

Thiết kế thành phần bê tông cốt liệu nhẹ kết cấu sử dụng phụ gia hóa học và phụ gia khoáng

Component design of structural lightweight aggregate concrete using chemical admixture and mineral additives

Nguyễn Duy Hiếu

Tóm tắt

Hiện nay bê tông cốt liệu nhẹ kết cấu (SLAC) đã và đang phát triển trên thế giới và ở Việt Nam, theo đó SLAC cần có tính công tác tốt, có thể vận chuyển bằng bơm, dễ tạo hình và đạt cường độ thiết kế; Và khi đó, trong thành phần của SLAC thường phải sử dụng phụ gia hoá học kết hợp phụ gia khoáng hoạt tính. ACI 211.2-98(2004) trình bày phương pháp thiết kế thành phần bê tông cốt liệu nhẹ kết cấu, tuy nhiên phạm vi của tài liệu này không bao gồm bê tông có sử dụng phụ gia hoá học. Bài báo này trình bày kết quả tính toán và thực nghiệm thành phần SLAC trên cơ sở vận dụng ACI 211.2 kết hợp điều chỉnh hỗn hợp đạt mục đích yêu cầu theo kinh nghiệm thực tiễn trong thi công. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng, khi sử dụng phụ gia siêu dẻo, phụ gia cuốn khí và phụ gia khoáng hoạt tính với tỷ lệ phụ hợp đã chế tạo được SLAC đạt yêu cầu thiết kế.

Từ khóa: Bê tông cốt liệu nhẹ kết cấu (SLAC); cốt liệu nhẹ (LA); độ sụt (SN); độ phân tầng; phụ gia siêu dẻo (PGSD); phụ gia cuốn khí (AD); tro bay (FA); silica fume (SF); thiết kế thành phần

Abstract

Currently, structural lightweight aggregate concrete (SLAC) has been developed in the world and in Viet Nam. SLAC needs to be better workable, higher quality, pumpable, and easy to form. Accordingly, in the composition of SLAC, it is often necessary to use chemical additives combined with active mineral additives. ACI 211.2-98(2004) presents a method for the design of structural lightweight aggregate concrete compositions; however, the scope of this document does not include concrete using chemical admixtures. This paper presents the calculation and experimental results of the SLAC composition on the basis of applying ACI 211.2 in combination with adjusting the mixture to achieve the required purpose according to practical experience in construction. The results show that when using superplasticizers, air-entraining additives, and active mineral additives with the appropriate proportions, SLAC has been manufactured to meet the design requirements.

Key words: Structural lightweight aggregate concrete (SLAC); lightweight aggregate (LWA); slump; stratification index; superplasticizer (PGSD); air entrainment additives (AD); fly ash (FA); silica fume (SF); component design

PGS. TS. Nguyễn Duy Hiếu

Bộ môn Vật liệu xây dựng, Khoa Xây dựng
Email: nguyenduyhieu@hau.edu.vn
ĐT: 0912396397

Ngày nhận bài: 02/8/2023

Ngày sửa bài: 04/8/2023

Ngày duyệt đăng: 08/8/2023

1. Đặt vấn đề

Hiện nay ở Việt Nam chưa có tiêu chuẩn cũng như chỉ dẫn kỹ thuật thiết kế thành phần bê tông cốt liệu nhẹ kết cấu (SLAC), việc thiết kế chủ yếu dựa vào kinh nghiệm hay một số tiêu chuẩn nước ngoài. Tổng quan cho thấy, tiêu chuẩn ACI 211.2-98(2004) [8] là tài liệu thể hiện phương pháp lựa chọn thành phần SLAC có tính hiện đại và hữu dụng. Tuy nhiên, phạm vi áp dụng của [8] lại không bao gồm việc sử dụng phụ gia hoá học và phụ gia khoáng.

Trên cơ sở thành phần SLAC được thiết kế và lựa chọn theo [8] (không sử dụng phụ gia) kết hợp vận dụng quy luật ảnh hưởng của vật liệu và thành phần đến tính chất của SLAC [3,4,5], cũng như kinh nghiệm chế tạo và thi công SLAC [2] khi có thêm phụ gia hoá học và phụ gia khoáng hoạt tính, có thể thiết kế thành phần SLAC đạt độ sụt hay độ chảy cao, bê tông vẫn đạt yêu cầu về khối lượng thể tích và cường độ. Bài báo này trình bày nguyên tắc và ví dụ tính toán thiết kế thành phần SLAC có sử dụng phụ gia hoá dẻo, phụ gia cuốn khí và phụ gia khoáng hoạt tính.

