17 MPa. Tại Nga, tiêu chuẩn GOST 25820: 2014 quy định cường độ chịu nén tối thiểu của bê tông sử dụng cho kết cấu chịu lực là B12,5. Tại Việt Nam, TCVN 5574:2017 quy định cấu kiện bê tông cốt thép chịu lực có thể được thiết kế sử dụng bê tông nhẹ có cấp cường độ chịu nén tối thiểu là B15 với khối lượng thể tích nhỏ hơn 2.000 kg/m³. Tuy vậy, phạm vi của các tiêu chuẩn này chỉ áp dụng với bê tông thường và bê tông cốt liệu nhẹ vô cơ (cốt liệu keramzit, aglopolit...). Bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu hữu cơ như cốt liệu EPS chưa được đề cập tới trong các tiêu chuẩn này.

Để tính toán thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép, các giá trị cường độ tiêu chuẩn, mô đun đàn hồi được xác định bằng cách tra bảng tương ứng với các trạng thái làm việc dựa trên cấp độ bền chịu nén và mác theo khối lượng thể tích của bê tông. TCVN 5574:2017 quy định bê tông nặng và bê tông nhẹ sử dụng cốt liệu keramzit có cùng cấp cường độ thì giá trị mô đun đàn hồi là khác nhau. Đó là do bên cạnh cường độ chịu nén, mô đun đàn hồi phụ thuộc nhiều vào đặc điểm của cốt liệu sử dụng.

Trong khoảng 20 năm trở lại đây, Việt Nam đã có một số nghiên cứu ứng dụng bê tông keramzit sử dụng cho cấu kiện chịu lực có áp dụng phương pháp tính toán của TCVN 5574:1991.

Nghiên cứu [7] đã chế tạo bê tông keramzit có cường độ lớn hơn 20 MPa sử dụng làm bê tông kết cấu. Các nghiên cứu này cũng đã tiến hành thực nghiệm đánh giá khả năng chịu tải của tấm sàn bê tông keramzit. Kết quả đều cho thấy ứng xử của tấm sàn bê tông keramzit có đặc trưng điển hình giống với bê tông

nặng thông thường. Đồng thời, việc thiết kế tấm sàn bê tông keramzit dựa và các công thức quy định trong TCVN 5574:1991 là phù hợp.

Nghiên cứu [8] đã đánh giá sự làm việc của tấm sàn bê tông keramzit có kích thước tấm sàn là 3,30x0,45x0,10 m, bố trí thép dọc gồm 3 thanh $\varnothing 6$, thép ngang $\varnothing 6$ a200. Thí nghiệm cho thấy tương quan giữa tải trọng tác dụng và độ võng giữa nhịp của tấm sàn thí nghiệm thể hiện rõ hai giai đoạn là giai đoạn đàn hồi và giai đoạn chảy dẻo. Giá trị phá hoại thực tế của tấm sàn thấp hơn giá trị phá hoại tính toán.

Nghiên cứu [18, 7] so sánh sự làm việc của tấm sàn bê tông keramzit và tấm sàn được chế tạo bằng bê tông nặng có cùng cường độ chịu nén. Kích thước tấm sàn là 4,00x0,600x0,15 m. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này tấm sàn bê tông keramzit và bê tông nặng được tính toán thiết kế kết cấu thép dựa vào khả năng kháng nứt, do đó, hai tấm sàn có bố trí cốt thép khác nhau. Tấm sàn bê tông keramzit bố trí thép dọc gồm 6 thanh $\varnothing 8$, thép ngang $\varnothing 6$ a250. Trong khi tấm sàn bê tông nặng bố trí thép dọc gồm 7 thanh $\varnothing 8$, thép ngang $\varnothing 6$ a250. Kết quả cho thấy rằng cùng một tải trọng tác dụng, tấm sàn bê tông nặng biến dạng nhiều hơn và xuất hiện vết nứt sớm hơn tấm sàn bê tông keramzit mặc dù tấm sàn bê tông nặng có độ cứng lớn hơn do có mô đun đàn hồi cao hơn.

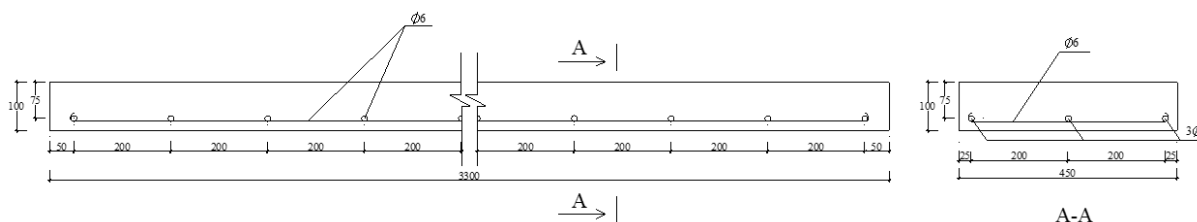
Như vậy, với đặc trưng tính chất riêng của bê tông sử dụng cốt liệu keramzit, các nghiên cứu thực nghiệm đã cho thấy có thể sử dụng phương pháp tính toán thiết kế và các giá trị tra bảng của cường độ chịu nén tính toán, cường độ tiêu chuẩn và mô đun đàn hồi được quy định trong tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép hiện hành để thiết kế hoặc kiểm tra khả năng chịu tải của kết cấu. Đồng thời các nghiên cứu này cũng cho rằng cần soát xét, đề xuất các giá trị tra bảng phù hợp hơn đối với bê tông keramzit.

Đối với bê tông polystyrene, tại Việt Nam đã có các nghiên cứu ứng dụng bê tông polystyrene làm viên xây, tấm chống nóng, tấm tường [7]. Kết quả cũng cho thấy, giống như bê tông keramzit, mô đun đàn hồi của bê tông polystyrene nhỏ hơn bê tông thường và phụ thuộc khối lượng thể tích. Khác với bê tông keramzit, bê tông polystyrene sử dụng cốt liệu EPS có hình cầu chuẩn, không hút nước, có kích thước 1,5 đến 5 mm. Nghiên cứu đã tiến hành trong khuôn khổ luận án này cho thấy có thể chế tạo bê tông polystyrene đạt các chỉ tiêu kỹ thuật, như

cường độ chịu nén đạt cấp B15 và khối lượng thể tích nhỏ hơn 2.000 kg/m³, đảm bảo cho việc chế tạo các kết cấu và cấu kiện chịu lực. Do đó, để làm rõ sự làm việc của bê tông polystyrene kết cấu trong cấu kiện và kiểm tra phương pháp tính toán của TCVN 5574:2017 thì việc tiến hành thí nghiệm gia tải kết cấu là cần thiết. Trong chương này, nghiên cứu đã thực hiện thí nghiệm gia tải tấm sàn bê tông polystyrene kết cấu tại Viện KHCN Xây dựng nhằm kiểm tra khả năng chịu lực của cấu kiện làm bằng bê tông polystyrene kết cấu.

5.1.1 Cấu tạo tấm sàn và vật liệu sử dụng

Nghiên cứu thí nghiệm tiến hành với bê tông polystyrene kết cấu có mác theo khối lượng thể tích là D1600 và D1800. Với mỗi mác bê tông, nghiên cứu đã thí nghiệm một nhóm gồm hai tấm sàn bê tông polystyrene kết cấu có kích thước chiều dài là 3.300 mm, chiều rộng là 450 mm, chiều dày là 100 mm. Kích thước và cấu tạo cốt thép của tấm sàn trong thí nghiệm được tham khảo từ nghiên cứu [7] (Hình 5.1) với mục đích đối chiếu với kết quả đã có trong nghiên cứu trước.



Hình 5.1 Cấu tạo tấm sàn thí nghiệm

Bảng 5.1 Cấp phối bê tông sử dụng chế tạo tấm sàn

STT	Mác theo khối lượng thể tích	Lượng dùng vật liệu							Tính chất		
		X, kg/m ³	N, lit / m ³	C, kg/m ³	EPS, kg/m ³	SF, kg/m ³	SP, lit/m ³	VM, kg/m ³	R _{n28} , MPa	KLTT, kg/m ³	Mô đun đàn hồi, MPa
1	D1600	580	230	720	4,83	59	5,8	0,87	25,9	1.610	15.550
2	D1800	680	265	840	2,94	69	6,8	1,02	30,8	1.850	17.150

Bê tông polystyrene kết cấu sử dụng để chế tạo tấm sàn có vật liệu, cường độ chịu nén, khối lượng thể tích được trình bày trong Bảng 5.1.

Để tính toán khả năng chịu tải của tấm sàn, đã sử dụng cường độ chịu nén làm căn cứ để tính quy đổi các giá trị cường độ chịu nén và chịu kéo tiêu chuẩn

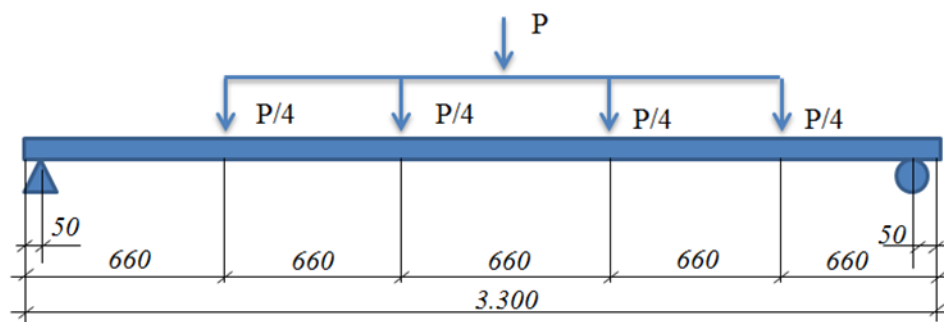
từ các giá trị được quy định trong Bảng A.1 của TCVN 5574:2017. Thông số tính toán sàn bê tông keramzit ký hiệu LS18 được tham khảo từ kết quả của nghiên cứu [7], khả năng chịu tải của tấm sàn được tính toán quy đổi tương tự tấm sàn P16, P18. Kết quả tính toán được trình bày trong Bảng 5.2.

