



BỘ XÂY DỰNG  
**VIỆN VẬT LIỆU XÂY DỰNG**  
VIETNAM INSTITUTE FOR BUILDING MATERIALS

# CHỈ DẪN KỸ THUẬT

SỬ DỤNG XỈ HẠT LÒ CAO NGHIỀN MỊN  
LÀM PHỤ GIA KHOÁNG CHO BÊ TÔNG

*TECHNICAL GUIDELINES FOR USE OF GROUND GRANULATED  
BLAST-FURNACE SLAG AS MINERAL ADMIXTURE FOR CONCRETE PRODUCTION*



## LỜI NÓI ĐẦU

Căn cứ Quyết định số 657/QĐ-BXD ngày 29 tháng 05 năm 2020 của Bộ trưởng Bộ Xây dựng về việc giao Viện Vật liệu xây dựng thực hiện nhiệm vụ “Nghiên cứu xây dựng chỉ dẫn kỹ thuật sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) cho sản xuất bê tông”. Viện Vật liệu xây dựng đã điều tra, khảo sát, nghiên cứu, tổng kết kinh nghiệm thực tiễn và tham khảo các tiêu chuẩn tiên tiến của quốc tế, đồng thời lấy ý kiến chuyên gia để biên soạn Chỉ dẫn kỹ thuật (CDKT) “Sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn làm phụ gia khoáng cho bê tông”. CDKT này đã được Bộ Xây dựng thẩm định và được Viện Vật liệu xây dựng ban hành theo Quyết định số /21/QĐ-VLXD.

Nội dung của CDKT gồm có: 1. Phạm vi áp dụng; 2. Tài liệu viện dẫn; 3. Thuật ngữ, định nghĩa; 4. Nguyên liệu chế tạo bê tông GGBFS; 5. Ảnh hưởng của GGBFS đến các tính chất bê tông; 6. Phạm vi ứng dụng của bê tông GGBFS; 7. Thiết kế cấp phối bê tông GGBFS; 8. Chế tạo, vận chuyển, thi công và bảo dưỡng bê tông GGBFS; 9. Kiểm tra, nghiệm thu bê tông GGBFS và hai phụ lục, Phụ lục A Một số kết quả thí nghiệm về tính chất GGBFS, chất kết dính và bê tông GGBFS, Phụ lục B Giới thiệu một số công trình sử dụng bê tông GGBFS trong thực tế.

Lưu ý rằng CDKT này được sử dụng cho các cá nhân, tổ chức có đủ năng lực chuyên môn và am hiểu về sử dụng bê tông và phụ gia khoáng trong các lĩnh vực thiết kế, chế tạo và thi công các sản phẩm bê tông cho công trình xây dựng. Viện Vật liệu xây dựng không chịu bất cứ trách nhiệm liên đới nào đối với các sự cố kỹ thuật do các cá nhân, tổ chức áp dụng không đúng bản chất chuyên môn của các nội dung trong CDKT này.

Trong quá trình thực hiện nếu có ý kiến hoặc kiến nghị xin gửi về Ban biên soạn CDKT “Sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn làm phụ gia khoáng cho bê tông” của Viện Vật liệu xây dựng (Địa chỉ: Viện Vật liệu xây dựng, số 235, đường Nguyễn Trãi, quận Thanh Xuân, Hà Nội).

**BAN BIÊN SOẠN CDKT**

**“Sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn làm phụ gia khoáng cho bê tông”**

Lê Việt Hùng (Chủ trì)