2. Nguyên tắc thiết kế thành phần bê tông cốt liệu nhẹ kết cấu

2.1. Hàm mục tiêu

Không như bê tông nặng thông thường, khi thiết kế cấp phối chỉ quan tâm hai hàm mục tiêu chính cần đạt: tính công tác và cường độ chịu nén. Đối với bê tông cốt liệu nhẹ nói chung và SLAC nói riêng, cần quan tâm ít nhất ba hàm mục tiêu sau: độ sụt/độ chảy và tính đồng nhất; khối lượng thể tích; cường độ chịu nén. Cần lưu ý rằng, khi điều chỉnh các yếu tố để hỗn hợp bê tông hay bê tông đạt hàm mục tiêu nào đó sẽ làm thay đổi đáng kể giá trị của các hàm mục tiêu khác. Điều này thể hiện rất rõ đối với SLAC, chẳng hạn như khi thêm phụ gia hoá dẻo thì độ sụt, độ chảy sẽ tăng, tuy nhiên độ phân tầng thường cũng lớn hơn làm suy giảm tính đồng nhất của hỗn hợp và do đó ảnh hưởng tiêu cực đến cường độ bê tông [3, 4]; khi sử dụng phụ gia cuốn khí có thể giảm được sự phân tầng cốt liệu nhẹ, khối lượng thể tích của hỗn hợp giảm nhưng cường độ bê tông cũng có thể giảm đáng kể nếu hàm lượng khí đủ lớn [5].

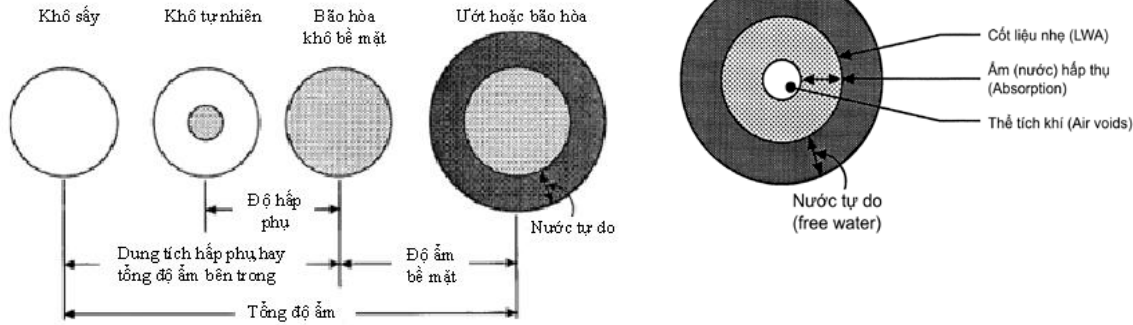
2.2. Các yếu tố ảnh hưởng và nguyên lý thiết kế thành phần SLAC

Ngoài các yếu tố về tính chất cơ lý và hoá lý của vật liệu sử dụng thể hiện qua loại xi măng, loại cốt liệu và phụ gia... đến tính chất của bê tông nói chung, đối với SLAC cần quan tâm thêm các yếu tố đặc thù ảnh hưởng nhiều đến việc thiết kế cấp phối: Cấu trúc và trạng thái ẩm của cốt liệu; Thành phần hạt cốt liệu nhẹ; Tỷ lệ nước - xi măng; Hàm lượng không khí cuốn.

Nghiên cứu cấu trúc và trạng thái ẩm của cốt liệu thấy rằng, cốt liệu nhẹ (LWA) có độ rỗng cao, độ hút nước lớn, hấp thụ nước nhanh, trạng thái ẩm phức tạp. Tuy thuộc trạng thái ẩm ban đầu (xem Hình 1), khi trộn LWA vào hỗn hợp, sự trao đổi nước giữa chúng với vữa khá phức tạp: cốt liệu khô hoặc chưa bão hòa sẽ hút nước từ vữa; LWA bão hòa sẽ có thể chuyển một phần nước hấp thụ sang nước trộn ...

Về thành phần hạt của LWA, cần lưu ý khi cỡ hạt thay đổi tính chất của cốt liệu cũng thay đổi: khi cỡ hạt (D_{max}) giảm thì cường độ tăng, khối lượng thể tích hạt tăng và ngược lại.