Bảng 5.2 Tính toán khả năng chịu tải của tấm sàn

Các thông số	P16	P18	LS18 [7]
Khối lượng thể tích , kg/m ³	1.610	1.850	1.800
Cường độ chịu nén R _{tb} , MPa	25,9	30,8	25
Mô đun đàn hồi, MPa	15.550	17.150	17.000
Cường độ chịu nén tiêu chuẩn theo trạng thái giới hạn thứ hai, MPa	15,1	17,8	14,6
Cường độ chịu kéo tiêu chuẩn theo trạng thái giới hạn thứ hai, MPa	1,4	1,6	1,4
Tải trọng phá hoại tính toán, kN	2,674	2,681	2,679

5.1.2 Sơ đồ và thiết bị thí nghiệm

Sơ đồ thí nghiệm gia tải tấm sàn được trình bày trong Hình 5.2, bố trí thí nghiệm được trình bày trong Hình 5.3.



Hình 5.2 Sơ đồ thí nghiệm

Tấm sàn được đặt trên 2 gối tựa, 1 gối cố định và 1 gối di động, khoảng cách giữa tâm 2 gối tựa đúng bằng nhịp tấm sàn. Tấm sàn thí nghiệm được bố trí

chịu 4 tải trọng tập trung bằng nhau, đặt cách đều và đối xứng qua điểm giữa nhịp tấm sàn.

Trọng lượng bản thân của mẫu thí nghiệm được quy ước là cấp tải 0. Tải trọng thí nghiệm được gia tải bằng kích thủy lực theo từng cấp, với bước tải trọng là 0,50 kN.



Hình 5.3 Bố trí thí nghiệm

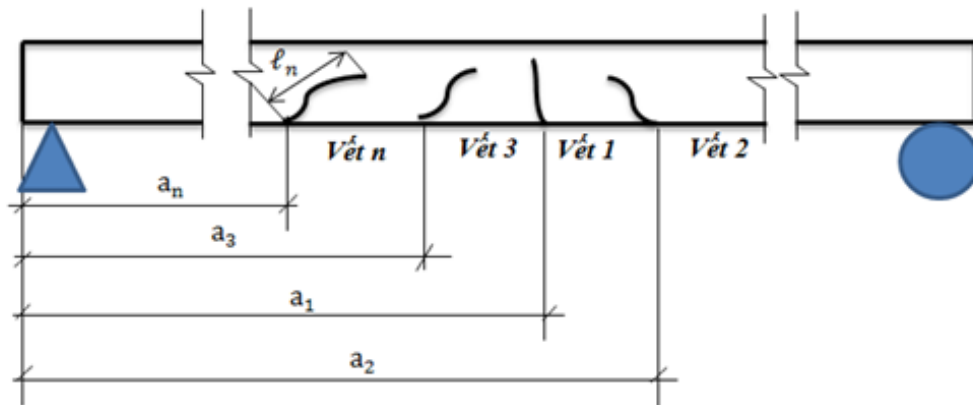
Các đồng hồ đo và dụng cụ thí nghiệm bao gồm: Đồng hồ cơ học của Nga độ chính xác 0,01 mm, lực kế độ chính xác 0,01 kN, kính soi vết nứt của Trung Quốc độ chính xác 0,1 mm, máy ảnh kỹ thuật số, bút đánh dấu và một số dụng cụ thí nghiệm khác.

5.1.3 Ứng xử của tấm sàn bê tông polystyrene kết cấu dưới tải trọng

Nghiên cứu thực nghiệm trên các tấm sàn sử dụng bê tông polystyrene kết cấu có thông số như trong Mục 5.1.1. Kết quả thí nghiệm gia tải các tấm sàn cho thấy ứng xử của các tấm sàn bê tông polystyrene kết cấu đã thí nghiệm tương đối giống nhau và giống với mô tả về sự làm việc của tấm sàn bê tông keramzit và bê tông nặng được thực hiện trong nghiên cứu [7, 19].

Dưới tải trọng, các tấm sàn xuất hiện chuyển vị thể hiện ở độ võng của mặt sàn. Độ võng đo được tại vị trí giữa của tấm sàn, theo chiều dài tấm luôn là độ võng lớn nhất xuất hiện trên các tấm sàn khi thí nghiệm. Vết nứt, đầu tiên, đều

xuất hiện ở mặt dưới tấm sàn tại khoảng giữa nhịp (vùng có mô-men uốn không đổi), sau đó xuất hiện thêm các vết nứt đối xứng về phía hai gối tựa. Khi tăng tải trọng, ở mặt dưới tấm bề rộng vết nứt tăng lên, còn ở cạnh tấm vết nứt phát triển kéo dài lên phía mặt trên tấm. Ở giai đoạn chảy dẻo, các vết nứt ở vùng giữa tấm sàn đều kéo dài lên quá trục trung hoà, lên tới tận vùng chịu nén của tấm sàn, bề rộng khe nứt mở rộng ở vùng chịu kéo. Các vết nứt được xác định chiều rộng b (mm), chiều dài ℓ (mm) (Hình 5.4). Dạng phá hoại của các tấm sàn là giống nhau và được đặc trưng bởi các biểu hiện như cốt thép bị chảy dẻo, bề rộng khe nứt lớn, độ võng lớn và bê tông vùng nén bị phá hoại.



Hình 5.4 Sơ đồ vết nứt khi thí nghiệm gia tải tấm sàn

Vết nứt xuất hiện trong giai đoạn đàn hồi khi gia tải tấm sàn bê tông polystyrene kết cấu, nếu ngừng gia tải, vết nứt khép lại, Hình 5.5, Hình 5.6.



Hình 5.5 Vết nứt của tấm P18-1 tại $P_y = 3,0$ kN



Hình 5.6 Vết nứt của tấm P18-1 khi giảm tải trọng

Kết quả đo chuyển vị trong thí nghiệm gia tải được trình bày trong Bảng 5.3, Bảng 5.4. Độ võng lớn nhất, bề rộng vết nứt lớn nhất, tải trọng phá hoại thực tế của các tấm sàn được trình bày trong Bảng 5.6. Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa

tải trọng thí nghiệm (P) và độ võng giữa nhịp (w) từ khi bắt đầu gia tải cho đến khi tấm sàn bị phá hoại được thể hiện trong các Hình 5.7 đến Hình 5.8.

Bảng 5.3 Kết quả thí nghiệm tấm sàn P16

Các mức gia tải	Tấm sàn P16-1			Tấm sàn P16-2		
	P, kN	δ , mm	Đặc điểm vết nứt	P, kN	δ , mm	Đặc điểm vết nứt
0	0	0	-	0	0	-
1	0,5	0,78	-	0,5	0,78	-
2	1	2,40	-	1	2,50	-
3	1,5	4,35	Vết 1: $a_1=1600$; $b_1=0,2$; $h_1=10$	1,5	8,20	Vết 1: $a_1=1590$; $b_1=0,2$; $h_1=10$
4	2,0	11,50	Vết 1: $a_1=1600$; $b_1=1,3$; $h_1=35$	2,0	18,03	Vết 1: $a_1=1590$; $b_1=1,3$; $h_1=30$
5	2,4	23,30	Vết 1: $a_1=1600$; $b_1=2,6$; $h_1=40$ Vết 2: $a_2=1250$; $b_2=0,1$; $h_2=12$ Vết 3: $a_3=1950$; $b_3=0,2$; $h_3=7$	2,3	26,95	Vết 1: $a_1=1590$; $b_1=2,6$; $h_1=40$ Vết 2: $a_2=1352$; $b_2=0,1$; $h_2=7$ Vết 3: $a_3=1925$; $b_3=0,1$; $h_3=7$
6	2,4*	50,00	Vết 1: $a_1=1600$; $b_1=2,6$; $h_1=52$ Vết 2: $a_2=1250$; $b_2=0,3$; $h_2=22$ Vết 3: $a_3=1950$; $b_3=0,6$; $h_3=12$	2,3*	50,00	Vết 1: $a_1=1590$; $b_1=2,6$; $h_1=52$ Vết 2: $a_2=1352$; $b_2=0,3$; $h_2=15$ Vết 3: $a_3=1925$; $b_3=0,6$; $h_3=12$
7	2,0	50,00	Vết 1: $a_1=1600$; $b_1=1,4$; $h_1=52$ Vết 2: $a_2=1250$; $b_2=0,1$; $h_2=12$ Vết 3: $a_3=1950$; $b_3=0,1$; $h_3=7$	2,0	50,00	Vết 1: $a_1=1590$; $b_1=1,4$; $h_1=54$ Vết 2: $a_2=1352$; $b_2=0,1$; $h_2=7$ Vết 3: $a_3=1925$; $b_3=0,1$; $h_3=7$
Ghi chú: * Tải trọng tối đa						