Lê Trung Thành

Lưu Thị Hồng

Nguyễn Văn Đoàn

Lê Văn Quang

Nguyễn Văn Tuấn

Nguyễn Văn Hoan

Phan Văn Quỳnh

Phạm Hữu Thiên

Vũ Văn Linh

**BỘ XÂY DỰNG  
VIỆN VẬT LIỆU XÂY DỰNG**

**CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM  
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc**

Số: 320/21/QĐ-VLXD

Hà Nội, ngày 09 tháng 12 năm 2021

## **QUYẾT ĐỊNH**

**V/v: Ban hành Chỉ dẫn kỹ thuật**

**“Sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) làm phụ gia khoáng  
cho sản xuất bê tông”**

### **VIỆN TRƯỞNG VIỆN VẬT LIỆU XÂY DỰNG**

- Căn cứ Quyết định số 96/QĐ-BXD ngày 25/01/2018 của Bộ trưởng Bộ Xây dựng về việc quy định chức năng, nhiệm vụ, quyền hạn và cơ cấu tổ chức của Viện Vật liệu xây dựng;
- Căn cứ kết quả các đề tài nghiên cứu về xỉ hạt lò cao nghiền mịn cho bê tông và xi măng của Viện Vật liệu xây dựng;
- Xét đề nghị của Giám đốc Trung tâm Xi măng và Bê tông, Trưởng phòng Kế hoạch kỹ thuật và Hợp tác quốc tế.

### **QUYẾT ĐỊNH:**

**Điều 1:** Ban hành kèm theo Quyết định này Chỉ dẫn kỹ thuật “Sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) làm phụ gia khoáng cho sản xuất bê tông”.

**Điều 2:** Quyết định này có hiệu lực kể từ ngày ký./.

**VIỆN VẬT LIỆU XÂY DỰNG**



**VIỆN TRƯỞNG**  
*Lê Trung Thành*

## MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU.....	3
DANH MỤC KÝ HIỆU, VIẾT TẮT .....	8
LỜI GIỚI THIỆU .....	9
1. Phạm vi áp dụng.....	10
2. Tài liệu viện dẫn.....	10
3. Thuật ngữ, định nghĩa .....	11
4. Nguyên vật liệu chế tạo bê tông GGBFS.....	11
5. Ảnh hưởng của GGBFS đến các tính chất của bê tông .....	12
5.1 Cơ chế ảnh hưởng GGBFS đến tính chất bê tông .....	12
5.1.1 Hydrat hóa và phản ứng Pozolanic .....	12
5.1.2 Hiệu ứng điền đầy .....	13
5.1.3 Hiệu ứng tăng thể tích hồ chất kết dính .....	13
5.2 Ảnh hưởng của GGBFS đến các tính chất của hỗn hợp bê tông.....	13
5.2.1 Tính công tác và khả năng duy trì độ sụt.....	13
5.2.2 Thời gian đông kết .....	14
5.2.3 Độ tách nước .....	14
5.2.4 Hàm lượng bọt khí .....	14
5.2.5 Nhiệt thủy hóa và nhiệt độ của bê tông .....	14
5.3 Ảnh hưởng của GGBFS đến tính chất cơ lý của bê tông .....	15
5.3.1 Cường độ nén.....	15
5.3.2 Cường độ uốn.....	15
5.3.3 Cường độ ép chẻ .....	15
5.3.4 Mô đun đàn hồi .....	15
5.4 Ảnh hưởng của GGBFS đến độ bền lâu của bê tông.....	16
5.4.1 Độ co ngót và từ biến.....	16
5.4.2 Tính chống thấm .....	16
5.4.3 Bền sun phát.....	17
5.4.4 Bảo vệ cốt thép khỏi ăn mòn.....	17
5.4.5 Phản ứng kiềm cốt liệu .....	18
6. Phạm vi ứng dụng của bê tông GGBFS.....	18
7. Thiết kế cấp phối bê tông GGBFS.....	23