Cấp phối của cốt liệu nhỏ và lớn, cũng như hàm lượng của chúng trong bê tông ảnh hưởng nhiều đến tính chất của sản



Hình 1. Mô phỏng các trạng thái của cốt liệu nhẹ và thành phần pha hạt cốt liệu nhẹ ở trạng thái “ướt nguyên trạng” (vùng tô nhạt: hạt cốt liệu và ẩm; vùng đậm: nước tự do; vùng trắng: pha khí)

phẩm; cốt liệu cấp phối tốt sẽ có sự phân bố kích thước hạt liên tục, tạo ra độ rỗng xốp tối thiểu và sẽ yêu cầu một lượng hồ xi măng nhỏ nhất để lấp đầy các khoảng trống, do đó sẽ tiết kiệm lượng dùng xi măng mà bê tông vẫn đạt cường độ yêu cầu, đồng thời có thể hạn chế được co mềm và co khô.

Nhìn chung tổng khối lượng của cốt liệu trong bê tông đạt được nhiều nhất:

- (a) khi cốt liệu lớn được cấp phối với cỡ hạt từ lớn nhất đến nhỏ nhất;
- (b) khi hạt có hình dạng gần nhất với khối lập phương; và
- (c) khi kết cấu bề mặt hạt trơn nhẵn nhất.

Trong công nghệ bê tông nhẹ kết cấu thường sử dụng cát đặc (cát nặng) với vai trò là một phần hay toàn bộ thể tích cốt liệu nhỏ; việc sử dụng cát cát nặng có thể làm tăng cường độ và mô đun đàn hồi của bê tông, tuy nhiên khi đó phải chấp nhận việc tăng khối lượng thể tích của sản phẩm. Do đó, nên xem xét các thuộc tính này cùng với các tác động tổng thể khi lựa chọn thành phần hỗn hợp.

Khi xét ảnh hưởng của tỷ lệ nước - xi măng (hay nước - chất kết dính), cần quan tâm đến lượng nước hiệu quả, nó phụ thuộc vào cấu trúc và trạng thái ẩm của cốt liệu nhẹ; lượng nước tự do trong các mẻ trộn, trên bề mặt hoặc trong lỗ rỗng hở của cốt liệu nhẹ, thay đổi tùy theo kích thước và số lượng các lỗ rỗng hở trong các hạt cốt liệu. Quan hệ của tỷ lệ nước - xi măng đến tính chất của SLAC nhìn chung khó xác định một cách tường minh. Trong thiết kế thành phần, về khía cạnh này, thường lập các bảng theo số liệu kinh nghiệm, trong đó đề xuất cận trên của tỷ lệ nước - xi măng, tùy theo cường độ bê tông yêu cầu và môi trường tiếp xúc của kết cấu bê tông.

Giải pháp dùng phụ gia cuốn khí thường được khuyến nghị trong công nghệ bê tông cốt liệu nhẹ, cũng như trong hầu hết trường hợp kết cấu bê tông tiếp xúc với môi trường băng giá [4,7,8]; Khi không dự đoán được mức độ nguy hại của điều kiện tiếp xúc, có thể loại bỏ việc sử dụng nó, nhưng những tác động có lợi của cuốn khí đối với tính công tác và sự gắn kết của bê tông là điều cần quan tâm và có thể đạt được với hàm lượng khí cuốn không dưới 4,0%. Không khí cuốn vào do tác động của phụ gia cuốn khí cũng làm giảm khối lượng thể tích của bê tông cốt liệu nhẹ xuống vài phần trăm và nâng cao tính đồng nhất của hỗn hợp [4].

Lượng không khí cuốn theo được khuyến nghị đối với bê tông cốt liệu nhẹ có thể bị đóng băng và tan băng hoặc muối khử băng là 4 đến 6% khi kích thước cốt liệu tối đa là 19,0 mm và 4,5 đến 7,5% khi kích thước cốt liệu tối đa là 9,5mm [8].

Cường độ của bê tông nhẹ có thể bị giảm đáng kể do hàm lượng khí cuốn ở mức cao [4,8]. Ở hàm lượng không khí bình thường (4 đến 6%), mức giảm nhỏ nếu độ sụt không quá 125mm và hàm lượng xi măng được sử dụng theo khuyến nghị.