Bảng 5.4 Kết quả thí nghiệm tấm sàn P18

Các mức gia tải	Tấm sàn P18-1			Tấm sàn P18-2		
	P, kN	δ , mm	Đặc điểm vết nứt	P, kN	δ , mm	Đặc điểm vết nứt
0	0,0	0,00	-	0,0	0,00	-
1	0,5	0,41	-	0,5	0,25	-
2	1,0	0,92	-	1,0	0,74	-
3	1,5	2,90	Vết 1: $a_1=1612$; $b_1=0,1$; $h_1=7$	1,5	2,86	Vết 1: $a_1=1635$; $b_1=0,1$; $h_1=8$
4	2,0	7,47	Vết 1: $a_1=1612$; $b_1=0,3$; $h_1=25$	2,0	6,89	Vết 1: $a_1=1635$; $b_1=0,4$; $h_1=23$
5	2,5	13,00	Vết 1: $a_1=1612$; $b_1=2,1$; $h_1=32$ Vết 2: $a_2=1255$; $b_2=0,1$; $h_2=15$ Vết 3: $a_3=1950$; $b_3=0,2$; $h_3=5$	2,5	13,00	Vết 1: $a_1=1635$; $b_1=1,2$; $h_1=35$ Vết 2: $a_2=1240$; $b_2=0,1$; $h_2=7$ Vết 3: $a_3=2030$; $b_3=0,1$; $h_3=7$
6	3,0*	24,9	Vết 1: $a_1=1612$; $b_1=2,6$; $h_1=42$ Vết 2: $a_2=1255$; $b_2=0,3$; $h_2=35$ Vết 3: $a_3=1950$; $b_3=0,6$; $h_3=12$	2,8*	28,11	Vết 1: $a_1=1635$; $b_1=2,8$; $h_1=44$ Vết 2: $a_2=1240$; $b_2=0,3$; $h_2=15$ Vết 3: $a_3=2030$; $b_3=0,6$; $h_3=12$
7	3,0	50,00	Vết 1: $a_1=1612$; $b_1=1,4$; $h_1=52$ Vết 2: $a_2=1255$; $b_2=0,8$; $h_2=37$ Vết 3: $a_3=1950$; $b_3=1,1$; $h_3=17$	2,8	50,00	Vết 1: $a_1=1635$; $b_1=3,8$; $h_1=56$ Vết 2: $a_2=1240$; $b_2=0,8$; $h_2=7$ Vết 3: $a_3=2030$; $b_3=1,3$; $h_3=7$
8	2,5	50,00	Vết 1: $a_1=1612$; $b_1=1,4$; $h_1=52$ Vết 2: $a_2=1255$; $b_2=0,1$; $h_2=17$ Vết 3: $a_3=1950$; $b_3=0,2$; $h_3=11$	2,5	50,00	Vết 1: $a_1=1635$; $b_1=2,4$; $h_1=57$ Vết 2: $a_2=1240$; $b_2=0,4$; $h_2=7$ Vết 3: $a_3=2030$; $b_3=0,6$; $h_3=7$ Vết 4: $a_4=1130$; $b_4=0,1$; $h_4=2$
Ghi chú: * Tải trọng tối đa						

Bảng 5.5 Tổng hợp kết quả thí nghiệm các tấm sàn

STT	Ký hiệu mẫu	Tải trọng phá hoại dự kiến, kN	Bước gia tải, kN	Tải trọng phá hoại thực tế P_y , kN	Độ võng lớn nhất w_y , mm	Bề rộng vết nứt lớn nhất δ_y , mm
1	P16-1	2,674	0,5	2,4	26,95	2,6
2	P16-2	2,674	0,5	2,3	23,30	3,0
3	P18-1	2,681	0,5	3,0	24,90	2,6
4	P18-2	2,681	0,5	2,8	28,11	2,8
5	LS18 [7]	2,673	0,5	2,1	25,00	> 2,5

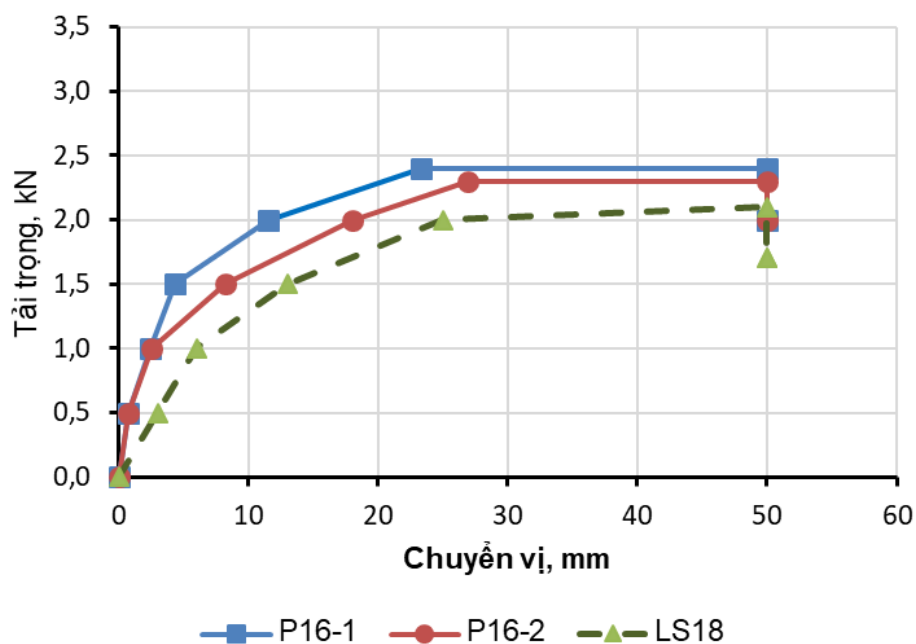
Đường biểu diễn quan hệ giữa tải trọng thí nghiệm và độ võng giữa nhịp của các tấm sàn cho thấy biến dạng của tấm sàn dưới tải trọng theo tỷ lệ thuận nhưng không tuyến tính mà phân làm hai giai đoạn.

Giai đoạn 1 là giai đoạn biến dạng đàn hồi, độ võng của tấm sàn tăng dần khi tăng tải. Kết thúc giai đoạn 1, tấm sàn xuất hiện vết nứt tại vị trí trung tâm phía dưới tấm sàn. Khi cốt thép dọc bắt đầu chảy dẻo, các vết nứt kéo dài trên trục trung hoà, bề rộng khe nứt lớn nhất đo được là 1,3 mm, 1,2 mm, 1,1 mm và 1,2 mm tương ứng với các tấm sàn P16-1, P16-2, P18-1, P18-2. Trong giai đoạn này, tải trọng tác dụng lên tấm sàn tăng nhưng độ võng của tấm sàn tăng không nhiều.

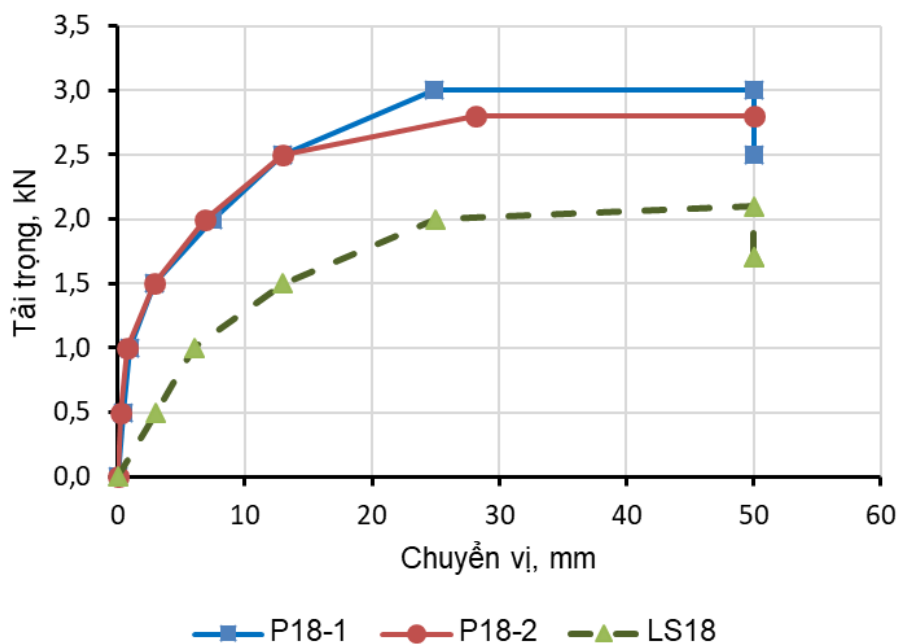
Giai đoạn 2 là giai đoạn cốt thép chảy dẻo. Ở giai đoạn này, các vết nứt phát triển nhiều ở vùng giữa nhịp sàn (vùng có mômen uốn không đổi), kéo dài lên phía trên trục trung hoà. Các vết nứt số 2 và 3 xuất hiện hai bên vết nứt số 1 tại trung tâm tấm và có phương phát triển vết nứt như Hình 5.4. Bề rộng vết nứt lớn nhất của các tấm sàn khi kết thúc giai đoạn đàn hồi là 3,0 mm. Độ võng giữa nhịp tấm sàn ở thời điểm bắt đầu chảy dẻo đều từ 11 đến 18 mm. Kết quả thí nghiệm cho thấy, ở giai đoạn này, tải trọng tăng lên rất ít nhưng độ võng của tấm sàn tăng nhanh. Kết thúc giai đoạn 2, tấm sàn bị phá hoại. Các tấm sàn thí nghiệm P16-1, P16-2, P18-1 và P18-2 bị phá hoại ở tải trọng 2,3 kN, 2,4 kN, 3,0 kN và 2,8 kN, độ võng lớn nhất đo được tương ứng là 23,30 mm, 26,95 mm, 24,90 mm, 28,11 mm.

Tải trọng phá hoại thực tế P_u của các tấm sàn bê tông P16-1 và P16-2 là 2,4 kN và 2,3 kN, bằng trung bình 89 % tải trọng thí nghiệm phá hoại tính toán (2,67

kN) (Bảng 5.2); và P18-1 và P18-2 tương ứng là 3,0 kN và 2,8 kN bằng 110% tải trọng phá hoại tính toán (2,68 kN) (Bảng 5.2).