Tài liệu ACI 211.2 giới thiệu 2 phương pháp thiết kế thành phần SLAC: phương pháp khối lượng và phương pháp thể tích. Phạm vi bài báo này chỉ đề cập đến phương pháp khối lượng, áp dụng cho SLAC sử dụng cốt liệu lớn là LWA và cốt liệu nhỏ là cát thường. Theo đó, thông số khối lượng thể tích của LWA được xác định ở trạng thái bão hòa khô bề mặt (SSD); khối lượng LWA được tính toán theo mật độ của nó trong SLAC; lượng nước trộn xác định từ Bảng thực nghiệm tùy theo độ sụt ban đầu (thường chọn ở mức thấp) cũng như mô đun độ lớn của cát và kích thước hạt danh nghĩa (D_{max}) của LWA; lượng xi măng xác định từ tỷ lệ nước - xi măng lựa chọn theo Bảng tra, phụ thuộc cường độ và môi trường tiếp xúc; lượng cát được xác định từ nguyên tắc tổng khối lượng toàn bộ vật liệu bằng khối lượng thể tích của hỗn hợp, hoặc từ quan hệ khối lượng thể tích bê tông khô bằng tổng khối lượng của cốt liệu, xi măng hay chất kết dính và lượng nước hydrate với chất kết dính.

Trên cơ sở cấp phối sơ bộ đối với bê tông không dùng phụ gia hoá học và phụ gia khoáng với độ sụt lựa chọn ban đầu ở mức thấp (theo kinh nghiệm và hiệu quả của phụ gia cũng như độ sụt yêu cầu), sẽ xác định mẻ trộn thử để kiểm tra các hàm mục tiêu thiết kế, nếu đạt yêu cầu sẽ tiến hành cho thêm phụ gia hoá dẻo dạng lỏng (định hướng theo tỷ lệ khuyến cáo của nhà sản xuất phụ gia) và có thể giảm lượng nước trộn nếu cần. Việc lựa chọn tỷ lệ dùng phụ gia cuối cùng và có cần thiết sử dụng thêm phụ gia cuốn khí hay không phụ thuộc vào kết quả thử nghiệm độ sụt/độ chảy, độ phân tầng của hỗn hợp, khối lượng thể tích và cường độ chịu nén của bê tông; trong nhiều trường hợp, chẳng hạn như với hỗn hợp bê tông bơm, nên sử dụng phụ gia khoáng hoạt tính thay thế một phần xi măng và phụ gia cuốn khí (tỷ lệ sử dụng theo khuyến cáo và kinh nghiệm, tùy theo loại phụ gia, sao cho hàm lượng không khí cuốn trong bê tông không nên vượt quá 6%).

3. Tính toán và hiệu chỉnh thành phần SLAC

3.1. Lựa chọn vật liệu

3.1.1 Xi măng

Với SLAC, nên ưu tiên dùng xi măng mác cao. Xi măng sử dụng trong nghiên cứu thực nghiệm là PC50 Nghi Sơn đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 2682:2020, với các tính chất như trong bảng 1.

Bảng 1. Tính chất cơ lý của xi măng PC50 Nghi Sơn

STT	Chỉ tiêu	Phương pháp thí nghiệm	Đơn vị	Giá trị
1	Khối lượng riêng	TCVN 4030:2003	g/cm ³	3,09
2	Độ mịn: Sét sàng 0,09 mm Bề mặt riêng, cm ² /g	TCVN 4030:2003	% -	0 3900
3	Lượng nước tiêu chuẩn	TCVN 6017:2015	%	29,5
4	Thời gian đông kết: - Bắt đầu - Kết thúc	TCVN 6017:2015	Phút	115 230
5	Cường độ nén: - 3 ngày - 28 ngày	TCVN 6016:2011	MPa	38,3 56,4

Bảng 2. Tính chất cơ lý của cát thường

TT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị	PP thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,65	TCVN 7572-4:2006
2	Khối lượng thể tích khô	g/cm ³	2,46	TCVN 7572-4:2006
3	Khối lượng thể tích bão hòa bề mặt	g/cm ³	2,53	TCVN 7572-4:2006
4	Khối lượng thể tích xốp	g/cm ³	1,59	TCVN 7572-6:2006
5	Độ hút nước	%	2,93	TCVN 7572-4:2006
6	Hàm lượng bụi, bùn, sét	%	1,5	TCVN 7572-8:2006
7	Mô đun độ lớn, M _{dl}	-	2,80	TCVN 7572-2:2006

Bảng 3. Các tính chất cơ lý của cốt liệu nhẹ

STT	Tính chất	Giá trị
1	Dmax (mm)	19,0
2	Khối lượng thể tích xốp khô (kg/m ³)	730
3	Khối lượng thể tích xốp đầm chặt (kg/m ³)	750
4	Khối lượng thể tích (khô) (g/cm ³)	1,48
5	Khối lượng thể tích bão hoà khô bề mặt (g/cm ³)	1,65
6	Độ ẩm (bão hoà khô bề mặt) (%)	13,7
7	Cường độ nén đập (MPa)	1,9

3.1.2 Cốt liệu nhỏ

Cốt liệu nhỏ sử dụng là cát tự nhiên (cát thường) có mô đun độ lớn 2,9, thành phần hạt đạt yêu cầu theo TCVN 7570; tính chất cơ lý như trong bảng 2.

3.1.3 Cốt liệu nhẹ

Cốt liệu nhẹ (LWA) dùng sản xuất bê tông nhẹ kết cấu cần đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật quy định theo ASTM C330-17 [7].

Đặc tính quan trọng ảnh hưởng đến hầu hết các tính chất của bê tông nhẹ là cấu trúc rỗng của cốt liệu, được đặc trưng bằng các chỉ số: độ rỗng hạt, trạng thái lỗ rỗng kín hay hở, kích thước hình học của lỗ rỗng.

Nhìn chung LWA có chất lượng tốt khi độ rỗng trong hạt lớn, độ rỗng giữa các hạt nhỏ, lỗ rỗng ở trạng thái kín, kích thước lỗ rỗng bé, cốt liệu dạng hình cầu, hình trụ, hay ovan, cường độ cốt liệu cao.

Trong nghiên cứu đã sử dụng cốt liệu nhẹ nhân tạo là dăm nhẹ sản xuất tại công ty Sỏi đá nhẹ Vĩnh Cửu (Đồng

Nai, Việt Nam). Sử dụng LWA dạng dăm nhẹ cỡ hạt 4,75 - 19mm, các đặc trưng cơ lý được trình bày trong Bảng 3.

3.1.4 Nước trộn

Sử dụng nước máy sinh hoạt để trộn hỗn hợp bê tông, tiền xử lý ẩm cốt liệu nhẹ và bảo dưỡng mẫu bê tông, đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 4506:2012. Lượng nước hiệu quả trong hỗn hợp bê tông được kí hiệu là N.

3.1.5 Phụ gia khoáng

Để hạn chế lượng dùng xi măng cũng như giảm nhẹ khối lượng thể tích của bê tông, có thể sử dụng một số loại phụ gia khoáng hoạt tính (PGK) với tỷ trọng thấp hơn xi măng, thay thế một phần xi măng, như silica fume, tro trấu, tro bay, xỉ lò cao hạt hoá nghiền mịn... Một đặc điểm cần lưu ý là cường độ của bê tông cốt liệu nhẹ chịu ảnh hưởng của lượng dùng xi măng (X) hay chất kết dính hơn là tỷ lệ N/X hoặc N/CKD [2,3]; theo đó, trong nhiều trường hợp việc dùng PGK sẽ có hiệu quả đáng kể.

Nghiên cứu đã sử dụng tro tuyển nhiệt điện Phả Lại, loại F, đáp ứng theo TCVN 10302:2014, đường kính cỡ hạt trung bình khoảng 15,5µm (phương pháp laser), hàm lượng mất khi nung MKN là 2,6%, chỉ số hoạt tính cường độ tuổi 7 ngày là 95,3%, khối lượng riêng 2,3 kg/l; Silica fume loại hạt rời đáp ứng TCVN 8827:2011, khối lượng riêng 2,2 g/cm³, chỉ số hoạt tính cường độ tuổi 7 ngày là 115%.

3.1.6 Phụ gia hoá học

Trong nghiên cứu này đã sử dụng hai loại phụ gia hoá là phụ gia siêu dẻo (PGSD) Sika-3020PR và phụ gia cuốn khí (A):

PGSD phù hợp với tiêu chuẩn TCVN 8826:2011, loại G với các đặc tính:

- Gốc: Polycarboxylate cải tiến trong nước.

- Trạng thái: chất lỏng màu nâu nhạt.
- Khối lượng thể tích: 1,075 - 1,095 kg/l.
- Liều lượng điển hình: 0,7 - 1,5 lít/100 kg xi măng; tỷ lệ giảm nước 20 - 25%.
- Độ pH: 4,75 - 6,75.
- Khả năng tương hợp: tất cả các loại xi măng pooc lăng.