Hình 5.7 Tải trọng thí nghiệm và độ võng giữa nhịp của tấm sàn P16



Hình 5.8 Tải trọng thí nghiệm và độ võng giữa nhịp của tấm sàn P18

So sánh với sự làm việc của tấm sàn bê tông polystyrene kết cấu đã thực hiện trong nghiên cứu với tấm sàn bê tông keramzit đã được thực hiện tại nghiên cứu [7] (Hình 5.6) có thể thấy rằng độ võng của tấm sàn bê tông polystyrene kết

cầu tương đương độ võng của tấm sàn bê tông keramzit tại giá trị tải trọng lớn nhất. Ở cùng mức gia tải 1,5 kN, tấm sàn bê tông keramzit có độ võng 15 mm, trong khi các kết quả nén tấm sàn bê tông polystyrene đã thực hiện có giá trị độ võng tại mức gia tải 1,5 kN nhỏ hơn 5 mm. Xem xét kết quả thí nghiệm thực tế với các giá trị tính toán và đặc trưng vật liệu được trình bày trong Bảng 5.2 có thể thấy rằng tấm sàn P18 có sử dụng bê tông polystyrene kết cấu có cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi cao hơn tấm sàn P16, nên giá trị lực phá hoại thực tế của tấm sàn P18 cao hơn tấm sàn P16 là phù hợp. So sánh tấm sàn P16 và tấm sàn LS18 [7] có thể thấy rằng tấm sàn LS18 sử dụng bê tông có cường độ tương đương nhưng độ cứng cao hơn. Giá trị tải trọng phá hoại tính toán của hai loại tấm sàn là tương đương nhau nhưng tải trọng phá hoại thực tế của tấm sàn bê tông polystyrene kết cấu lớn hơn tấm sàn bê tông keramzit 14%. Ở giai đoạn đàn hồi, sàn bê tông polystyrene có chuyển vị nhỏ hơn sàn bê tông keramzit. Kết quả này cho thấy đặc trưng của bê tông polystyrene kết cấu ảnh hưởng trực tiếp đến ứng xử của tấm sàn.

Như đã trình bày, tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép TCVN 5574:2017 có thể áp dụng đối với các loại kết cấu bê tông cốt thép làm bằng bê tông nhẹ và bê tông nặng với khối lượng thể tích thay đổi từ 800 kg/m³ đến 2.500 kg/m³. Kết quả thí nghiệm đã cho thấy áp dụng nguyên tắc tính toán và thiết kế tấm sàn quy định trong TCVN 5574:2017 đối với tấm sàn bê tông polystyrene cho kết quả tương đối phù hợp với thực tế.

5.2 Hiệu quả kinh tế

Để đánh giá hiệu quả kinh tế của việc sử dụng bê tông polystyrene kết cấu cần xem xét giá thành 1m³ bê tông, chi phí vật tư, nhân công và thiết bị trong quá trình thi công và hiệu quả sử dụng của loại vật liệu này vào công trình do các tính năng ưu việt của nó.

Trong khuôn khổ luận án, nghiên cứu chỉ dừng ở việc tính giá thành một đơn vị sản phẩm bê tông polystyrene kết cấu, chưa có điều kiện để đánh giá tổng hợp do hiệu quả làm nhẹ và cách nhiệt cho công trình.

Chi phí sản xuất bê tông polystyrene kết cấu, bê tông keramzit, bê tông thương phẩm được trình bày trong bảng 5.6, Bảng 5.7.

Bảng 5.6 Chi phí vật liệu sản xuất bê tông polystyrene M250

Loại chi phí	Số lượng	Đơn giá, đ	Thành tiền, đ
- Xi măng PC40, kg	580	1.250	725.000
- Cát vàng, m ³	0,5	360.000	180.000
- Cốt liệu EPS, kg	8,83	50.000	441.500
- PGK SF, kg	59	8.000	472.000
- PGSD, lit	5,5	32.000	176.000
- Phụ gia VM	0,87	116.000	100.920
- Nước, m ³	0,23	4.000	920
Cộng			2.096.340

Bảng 5.7 Chi phí vật liệu sản xuất bê tông keramzit M250

Loại chi phí	Số lượng	Đơn giá, đ	Thành tiền, đ
- Xi măng PC40, kg	390	1.250	487.500
- Cát vàng, m ³	0,5	360.000	180.000
- Cốt liệu keramzit, m ³	0,65	3.500.000	2.275.000
- PGK SF, kg	27,3	8.000	218.400
- PGSD, lit	3,9	32.000	124.800
- Phụ gia VM	0,87	116.000	100.920
- Nước, m ³	0,23	4.000	920
Cộng			3.387.540

Tương quan chi phí sản xuất các loại bê tông được trình bày trong Bảng 5.8. Giá bê tông thương phẩm được lấy theo thông báo giá của một số trạm trộn trên địa bàn Hà Nội. So sánh giá thành của một số loại bê tông đã cho thấy bê tông polystyrene kết cấu, bê tông keramzit khối lượng thể tích 1.800 kg/m³ có giá thành cao hơn hẳn bê tông nặng thương phẩm có cùng mác theo cường độ chịu

nén. Tuy nhiên, khối lượng thể tích các loại bê tông nhẹ sử dụng trong tính toán nhỏ hơn 23,4% so với bê tông nặng thông thường.

Bảng 5.8 So sánh đơn giá các loại bê tông

STT	Loại Bê tông	Mác theo cường độ chịu nén	KLTT, kg/m ³	Hệ số dẫn nhiệt, W/m.K	Đơn giá
1	Bê tông polystyrene kết cấu, m ³	M250	1.800	0,397	2.096.340
2	Bê tông keramzit, m ³	M250	1.800	0,9	3.387.540
3	Bê tông nặng thương phẩm, m ³	M250	2.350	2,03	870.000

Tương quan về hệ số dẫn nhiệt (Bảng 5.8) cũng cho thấy cùng mức cường độ chịu nén, so với bê tông nặng thông thường, khả năng cách nhiệt của bê tông polystyrene kết cấu gấp 5 lần bê tông nặng thông thường. Cùng mức cường độ chịu nén, cùng khối lượng thể tích, khả năng cách nhiệt của bê tông polystyrene kết cấu gấp 2,3 lần bê tông keramzit.

Hiện nay, do keramzit không sẵn có trên thị trường nên giá cốt liệu này tăng cao nên khó đáp ứng việc sử dụng trong công trình. Bê tông polystyrene kết cấu có giá thành chỉ tương đương 60% so với bê tông keramzit có cùng khối lượng thể tích. Cùng với việc chủ động trong cung ứng vật tư, phương án sử dụng bê tông polystyrene kết cấu trong công trình thể hiện rõ hiệu quả so với phương án dùng bê tông keramzit.

Khi so sánh với bê tông nặng thương phẩm, giá thành bê tông polystyrene kết cấu còn cao. Nhưng, khi xét hiệu quả kinh tế của việc sử dụng bê tông polystyrene kết cấu cần xem xét hiệu quả tổng thể dựa vào các tính năng kỹ thuật đặc biệt của loại bê tông này là khối lượng thể tích nhẹ làm giảm yêu cầu chịu lực của kết cấu, khả năng cách âm, cách nhiệt...

5.3 Kết luận chương 5

Kết quả ứng dụng thử nghiệm bê tông polystyrene kết cấu chế tạo tấm sàn nhẹ với điều kiện vật tư thiết bị hiện có đã cho thấy:

- Nghiên cứu tính toán và thí nghiệm khả năng chịu tải cho thấy ứng xử của của cấu kiện sàn bê tông polystyrene tương tự như bê tông nặng thông thường và bê tông keramzit.

Ở cùng cấp gia tải, độ võng của tấm sàn bê tông polystyrene kết cấu nhỏ hơn độ võng của tấm sàn bê tông keramzit có cùng cấu tạo thép, cùng mức cường độ và khối lượng thể tích.

Tải trọng phá hoại thực tế của các tấm sàn bê tông P16-1 và P16-2 có khối lượng thể tích 1600 kg/m^3 tương ứng là 2,4 kN và 2,3 kN, bằng 89 % tải trọng thí nghiệm phá hoại tính toán (2,64 kN). Tải trọng phá hoại thực tế của các tấm sàn bê tông P18-1 và P18-2, có khối lượng thể tích 1850 kg/m^3 tương ứng là 3 kN và 2,8 kN bằng 110% tải trọng thí nghiệm phá hoại tính toán (2,64 kN).

Như vậy, có thể sử dụng các công thức tính toán và chỉ dẫn quy định trong TCVN 5574:2017 để thiết kế tấm sàn bê tông polystyrene kết cấu.

- Tính toán giá thành cho thấy giá vật liệu chế tạo bê tông polystyrene kết cấu còn cao hơn bê tông nặng thông thường nhưng thấp hơn bê tông keramzit có cùng khối lượng thể tích D1800, cường độ chịu nén M250. Bên cạnh đó, bê tông polystyrene kết cấu chủ động hơn về nguồn cung cấp cốt liệu polystyrene phòng nổ và có hệ số dẫn nhiệt thấp hơn. Nên, bê tông polystyrene kết cấu là loại vật liệu nhẹ có tiềm năng sử dụng nước ta trong thời gian tới.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

A. KẾT LUẬN

1. Các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm đã cho thấy sử dụng cốt liệu polystyrene phòng nổ sản xuất trong nước và các vật liệu thành phần khác có thể chế tạo được bê tông polystyrene kết cấu có khối lượng thể tích từ 1.600 kg/m^3 đến 2.000 kg/m^3 , cường độ chịu nén lớn hơn 20 MPa. Bê tông polystyrene có các tính năng cơ lý thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật của các tiêu chuẩn hiện hành dùng làm kết cấu chịu lực.

2. Tỷ lệ thể tích bê tông nền giảm sẽ làm tăng tính phân tầng, giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene và làm giảm độ co, mô đun đàn hồi, cường độ chịu nén, độ hút nước của bê tông polystyrene. Mức độ ảnh hưởng của tỷ lệ thể tích bê tông nền đến tính công tác và cường độ của bê tông polystyrene phụ thuộc kích thước hạt lớn nhất của bê tông nền.

3. Kích thước hạt lớn nhất của bê tông nền tăng làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông polystyrene, giảm khả năng phân tầng và giảm cường độ bê tông polystyrene có cùng khối lượng thể tích. Khi giảm khối lượng thể tích của bê tông polystyrene kết cấu, kích thước hạt lớn nhất của bê tông nền càng nhỏ thì mức giảm tính công tác càng thấp. Tính công tác của bê tông nền giảm 40 mm, tính công tác của bê tông polystyrene kết cấu giảm khoảng 40 mm với bê tông nền có kích thước hạt lớn nhất lớn hơn 10 mm, khoảng 20 mm với bê tông có kích thước hạt lớn nhất nhỏ hơn 5mm.

3. Ở cùng khối lượng thể tích, độ phân tầng tăng khi tính công tác của hỗn hợp bê tông nền tăng. Việc sử dụng phụ gia điều chỉnh độ nhót là cần thiết nhằm giảm độ phân tầng của hỗn hợp bê tông polystyrene có khối lượng thể tích thấp. Các kết quả nghiên cứu cho thấy mức sử dụng hợp lý của phụ gia điều chỉnh độ nhót là 0,15% so với xi măng.

4. Cường độ chịu nén của bê tông polystyrene giảm khi giảm tỷ lệ thể tích bê tông nền. Mức giảm cường độ chịu nén của bê tông polystyrene phụ thuộc đường kính hạt lớn nhất trong bê tông nền. Với cùng cường độ chịu nén của bê tông nền, kích thước hạt lớn nhất của bê tông nền càng nhỏ thì mức giảm cường độ chịu nén càng thấp. Mức độ giảm cường độ chịu nén ở bê tông nền có kích

thước hạt lớn nhất là 20 mm lớn gấp đôi bê tông nền sử dụng có kích thước hạt lớn nhất là 1,25 mm.

Ở cùng khối lượng thể tích, cường độ chịu nén của bê tông polystyrene giảm đáng kể khi đường kính cốt liệu bê tông nền lớn hơn 10 mm. Tỷ lệ cường độ chịu kéo khi uốn so với cường độ chịu nén của polystyrene kết cấu nằm trong khoảng 12% đến 18 % và tăng khi tỷ lệ thể tích bê tông nền giảm.

6. Lực nhỏ cốt thép trong bê tông với cốt thép của bê tông polystyrene kết cấu thấp hơn so với bê tông nền. Tương quan giữa lực kéo lớn nhất của thanh thép ra khỏi mẫu bê tông trong hai trường hợp sử dụng thép tròn trơn và thép thanh vằn phụ thuộc vào khối lượng thể tích bê tông polystyrene. Khi khối lượng thể tích bê tông polystyrene kết cấu nhỏ hơn 1.800 kg/m^3 thì việc sử dụng thép thanh vằn thay thế thép tròn trơn trong kết cấu không thể hiện hiệu quả rõ rệt.

7. Nghiên cứu thí nghiệm khả năng chịu tải của tấm sàn sử dụng bê tông polystyrene cho thấy ứng xử của tấm sàn này cũng tương tự như tấm sàn bê tông nặng và bê tông keramzit. Sử dụng giá trị cường độ chịu nén và mô đun đàn hồi thực tế của bê tông để tính toán khả năng chịu tải của tấm sàn bê tông polystyrene kết cấu theo TCVN 5574:2017 cho kết quả tương đối phù hợp với kết quả thí nghiệm gia tải.

8. Với cùng cường độ M250 và khối lượng thể tích D1800, bê tông polystyrene kết cấu có giá thành thấp hơn 40% và hệ số dẫn nhiệt thấp hơn bê tông keramzit. Do đó, đây là loại vật liệu có tiềm năng sử dụng lớn ở nước ta trong thời gian tới.

B. KIẾN NGHỊ

1. Cần tiếp tục triển khai các nghiên cứu về khả năng chịu tải, khả năng cách âm, chống cháy của kết cấu sử dụng bê tông polystyrene kết cấu sử dụng các loại cốt liệu trong bê tông nền khác nhau.

2. Cần tiếp tục tiến hành các nghiên cứu để thiết lập các thông số thiết kế phù hợp cho tính toán thiết kế kết cấu chịu lực sử dụng bê tông polystyrene kết cấu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Aman Mulla and A. Shelake, *Lightweight expanded polystyrene beads concrete*. International Journal of Research in Advent Technology (E-ISSN: 2321-9637), 2016, p. 17-21.
2. Bouvard, D., et al., *Characterization and simulation of microstructure and properties of EPS lightweight concrete*. Cement and Concrete Research, 2007, p. 1666-1673.
3. Hilloulin, B., et al., *Design of polymeric capsules for self-healing concrete*. Cement and Concrete Composites, 2015. 55: p. 298-307.
4. Saradhi Babu, D., K. Ganesh Babu, and T.H. Wee, *Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fly ash*. Cement and Concrete Research, 2005. 35(6): p. 1218-1223.
5. Herki, B.A., J.M. Khatib, and E.M. Negim, *Lightweight Concrete Made from Waste Polystyrene and Fly Ash*. World Applied Sciences Journal 21 (9), 2013, 1356-1360.
6. Babu, K.B., *Performance of fly ash concretes containing lightweight EPS aggregates*. Cement and Concrete Composites, 2004. Volume 26(6, August 200): p. 605-611.
7. Nguyễn Tiến Đích và các ctv, *Nghiên cứu sử dụng vật liệu nhẹ cho nhà và công trình*. Báo cáo tổng kết đề tài Mã số RDN 06 – 01, Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, 2004.
8. Nguyễn Duy Hiếu, *Nghiên cứu chế tạo bê tông Keramzit chịu lực có độ cháy cao*. Đại học Xây dựng, Hà Nội, 2009.
9. Mai Ngọc Tâm, Nguyễn Văn Đoàn và các ctv, *Nghiên cứu các giải pháp vật liệu chế tạo và thi công tường panen thay thế xây gạch trong công trình*. Viện Vật liệu Xây dựng, 2014.
10. Kim Huy Hoàng và các ctv, *Nghiên cứu tối ưu thành phần của bê tông nhẹ tạo rỗng bằng cốt liệu EPS để sản xuất panel tường và panel sàn dùng cho công trình nhà ở lắp ghép*. Science & Technology Development, 2010. 13(K3): p. 14-23.
11. Mihlayanlar, E., Ş. Dilmaç, and A. Güner, *Analysis of the effect of production process parameters and density of expanded polystyrene insulation boards on mechanical properties and thermal conductivity*. Materials & Design, 2008. 29(2): p. 344-352.
12. Nguyễn Tấn Quý, Nguyễn Thiện Ruệ, *Giáo trình Công nghệ bê tông xi măng_ tập 1 (Lý thuyết bê tông)*. Hà Nội, NXB Giáo Dục, 2000.
13. Nguyễn Duy Hiếu, *Công nghệ bê tông nhẹ cốt liệu nhẹ chất lượng cao*. Hà Nội: NXB Xây Dựng, 2010.

14. Babu, K.G. and D.S. Babu, *Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume*. Cement and Concrete Research, 2003. 33(5): p. 755-762.
15. Chen, B. and J. Liu, *Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber*. Cement and Concrete Research, 2004. 34(7): p. 1259-1263.
16. Miled, K., K. Sab, and R. Le Roy, *Particle size effect on EPS lightweight concrete compressive strength: Experimental investigation and modelling*. Mechanics of Materials, 2007. 39(3): p. 222-240.
17. Fathi, M., A. Yousefipour, and E. Hematpoury Farokhy, *Mechanical and physical properties of expanded polystyrene structural concretes containing Micro-silica and Nano-silica*. Vol. 136. 2017. 590-597.
18. Hoàng Minh Đức, *Nghiên cứu chế tạo bê tông nhẹ cách nhiệt kết cấu sử dụng hạt polystyrene phòng nổ*. Tạp chí KHCN Xây dựng, 2017. 4.
19. Nguyễn Duy Hiếu và các ctv, *Nghiên cứu sự làm việc của tấm sàn bê tông keramzit dưới tải trọng phân bố đều*. Tạp chí KHCN Xây dựng, 2010: p. 1-4.
20. Kaya, B.A. and F. Kar, *Thermal and Mechanical Properties of Concretes with Styropor*. Journal of Applied Mathematics and Physics, 2014. 02(06): p. 310-315.
21. Tang, W.C., Y. Lo, and A. Nadeem, *Mechanical and drying shrinkage properties of structural-graded polystyrene aggregate concrete*. Cement and Concrete Composites, 2008. 30(5): p. 403-409.
22. Tang, W.C., et al., *Flexural strengthening of reinforced lightweight polystyrene aggregate concrete beams with near-surface mounted GFRP bars*. Building and Environment, 2006. 41(10): p. 1381-1393.
23. K.T.Yucel, C. Basyigit, and C.Ozel, *Thermal insulation properties of expanded polystyrene as construction and insulating materials*. p. 1-13.
24. Nassima Sotehi and A. Chaker, *Thermal Performance Characterization of Lightweight Concrete Incorporated with Polystyrene*. Study of Civil Engineering and Architectute (SCEA), 2014. 3: p. 59-61.
25. Nguyễn Chí Thành, Nguyễn Duyên Phong và các ctv, *Nghiên cứu sự ảnh hưởng của cường độ chịu nén bê tông xi măng và sự bám dính của bê tông xi măng với cốt thép*. Tuyển tập các công trình khoa học - Trường Đại học Mở - Địa Chất, 2011: p. 147-189.
26. Tang, W., H. Cui, and S. Tahmasbi, *Fracture Properties of Polystyrene Aggregate Concrete after Exposure to High Temperatures*. Materials (Basel), 2016. 9(8).