Phụ gia cuốn khí của hãng Bifi (AD), cho phép giảm khối lượng thể tích, giảm sự phân tầng và tách nước, cải thiện khả năng hoàn thiện bề mặt [5], tăng độ bền bằng giá của bê tông. Phụ gia cuốn khí Bifi đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 12300:2018 (được biên soạn trên cơ sở ASTM C260), các thông tin kỹ thuật và kinh nghiệm sử dụng như sau:

Gốc: Chất hoạt động bề mặt.

Khối lượng thể tích: 1,02 - 1,06 kg/ lít.

Hàm lượng Clorua: không có.

Hàm lượng sử dụng tính: 0,1 - 0,4% theo lượng chất kết dính, sao cho hàm lượng khí trong hỗn hợp bê tông: $6 \pm 1\%$. Nghiên cứu [5] cho thấy đối với loại phụ gia cuốn khí này, nên dùng với tỷ lệ 0,2% theo lượng chất kết dính trong SLAC vận chuyển bằng bơm.

3.2. Thiết kế thành phần hỗn hợp SLAC vận chuyển bằng bơm

3.2.1 Giá trị các hàm mục tiêu và thông số vật liệu sử dụng

Mục tiêu: chế tạo bê tông cốt liệu nhẹ đổ tại chỗ cho kết cấu sàn bê tông cốt thép làm việc trong môi trường thông thường. Trên cơ sở kinh nghiệm đã có với vật liệu và điều kiện đổ bê tông bằng bơm, chọn các hàm mục tiêu như sau: độ sụt của hỗn hợp từ 140 - 160 mm; độ phân tầng nhỏ hơn 10% (thử nghiệm theo [9]); cường độ chịu nén (mẫu trụ) yêu cầu tuổi 28 ngày của bê tông: 25MPa, cường độ vượt thiết kế (theo ACI 318, không có dữ liệu kinh nghiệm): 8 MPa, vậy cường độ trung bình yêu cầu của bê tông: $f'_{cr} = 32$ MPa; khối lượng thể tích yêu cầu của SLAC trong khoảng 1800 - 1900 kg/m³.

3.2.2 Quy trình thiết kế

Trên cơ sở các Bảng số liệu đã xác lập trong [8], theo quy trình từ bước 1 đến bước 7, thiết kế được thành phần SLAC không dùng phụ gia khoáng như sau:

Bước 1: Xác định tỷ lệ N/X.

Từ Bảng 3.4 [8], với bê tông cuốn khí đạt cường độ chịu nén 32MPa, giá trị nội suy được: $N/X = 0.42$

Bước 2: Xác định lượng nước.

Từ Bảng 1.2 [8], áp dụng với cốt liệu (trạng thái SSD) có Dmax 19mm, hỗn hợp bê tông cuốn khí có độ sụt từ 125 - 150 mm, tìm được lượng nước ban đầu là 187 kg, sau khi trừ lượng nước giảm nhờ sử dụng phụ gia (tỷ lệ giảm nước là 20%; ước lượng PGSD là 3 kg), lượng nước trộn cần thiết (bao gồm phụ gia) là: 153 kg.

Bước 3: Tính thể tích không khí trong hỗn hợp bê tông: xấp xỉ 0,06 m³.

Bước 4: Tính lượng xi măng: $XM = 153 \text{ kg}/0,42 = 364 \text{ kg}$.

Từ lượng xi măng, theo khuyến cáo của nhà sản xuất và kinh nghiệm thi công bê tông cốt liệu nhẹ [2, 5], hàm lượng phụ gia cuốn khí Bifi (AD) là 0,2% so với xi măng. Do vậy có thể bỏ qua sự tham gia của AD khi tính khối lượng thể tích của bê tông.

Bước 5: Tính chọn khối lượng cốt liệu nhẹ

Từ Bảng 1.5 [8], đối với cốt liệu nhỏ có Mô đun độ lớn là 2,80 và Dmax của cốt liệu lớn là 19mm, xác định được thể tích cốt liệu lớn trạng thái xốp khô là 0,70 m³. Vì khối lượng thể tích xốp khô là 730 kg/m³ nên khối lượng khô của cốt liệu lớn là $0,70 \times 730 = 511 \text{ kg}$. Vì cốt liệu lớn có độ ẩm SSD là 13,7% nên khối lượng ở trạng thái bão hòa khô bề mặt là $1,137 \times 511 = 581 \text{ kg}$.