27. Ali Sadr Momtazi, M.A.M.L., Alebar Khodaparast Haggi, Hadi Rasmi Atigh, *Durability of Lightweight Concrete Containing EPS In Salty Exposure Conditions*. Second International Conference on Sustainable Construction Material and Technologies, 2010: p. 1-10.
28. Shi, W., et al., *Durability of Modified Expanded Polystyrene Concrete after Dynamic Cyclic Loading*. Shock and Vibration, 2016. 2016: p. 1-7.
29. Hind M.Ewadh, N.A.B., *Effectiveness of Polystyrene Beads as Aggregate Replacement Material to Recycle Solid Waste: A Study on Workability and Absorption results of Concrete*. International Journal of Scientific & Engineering Research 2012. 3(8): p. 1-4.
30. Liu, N. and B. Chen, *Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete*. Construction and Building Materials, 2014. 68: p. 227-232.
31. Cao Xuân Phong và các ctv, *Ứng xử lưu biến và mô hình chảy xòe của bê tông tự đầm*. Báo cáo nghiên cứu Khoa học - Trường Đại học Kiến trúc Thành phố Hồ Chí Minh, 2009: p. 1-40.
32. R. Sri Ravindrarajah and A. J. Tuck, "Properties of hardened concrete containing treated expanded polystyrene beads," *Cement and Concrete Composites*, vol. 16, no. 4, pp. 273–277, 1994.
33. Nguyễn Công Thắng, Hàn Ngọc Đức và các ctv, *Nghiên cứu thực nghiệm nâng cao một số tính chất của bê tông nhẹ cốt liệu nhẹ*. Tạp chí KH-CN Xây dựng, 2018. 12(2): p. 104-109.
34. Chikhi A., Belhamri A., Glouannec P., Magueresse A, Experimental study and modeling of hygro-thermal behavior of polystyrene concrete and cement mortar, Application to a multilayered wall, *Journal of Building Engineering*, Vol. 7, 2016, pp. 183–193.
35. Ries, J.P., et al., *Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete*. ACI Committee 213, 2003.
36. Bakri, A.M.M.A., G.C.M. Ruzaidi, and M.N.N.H. Kamarudi, *Preliminary study on concrete with polystyrene coarse aggregate*.
37. S.G. Park and D.H. Chisholm, *Polystyrene Aggregate Concrete*. Study report, 1999.
38. Yucel, K.T., C. Basyigit, and C. Ozel, *Thermal insulation properties of expanded polystyrene as construction and insulating materials*. Civil Engineering Department, Isparta, Turkey, 2010.
39. Nassima Sotehi and A. Chaker, *Thermal Performance Characterization of Lightweight Concrete Incorporated with Polystyrene*. Study of Civil Engineering and Architecture (SCEA) 2014. Volume 3, 2014.

40. Laukaitis A., Žurauskas R., Kerien J, *The effect of foam polystyrene granules on cement composite properties*, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 27, No. 1, 2005, pp. 41–47.
41. Nguyễn Công Thắng, Hàn Ngọc Đức, và các ctv, *Nghiên cứu thực nghiệm nâng cao một số tính chất của bê tông nhẹ cốt liệu nhẹ*. *Tạp chí KHCN Xây dựng*, 2018. 2: p. 104-109.
42. Nguyễn Văn Phiêu, Nguyễn Văn Chánh, *Công nghệ bê tông nhẹ*, Hà Nội: NXB Xây Dựng, 2010.
43. B. Chen and J. Liu, “Mechanical properties of polymer-modified concretes containing expanded polystyrene beads,” *Construction and Building Materials*, vol. 21, no. 1, pp. 7–11, 2007.
44. Hind M.Ewadh, N.A.B. and N.A. Basri, *Effectiveness of Polystyrene Beads as Aggregate Replacement Material to Recycle Solid Waste: A Study on Workability and Absorption results of Concrete*. *International Journal of Scientific & Engineering Research* Volume 3, Issue 8, August-2012
45. Aman Mulla and A. Shelake, *Lightweight Expanded Polystyrene Beads Concrete*. *International Journal of Research in Advent Technology* (E-ISSN: 2321-9637)
46. Cao Xuân Phong, Hoàng Thanh Liêm và các ctv, *Ứng xử lưu biến và mô hình thí nghiệm chảy xòe của bê tông tự đầm lên*. *Đại học Kiến trúc TP Hồ Chí Minh*, 2009.
47. Khan, M.I., *Factors affecting the thermal properties of concrete and applicability of its prediction models*. *Building and Environment*, 2002. 37: p. 607–614.
48. Zaher Kuhal and S. Shihada, *Mechanical properties of polystyrene lightweight concrete*. 2003. 11: p. 114.
49. Vũ Văn Nhân, Nguyễn Thế Dương và các ctv, *Ảnh hưởng của mô đun độ lớn của cát đến tính chất ma sát và lưu biến của bê tông tươi có xét đến yếu tố thời gian*. *Đại học Duy Tân*, 10/2017.
51. Баженов Ю.М., *Технология бетона*. - М.: Высшая школа, 1987.
52. Mowrtage, W., YEL, H., & Karakale, *CFS Building System for Safer and Sustainable Buildings in Seismic Areas: Experimental Work and Applications in Turkey*. *International Burdur Earthquake & Environment Symposium (IBEES2015)*, 2015, 175-180.
53. Kuhail, Z., *Mechanical Properties of Polystyrene-Lightweight Concrete*. *Journal of the Islamic University of Gaza*, 2003, 93-114.

54. Eathakoti, S., Gundu, N., & Raju, P. M., *An Innovative No Fines Concrete Pavement Model*. Journal of Mechanical and Civil Engineering, 2015, p 4-44.
55. J.Hamad, A., *Materials, Production, Properties and Application of Aerated Lightweight Concrete: Review*. International Journal of Materials Science and Engineering Vol.2 2014, 152-158.
56. Shafigh, F. S., *High Strength lightweight concrete using leca, silica fume and limestone*. Arabian Journal of Science and Engineering, vol 37, 2012, 1885-1893.
57. Bischoff., *Polystyrene Aggregate Concrete Subjected to Hard IMPact*. Proceedings Institution of Civil Engineers, Part 2: Research and Theory, Vol.89,1990.
58. Neville, A.. Properties of Concrete. London: Pitman Press Publisher, 1981.
59. Herki, B., Khatib, J., & Negim, E. *Lightweight Concrete Made from Waste Polystyrene and Fly Ash*. World Applied Sciences Journal 21, 2013, 1356-1361.
60. Ravinrajah, R., & Tuck, A. *Properties of Hardened Concrete Containing treated Expanded Polystyrene Beads*. Sydney: Faculty of Engineering, University of Technology, Sydney, 1993.
61. Park, S., & Chisholm, D. *Study Report on Polystyrene Aggregate Concrete*. New Zealand: Building Research Levy.
62. Ahmad, M. H., Yee Loon, L., & Adnan, S. H. (2008). *Strength Development of Lightweight Styrofoam Concrete*, 1999.
63. Nastaran, H., & Hossein, P. International Research Journal of Applied and Basic Science. *The investigation of in-filled lightweight concrete cracking in frames made of cold formed steel*, 2012. 2671-2678.
64. Mydin, M. A. Concrete Research Letters Vol.2 (2). *Potential of Using Lightweight Foamed Concrete in Composite Load Bearing Wall Panels in Low-rise Construction*, 2011, 213 – 228.
65. Broderick, B., Elghazouli, A., & Goggins, J., *Cyclic Behaviour of Hollow and Filled Axially-Loaded Members*, 13th World Conference on Earthquake Engineering, 2004, 25-89.
66. Zhao, X. L., Grzebieata, R., & Lee, C. *Void-filled Cold-Formed Rectangular Hollow Section Braces Subjected to Large Deformation Cyclic Axial Loading*. Journal of Structural Engineering. ASCE 2002, 746-753.

67. Lakshmi, k. S., Ajitha, B., Prabha, P., & Palani, G, *Inplane Shear Behaviour of Steel-Foam Concrete Composite Wall Panels*. International Journal of Engineering Research & Technology, 2015, p 248-254.
68. Abdul Rahman, Nurharniza, Hamzah, Siti Hawa., and Wong, Eng Tsung.. *Effective performance of steel fibre reinforced concrete wall panel for IBS component*. International Conference of Construction and Building Technology (ICCBT), 2008, 203-212.
69. S. H. Perry, P. H. Bischoff, and K. Yamura, "Mix details and material behaviour of polystyrene aggregate concrete," *Magazine of Concrete Research*, vol. 43, 1991, no. 154, pp. 71–76.
70. Abd.Rahim, Jamilah., Hamzah, Siti Hawa., Mohd.Saman, Hamidah., PS-LWC Solid Wall Panel under Compressive Load, *Proceeding of the 31st Conference of Asean Federation Engeineering Organization (CAFEO)*, Jakarta, Indonesia, 2013, 11-14 Nov
71. Ding, Yining, and Kusterle, Wolfgang. CoMParative study of steel fibre-reinforced concrete and steel mesh-reinforced concrete at early ages in panel tests. *Cement and Concrete Research*, 29, 1999, 1827-1834.
72. Saheb, S. Madina, andDesayi, Prakash. Ultimate strength of RC wall panels with openings. *Journal of Structural Engineering*, 116(6) 1990, 1565-1577.
73. Doh, J.H., and Fragomeni, S. Ultimate load formula of reinforced concrete wall panel with openings. *Advances in Structural Engineering*, 9(01) 2006, 103-115.
74. G. C. Hoff, *New Applications for Low-Density Concretes*, vol. 29, ACI Special Publication, 1971.
75. Mamat, Rohana, Abd.Rahim, Jamilah., and Hamzah, Siti Hawa. Structural Performances of Expanded Polystyrene Lightweight Concrete (EPS-LWC) Wall Panel with Different Opening Configurations'. Paper presented at the *Annual Conference of Civil Engineering and Engineering (ACCEE)*, Phuket, Thailand, 14-16 Mar 2014.
76. BS8110: Part 1:1997, Structural used of concrete: Code of Practice for Design and Construction, *British Standard Institution*.UK
77. E. Parant and R. Le Roy, "Optimisation des bétons de densité inférieure à," Tech. Rep., Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France, 1999
78. Altun, Fatih, Kisi, Ozgur, and Aydin, Kamil. Predicting the compressive strength of steel fiber added lightweight concrete using neural network. *Computational Materials Science*, 42, 2008, 259-265.

79. Altun, Fatih, and Aktas, Bekir. Investigation of reinforced concrete beams behavior of steel fiber added lightweight concrete. *Construction and Building Materials* (38) 2013, 575-581.
80. Sachan, A.K., and Rao, C.V.S. Kameswara. Behaviour of fibre reinforced concrete deep beams. *Cement and Concrete Composites*, 12, 1990, 211-218.
81. Hamzah, Siti Hawa., Abdul Hamid, Nor Hayati., and Marwi, Mat Som. Understanding Reinforced Concrete Through Experiment. *UPENAUiTM*, 2nd Ed 2008.
82. Guan, H., Cooper, C., and Lee, D.J. Ultimate strength analysis of normal and high strength concrete wall panels with varying opening configurations. 2010, p 1-48.
83. Ganesan, N., Indira, P.V., and Prasad, S. Rajendra. Ultimate strength of reinforced concrete wall panels. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 02(04) 2009, 340-350.
84. Lee, Dong Jun. Experimental and theoretical studies of normal and high strength concrete wall panels with openings. (PHD Thesis), Griffith University, Gold Coast, 2008.
85. Doh, J.H., Lee, D.J., Guan, H., and Loo, Y.C. Concrete Wall With Various Support Conditions. *Proceeding of the 4th International Conference on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM 08)*. May 26-28, 2008. Korea: Techno-Press. 2008. 967-975.
86. Mohammed, Bashar S., Ean, L.W., and Malek, M.A. One way RC wall panels with openings strengthened with CFRP. *Construction and Building Materials*, 40, 2013, 575-583.
87. A. Laukaitis, R. Žurauskas, and J. Keriene, The effect of foam polystyrene granules on cement composite properties, *Cement and Concrete Composites*, vol. 27, no. 1, pp. 41–47, 2005.
88. C. Bagon and S. Frondistou-Yannas, “Marine floating concrete made with polystyrene expanded beads,” *Magazine of Concrete Research*, vol. 28, no. 97, pp. 225–229, 1976.
89. Y. Xu, L. Jiang, J. Xu, and Y. Li, “Mechanical properties of expanded polystyrene lightweight aggregate concrete and brick,” *Construction and Building Materials*, vol. 27, no. 1, pp. 32–38, 2012.
91. D. J. Cook, *Expanded Polystyrene Beads as Lightweight Aggregate for Concrete*, School of Civil Engineering, University of New South Wales, 1972.

92. I. Laalai and K. Sab, “Size effect and stochastic nonlocal damage in quasi-brittle materials,” in *Probabilities and Materials*, vol. 269 of NATO ASI, pp. 151–161, Springer, Amsterdam, The Netherlands, 1994.
93. R. Le Roy, E. Parant, and C. Boulay, “Taking into account the inclusions' size in lightweight concrete compressive strength prediction,” *Cement and Concrete Research*, vol. 35, no. 4, pp. 770–775, 2005.
94. Владимир Александрович, “Прочностные, деформационные и эксплуатационные свойства полистиролбетона для строительных конструкций и изделий “, Екатеринбург 2010

PHỤ LỤC A

Bảng A.3.1 Ảnh hưởng của kích thước lớn nhất của bê tông nền

STT	Cấp phối nền	Thành phần vật liệu								Thể tích bê tông nền, lít	Tỷ lệ thể tích bê tông nền, %	KLTT, kg/m ³	Độ sụt, mm
		X, kg/m ³	N, lit/m ³	C, kg/m ³	Đ, kg/m ³	SF, kg/m ³	SP, lit/m ³	VM, kg/m ³	EPS, kg/m ³				
1	M0.63.80.21V15	752	293	920	0,00	75,25	7,52	1,13	1,26	921	93,50	2.050	220
2	M0.63.80.21V15	686	267	838	0,00	68,59	6,86	1,03	2,66	839	86,14	1.870	180
3	M0.63.80.21V15	603	234	737	0,00	60,26	6,03	0,90	4,35	737	76,94	1.645	170
4	M0.63.80.21V15	456	177	558	0,00	45,64	4,56	0,68	7,35	559	59,96	1.250	135
5	M0.63.80.21V15	393	153	480	0,00	39,31	3,93	0,59	9,83	481	49,08	1.080	100
6	M0.63.80.21V15	312	121	381	0,00	31,18	3,12	0,47	11,09	382	40,40	860	80
7	M1.25.80.21V15	768	299	938	0,00	76,76	7,68	1,15	0	939	100,00	2.090	210
8	M1.25.80.21V15	642	250	784	0,00	64,17	6,42	0,96	2,86	785	84,41	1.750	170
9	M1.25.80.21V15	575	224	703	0,00	57,50	5,75	0,86	4,47	704	75,61	1.570	150
10	M1.25.80.21V15	530	206	648	0,00	53,04	5,30	0,80	5,89	649	68,46	1.450	130
11	M1.25.80.21V15	456	177	558	0,00	45,64	4,56	0,68	7,35	559	59,96	1.250	100
12	M1.25.80.21V15	393	153	480	0,00	39,31	3,93	0,59	9,83	481	49,08	1.080	70
13	M5.00.80.21V15	746	290	911	0,00	74,56	7,46	1,12	0	910	100,00	2.030	210
14	M5.00.80.21V15	630	245	770	0,00	63,03	6,30	0,95	3,86	769	79,69	1.720	160
15	M5.00.80.21V15	589	229	720	0,00	58,94	5,89	0,88	5,24	719	73,00	1.610	140
16	M5.00.80.21V15	541	211	662	0,00	54,14	5,41	0,81	6,01	661	68,42	1.480	120
17	M5.00.80.21V15	482	187	589	0,00	48,20	4,82	0,72	7,76	588	59,88	1.320	90
18	M5.00.80.21V15	386	150	472	0,00	38,58	3,86	0,58	9,65	471	49,00	1.060	50
19	M5.00.80.21V15	323	125	394	0,00	32,27	3,23	0,48	11,47	394	40,35	890	-
20	M100.80.21V15	595	231	727	660,80	59,47	5,95	0,89	0	958	100,00	2.280	205
21	M100.80.21V15	516	201	630	573,11	51,58	5,16	0,77	2,58	831	86,38	1.980	160
22	M100.80.21V15	474	184	579	526,19	47,36	4,74	0,71	4,47	763	77,06	1.820	160
23	M100.80.21V15	408	159	499	453,32	40,80	4,08	0,61	5,89	657	68,72	1.570	115
24	M100.80.21V15	376	146	460	418,31	37,65	3,76	0,56	6,7	606	64,07	1.450	75
25	M100.80.21V15	332	129	405	368,52	33,17	3,32	0,50	8,47	534	55,40	1.280	30
26	M200.80.21V15	597	232	730	663,70	59,73	5,97	0,90	0	962	100,00	2.290	205
27	M200.80.21V15	516	201	631	573,37	51,60	5,16	0,77	2,88	831	85,05	1.980	130
28	M200.80.21V15	424	165	518	470,78	42,37	4,24	0,64	5,65	682	70,39	1.630	90
29	M200.80.21V15	376	146	460	418,31	37,65	3,76	0,56	6,7	606	64,07	1.450	55
30	M200.80.21V15	350	136	428	388,90	35,00	3,50	0,53	8,18	564	57,59	1.350	20
31	M200.80.21V15	274	106	335	304,22	27,38	2,74	0,41	10,34	441	45,64	1.060	-

Bảng A.3.2 Ảnh hưởng của tính công tác của hỗn hợp bê tông nền

STT	Cấp phối nền	Thành phần vật liệu								Tỷ lệ thể tích bê tông nền, %	KLTT, kg/m ³	Độ sụt nền, mm	Độ sụt BPK, mm
		X, kg/m ³	N, lit/m ³	C, kg/m ³	Đ, kg/m ³	SF, kg/m ³	SP, lit/m ³	VM, kg/m ³	EPS, kg/m ³				
1	M0.63.80.21V15	603	234	737	0,00	60,26	6,03	0,90	4,35	76,94	1.645	220	170
2	M0.63.80.21V15	579	225	708	0,00	57,91	4,31	0,87	4,83	74,31	1.580	180	150
3	M0.63.80.21V15	591	230	722	0,00	59,06	2,95	0,89	4,93	74,30	1.610	80	40
4	M1.25.80.21V15	575	224	703	0,00	57,50	5,75	0,86	4,47	75,61	1.570	220	140
5	M1.25.80.21V15	579	225	708	0,00	57,92	4,31	0,87	4,51	75,58	1.580	180	120
6	M1.25.80.21V15	561	218	686	0,00	56,12	3,37	0,84	4,37	75,57	1.530	140	60
7	M1.25.80.21V15	591	230	722	0,00	59,07	2,95	0,89	4,59	75,63	1.610	80	20
8	M100.80.21V15	408	159	499	453,32	40,80	4,08	0,61	5,89	68,72	1.570	220	115
9	M100.80.21V15	408	159	499	453,61	40,82	3,08	0,61	5,89	68,74	1.570	180	50
10	M100.80.21V15	401	156	490	445,11	40,06	2,45	0,60	5,79	68,69	1.540	140	0
11	M100.80.21V15	401	156	490	445,23	40,07	2,00	0,60	5,79	68,70	1.540	80	-
12	M200.80.21V15	414	161	506	459,69	41,37	2,53	0,62	5,52	70,41	1.590	180	0
13	M200.80.21V15	416	162	509	462,72	41,64	2,08	0,62	5,56	70,40	1.600	140	-
14	M200.80.21V15	424	165	518	470,78	42,37	4,24	0,64	5,65	74,30	1.630	220	90,00