Đối với hỗn hợp bê tông cốt liệu nhẹ vận chuyển bằng bơm, theo kinh nghiệm nên làm ướt cốt liệu nhẹ trước khi trộn [2,3,4]. Trong tính toán này coi LWA ở trạng thái SSD (độ ẩm 13,7%). Theo đó mật độ thể tích của LWA trong 1m³ bê tông là: $581/(1,65 \times 1000) = 0,352 \text{ m}^3/\text{m}^3$.

Bước 6: Tính thể tích tuyệt đối của cát: $V_c = 1\text{m}^3$ - (tích tuyệt đối của XM + thể tích hạt của LWA + thể tích nước + thể tích không khí cuốn). Chi tiết như sau:

Thể tích đặc của xi măng: $364/(3,14 \times 1000) = 0,116 \text{ m}^3$

Thể tích nước và PGSD: $153/(1,00 \times 1000) = 0,153 \text{ m}^3$

Thể tích không khí (từ Bước 4) = 0,060 m³

Thể tích hạt cốt liệu nhẹ (từ Bước 5) = 0,352 m³

Tổng thể tích của vật liệu và thể tích khí: 0,681 m³

Thể tích hạt của cát: $V_c = 1.000 - 0.681 = 0,319 \text{ m}^3$

Khối lượng cát: $C = 0,319 \times 2.65 \times 1000 = 845 \text{ kg}$

Bước 7: Tính toán khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông từ khối lượng các hợp phần.

Khối lượng các vật liệu cho 1m³ bê tông (bỏ qua khối lượng của AD):

Xi măng: 364 kg

Cốt liệu nhẹ (trạng thái SSD): 581 kg

Bảng 4. Tính chất của SLAC chưa dùng PGK thử trong phòng thí nghiệm

Cấp phối	Khối lượng thể tích hỗn hợp, kg/m ³	Độ sụt, mm	Độ phân tầng, %	Cường độ nén (mẫu trụ 15x30cm) (R _t), tuổi t ngày, MPa			Khối lượng thể tích khô trong không khí, kg/m ³
				R ₃	R ₇	R ₂₈	
SLAC-1	1950	145	8	25,8	30,0	35,5	1890

Bảng 5. Tính chất của SLAC thử nghiệm trong phòng

Cấp phối	Khối lượng thể tích hỗn hợp, kg/m ³	Độ sụt, mm	Độ phân tầng, %	Cường độ nén (mẫu trụ 15x30cm) (R _t), MPa, tuổi t ngày				Khối lượng thể tích khô trong không khí, kg/m ³
				R ₃	R ₇	R ₂₈	R ₉₀	
SLAC-2	1910	150	5	25,5	29,0	36,5	42,6	1850

Cát (trạng thái khô):	845 kg
Nước (gồm cả PGSD):	153 kg
Tổng cộng:	1943 kg/m ³

Từ cấp phối trên, tính toán lượng vật liệu cho mẻ trộn 30 lít hỗn hợp, sau đó tiến hành trộn thử và kiểm tra độ sụt, độ phân tầng, khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông, khối lượng thể tích và cường độ chịu nén của bê tông, kết quả thí nghiệm được trình bày trong Bảng 4.

Kết quả thực nghiệm cho thấy: hỗn hợp bê tông đồng nhất, đạt yêu cầu về khả năng bơm [2], cường độ và khối lượng thể tích đạt yêu cầu thiết kế, tuy nhiên khối lượng thể tích của bê tông ở mức cao, mặc dù có thể chấp nhận.

Có thể giảm bớt khối lượng thể tích bê tông mà vẫn duy trì cường độ bằng giải pháp sử dụng phụ gia khoáng tro bay (FA) kết hợp silica fume (SF) thay thế một phần xi măng.

Theo [1] và kinh nghiệm [2] có thể chọn tỷ lệ dùng SF là 5% và FA là 20% tính theo khối lượng XM, khi đó ta có:

XM = 273 kg; FA = 72,8 kg; SF = 18,2 kg và CKD = 364 kg (giữ N/CKD = 0,42).

Sau đó thực hiện Bước 6 tính lại lượng sử dụng cát theo nguyên tắc:

Thể tích tuyệt đối của cát: $V_c = 1\text{ m}^3 - (\text{thể tích tuyệt đối của XM} + \text{thể tích tuyệt đối của FA} + \text{thể tích tuyệt đối của SF} + \text{thể tích hạt của LWA} + \text{thể tích nước} + \text{thể tích không khí cuộn})$.