Bảng A.3.3 Ảnh hưởng của tính công tác hỗn hợp bê tông nền sử dụng cốt liệu D2

STT	Cấp phối nền	Thành phần vật liệu								Tỷ lệ thể tích bê tông nền, %	KLTT, kg/m ³	Độ sụt nền, mm	Độ sụt BPK, mm
		X, kg/m ³	N, lit/m ³	C, kg/m ³	Đ, kg/m ³	SF, kg/m ³	SP, lit/m ³	VM, kg/m ³	EPS, kg/m ³				
1	M200.80.21V15	597	232	730	664	59,73	5,97	0,90	0	100,00	2.290	220	205
2	M200.80.21V15	516	201	631	573	51,60	3,96	0,77	2,88	85,05	1.980	180	130
3	M200.80.21V15	424	165	518	471	42,37	4,24	0,64	5,65	70,39	1.630	220	90
4	M200.80.21V15	376	146	460	418	37,65	3,76	0,56	6,7	64,07	1.450	220	55
5	M200.80.21V15	350	136	428	389	35,00	3,50	0,53	8,18	57,59	1.350	220	20
6	M200.80.21V15	274	106	335	304	27,38	2,74	0,41	10,34	45,64	1.060	220	—
7	M200.80.21V15	419	163	512	465	41,88	3,16	0,63	5,58	70,44	1.610	220	10
8	M200.80.18V15	593	231	724	659	59,27	3,62	0,89	0	100,00	2.270	180	180
9	M200.80.18V15	414	161	506	460	41,37	2,53	0,62	5,52	70,41	1.590	180	0
10	M200.80.18V15	416	162	509	463	41,64	2,08	0,62	5,56	70,40	1.600	140	—
11	M200.80.18V15	353	137	431	392	35,28	2,67	0,53	8,23	57,61	1.360	220	0
12	M200.80.18V15	372	145	454	413	37,17	2,27	0,56	6,6	64,11	1.430	180	70
13	M200.80.18V15	487	190	596	542	48,74	3,68	0,73	2,7	85,14	1.870	180	80

STT	Cấp phối nền	Thành phần vật liệu								Tỷ lệ thể tích bê tông nền, %	KLTT, kg/m ³	Độ sụt nền, mm	Độ sụt BPK, mm
		X, kg/m ³	N, lit/m ³	C, kg/m ³	Đ, kg/m ³	SF, kg/m ³	SP, lit/m ³	VM, kg/m ³	EPS, kg/m ³				
14	M200.80.14V15	587	228	718	653	58,75	3,59	0,88	0	100,00	2.250	140	140
15	M200.80.14V15	472	184	577	524	47,19	2,88	0,71	2,62	85,10	1.810	140	50
16	M200.80.14V15	519	202	634	577	51,89	3,17	0,78	2,88	85,12	1.990	140	130
17	M200.80.18V15	514	200	628	571	51,38	2,57	0,77	2,86	85,09	1.970	220	40
18	M200.80.18V15	485	189	593	539	48,51	2,43	0,73	2,7	85,08	1.860	220	0

Bảng A.3.4 Ảnh hưởng của tính công tác hỗn hợp bê tông nền sử dụng cốt liệu C1

STT	Cấp phối nền	Thành phần vật liệu								Tỷ lệ thể tích bê tông nền, %	KLTT, kg/m ³	Độ sụt BPK, mm
		X, kg/m ³	N, lit/m ³	C, kg/m ³	Đ, kg/m ³	SF, kg/m ³	SP, lit/m ³	VM, kg/m ³	EPS, kg/m ³			
1	M0.63.80.21V15	793	309	970	0,00	79,34	7,93	1,19	0	100,0	2.160	8,0
2	M0.63.80.21V15	752	293	920	0,00	75,25	7,52	1,13	1,26	93,50	2.050	22,0
3	M0.63.80.21V15	686	267	838	0,00	68,59	6,86	1,03	2,66	86,14	1.870	3,0
4	M0.63.80.21V15	603	234	737	0,00	60,26	6,03	0,90	4,35	76,94	1.645	22,0
5	M0.63.80.21V15	456	177	558	0,00	45,64	4,56	0,68	7,35	59,96	1.250	22,0
6	M0.63.80.21V15	393	153	480	0,00	39,31	3,93	0,59	9,83	49,08	1.080	18,0
7	M0.63.80.21V15	312	121	381	0,00	31,18	3,12	0,47	11,09	40,40	860	17,0
8	M0.63.80.21V15	282	110	345	0,00	28,19	2,82	0,42	12,53	35,17	780	13,5
9	M0.63.80.18V15	716	279	876	0,00	71,64	5,33	1,07	1,44	92,31	1.950	10,0
10	M0.63.80.14V15	668	260	817	0,00	66,84	4,01	1,00	2,97	84,42	1.820	8,0
11	M0.63.80.8V15	591	230	722	0,00	59,06	2,95	0,89	4,93	74,30	1.610	6,0
12	M0.63.80.18V15	498	193	608	0,00	49,76	3,70	0,75	6,64	64,37	1.360	16,0
13	M0.63.80.14V15	717	279	876	0,00	71,68	4,30	1,08	1,44	92,32	1.950	13,0
14	M0.63.80.8V15	654	254	799	0,00	65,39	3,27	0,98	2,92	84,39	1.780	6,0
15	M0.63.80.18V15	579	225	708	0,00	57,91	4,31	0,87	4,83	74,31	1.580	14,0
16	M0.63.80.14V15	505	196	617	0,00	50,51	3,03	0,76	6,74	64,38	1.380	11,5
17	M0.63.80.8V15	710	276	867	0,00	70,97	3,55	1,06	1,42	92,34	1.930	3,0
18	M0.63.80.18V15	664	258	812	0,00	66,43	4,95	1,00	2,96	84,42	1.810	11,0
19	M0.63.80.14V15	565	220	690	0,00	56,47	3,39	0,85	4,71	74,30	1.540	8,0
20	M0.63.80.8V15	502	195	613	0,00	50,17	2,51	0,75	6,7	64,36	1.370	2,0

Bảng A.3.6 Ảnh hưởng của VM đến độ phân tầng

STT	Cấp phối nền	Thành phần vật liệu								Tỷ lệ thể tích bê tông nền, %	KLTT, kg/m ³	Độ sụt nền, mm	Độ sụt BPK, mm
		X, kg/m ³	N, lit/m ³	C, kg/m ³	Đ, kg/m ³	SF, kg/m ³	SP, lit/m ³	VM, kg/m ³	EPS, kg/m ³				
1	M200.80.21V15	595	231	727	661	59,47	5,95	0,89	0	100,0	2.280	20,5	1,00
2	M200.80.21V15	516	201	630	573	51,58	5,16	0,77	2,58	86,38	1.980	16,0	2,50
3	M200.80.21V15	474	184	579	526	47,36	4,74	0,71	4,47	77,06	1.820	16,0	3,20
4	M200.80.21V15	408	159	499	453	40,80	4,08	0,61	5,89	68,72	1.570	11,5	4,90
5	M200.80.21V15	376	146	460	418	37,65	3,76	0,56	6,7	64,07	1.450	7,5	7,50
6	M200.80.21V15	332	129	405	369	33,17	3,32	0,50	8,47	55,40	1.280	3,0	12,40
7	M200.80.21V15	284	111	347	316	28,43	2,84	0,43	10,11	47,15	1.100	1,0	17,00
8	M200.80.18V15	587	228	718	653	58,73	4,44	0,88	0	100,0	2.250	18,0	1,00
9	M200.80.18V15	519	202	634	576	51,87	3,92	0,78	2,6	86,35	1.990	14,5	2,00
10	M200.80.18V15	463	180	566	515	46,35	3,50	0,70	4,37	77,07	1.780	13,0	3,20
11	M200.80.18V15	408	159	499	454	40,82	3,08	0,61	5,89	68,74	1.570	5,0	5,10
12	M200.80.18V15	377	146	460	418	37,66	2,85	0,56	7,11	62,68	1.450	2,0	7,20
13	M200.80.14V15	574	223	702	638	57,44	3,51	0,86	0	100,0	2.200	14,0	1,00
14	M200.80.14V15	514	200	628	571	51,37	3,14	0,77	2,56	86,42	1.970	8,0	1,00
15	M200.80.14V15	464	180	567	515	46,36	2,83	0,70	4,37	77,08	1.780	5,0	2,50
16	M200.80.14V15	401	156	490	445	40,06	2,45	0,60	5,79	68,69	1.540	0,0	5,00
17	M200.80.14V15	372	144	454	413	37,16	2,27	0,56	7,01	62,69	1.430	—	7,60
18	M200.80.8V15	464	180	567	515	46,38	2,32	0,70	4,37	77,08	1.780	0,0	1,50
19	M200.80.8V15	401	156	490	445	40,07	2,00	0,60	5,79	68,70	1.540	—	2,30
20	M200.80.8V20	587	228	717	652	58,68	5,87	1,17	0	100,0	2.250	18,0	1
21	M200.80.8V20	453	176	553	503	45,27	4,53	0,91	4,27	77,06	1.740	16,0	2,8
22	M200.80.8V20	411	160	502	456	41,05	4,11	0,82	5,93	68,71	1.580	11,0	3,9
23	M200.80.8V20	369	143	451	410	36,86	3,69	0,74	6,56	64,06	1.420	7,0	5,8
24	M200.80.8V10	587	228	717	652	58,70	5,87	0,59	0	100,0	2.250	20,5	1
25	M200.80.8V10	455	177	557	506	45,54	4,55	0,46	4,29	77,08	1.750	17,0	7,2
26	M200.80.8V10	403	157	492	448	40,28	4,03	0,40	5,81	68,74	1.550	11,5	12,7
27	M200.80.8V10	377	146	460	418	37,65	3,77	0,38	6,7	64,07	1.450	8,0	23,1
28	M200.80.8V05	579	225	708	644	57,92	5,79	0,29	0	100,0	2.220	21,5	7
29	M200.80.8V05	448	174	547	497	44,77	4,48	0,22	4,24	77,03	1.720	17,0	22,7
30	M200.80.8V05	398	155	486	442	39,77	3,98	0,20	5,75	68,68	1.530	12,0	25,7
31	M200.80.8V05	364	141	444	404	36,36	3,64	0,18	6,46	64,09	1.400	8,0	33,1