Chi tiết tính toán như sau:

Thể tích XM: $273/(3,14 \times 1000) = 0,087\text{ m}^3$

Thể tích FA : $72,8/(2,3 \times 1000) = 0,032\text{ m}^3$

Thể tích SF: $18,2/(2,2 \times 1000) = 0,008\text{ m}^3$

Thể tích nước và PGHH: $153/(1,00 \times 1000) = 0,153\text{ m}^3$

Thể tích không khí = $0,060\text{ m}^3$

Thể tích LWA (thể tích hạt) = $0,352\text{ m}^3$

Tổng thể tích tuyệt đối của vật liệu và thể tích khí cuộn: $0,692\text{ m}^3$

Thể tích hạt của cát: $V_c = 1,000 - 0,692 = 0,308\text{ m}^3$

Khối lượng cát: $C = 0,308 \times 2,65 \times 1000 = 816\text{ kg}$

Tổng khối lượng cấp phối = 1914 kg

Tiến hành trộn thử mẻ trộn 30 lít hỗn hợp, kết quả thí nghiệm độ sụt, độ phân tầng, khối lượng thể tích của hỗn hợp và cường độ của bê tông được trình bày trong Bảng 5.

Thực nghiệm cho thấy khi có mặt FA và SF đã cải thiện tính đồng nhất của hỗn hợp bê tông (độ phân tầng thí nghiệm trên cơ sở [9] là 5% đạt khuyến cáo đối với hỗn hợp SLAC vận chuyển bằng bơm); giảm nhẹ khối lượng thể tích của bê tông ($<1900\text{ kg/m}^3$) và tăng cường độ chịu nén so với cấp phối không sử dụng phụ gia khoáng. Điều này là do tác động của các hiệu ứng vật lý và hoá học của tổ hợp phụ gia khoáng trong bê tông.

4. Kết luận

Trên cơ sở vận dụng ACI 211.2-98(2004) kết hợp những kinh nghiệm nghiên cứu và thi công bê tông cốt liệu nhẹ từ nguồn vật liệu trong nước, có sử dụng phụ gia hoá học và phụ gia khoáng, đã thiết kế được thành phần hỗn hợp bê tông đạt yêu cầu tốt về tính công tác và tính chất cơ lý: hỗn hợp có độ sụt 140-150mm, độ phân tầng 5-8%; cấp cường độ chịu nén 25 MPa, tuy nhiên trong mọi trường hợp, trước khi thi công thực tế cần trộn thử mẻ trộn thí nghiệm với vật liệu ở hiện trường để hiệu chỉnh cấp phối tại trạm trộn.

Thực nghiệm cũng cho thấy tác động tích cực của hệ phụ gia hoá học như phụ gia siêu dẻo, phụ gia cuộn khí và phụ gia khoáng hoạt tính tro bay và silica fume trong bê tông cốt liệu nhẹ kết cấu./.

Tài liệu tham khảo

1. Bộ Xây dựng, Chỉ dẫn kỹ thuật "Hướng dẫn sử dụng silica fume trong bê tông, 2018.
2. Nguyễn Duy Hiếu, Hoàn thiện công nghệ chế tạo bê tông cốt liệu rỗng chịu lực có độ chảy cao, dùng trong xây dựng công trình trên địa bàn Hà Nội, Dự án sản xuất thử nghiệm, mã số P. 2004-09, 2009.
3. Nguyễn Duy Hiếu, Công nghệ bê tông cốt liệu rỗng chất lượng cao, NXB Xây dựng, 2016.
4. Hieu Duy Nguyen, Kim Xuan T. Truong, Ngoc Minh Nguyen and Toan T. Do, Self-compacting lightweight aggregate concrete in Vietnam, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 365, Modern Building Materials 032030, (2018) <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/365/3/032030>
5. Hieu Duy Nguyen, Pham Thanh Mai, Truong T. K. Xuan, Phan Viet Anh and Trinh T. Trang, Effects of air entraining admixture on the properties of lightweight aggregate concrete, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Volume 869 (2020) 032026, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/869/3/032026/meta>
6. ASTM C330/C330M-17a Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete.
7. ACI 213R Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete.
8. ACI 211.2 Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete.
9. GOST P 51263-99 Concrete with Polystyrene aggregates - Specification.