7.1	Nguyên tắc chung .....	23
7.2	Các bước thiết kế thành phần cấp phối bê tông .....	23
7.2.1	Xác định các tính năng yêu cầu của hỗn hợp bê tông và bê tông .....	23
7.2.2	Xác định tính chất của vật liệu sử dụng .....	24
7.2.3	Xác định tỷ lệ GGBFS .....	24
7.2.4	Xác định cường độ chất kết dính .....	25
7.2.5	Xác định cường độ mục tiêu của bê tông .....	26
7.2.6	Tính toán xác định thành phần bê tông cơ sở .....	26
8.	Chế tạo, vận chuyển, thi công và bảo dưỡng bê tông GGBFS .....	29
8.1	Quy định chung .....	29
8.2	Yêu cầu về bảo quản, định lượng vật liệu .....	29
8.3	Trộn bê tông .....	30
8.4	Vận chuyển, đổ và đầm bê tông .....	30
8.5	Bảo dưỡng .....	31
9.	Kiểm tra, nghiệm thu bê tông GGBFS .....	32
9.1	Kiểm tra chất lượng vật liệu .....	32
9.2	Kiểm tra tính năng của hỗn hợp bê tông .....	32
9.3	Kiểm tra tính năng của bê tông đóng rắn .....	33
9.4	Nghiệm thu kết cấu bê tông .....	33
	TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	34
	PHỤ LỤC A .....	35
	MỘT SỐ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VỀ TÍNH CHẤT CỦA GGBFS, CHẤT KẾT DÍNH VÀ BÊ TÔNG GGBFS .....	35
	PHỤ LỤC B .....	47
	GIỚI THIỆU MỘT SỐ CÔNG TRÌNH SỬ DỤNG BÊ TÔNG GGBFS TRONG THỰC TẾ .....	47

**DANH MỤC KÝ HIỆU, VIẾT TẮT**

<b>STT</b>	<b>Ký hiệu, viết tắt</b>	<b>Ý nghĩa</b>
1	CDKT	Chi dẫn kỹ thuật
2	CKD	Chất kết dính (hỗn hợp của xi măng và phụ gia khoáng)
3	GBFS	Xỉ hạt lò cao (Granulated blast-furnace slag)
4	GGBFS	Xỉ hạt lò cao nghiền mịn (Ground granulated blast-furnace slag)
5	HHBT	Hỗn hợp bê tông
6	KLTT	Khối lượng thể tích
7	N/X	Tỷ lệ nước/xi măng theo khối lượng
8	N/CKD	Tỷ lệ nước/chất kết dính theo khối lượng
9	S/A	Tỷ lệ cốt liệu nhỏ/cốt liệu theo khối lượng
10	PGHH	Phụ gia hóa học
11	PGSD	Phụ gia siêu dẻo
12	TGĐK	Thời gian đông kết
13	[1]	Tham khảo tài liệu số [1]



## LỜI GIỚI THIỆU

Xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) là một trong 3 loại phụ gia khoáng được sử dụng nhiều nhất trong sản xuất xi măng và bê tông (cùng với bột đá vôi và tro bay). GGBFS có thể sử dụng thay thế xi măng ở hàm lượng cao (đến 70-80% trong chất kết dính) mà vẫn đảm bảo được các yêu cầu chất lượng của bê tông. Chính vì vậy, sử dụng GGBFS đem lại hiệu quả kinh tế và lợi ích về mặt môi trường do tiết kiệm năng lượng, tài nguyên và giảm phát thải khí CO<sub>2</sub>. Ngoài ra, sử dụng GGBFS cho bê tông còn mang lại nhiều ưu điểm về cải thiện tính chất của hỗn hợp bê tông như giảm lượng nước trộn, tăng tính công tác, tính dễ bơm, giảm nhiệt thủy hóa và tính chất cơ lý của bê tông đóng rắn như tăng cường độ nén tuổi dài ngày, tăng cường độ uốn và đặc biệt cải thiện đáng kể độ bền lâu, khả năng bảo vệ cốt thép khỏi ăn mòn của bê tông nhờ vào khả năng tăng khả năng chống thấm (chất lỏng, khí), tăng khả năng kháng các tác nhân xâm thực (nước biển, sun phat, hóa chất), giảm nguy cơ khả năng phản ứng kiềm silic, v.v...

Tuy nhiên, để đạt được các ưu điểm của việc sử dụng GGBFS cho bê tông như nêu ở trên, GGBFS phải được sử dụng một cách hợp lý, ngược lại việc sử dụng không đúng cách như sử dụng GGBFS không đảm bảo chất lượng, tỷ lệ GGBFS sử dụng không hợp lý có thể gây ra các ảnh hưởng xấu đến tính chất bê tông như như tách nước, phân tầng, thời gian đông kết quá dài của hỗn hợp bê tông, cường độ tuổi sớm quá thấp, cường độ lâu dài giảm và có thể giảm cả độ bền lâu của bê tông làm ảnh hưởng đến chất lượng công trình.

Việc ứng dụng GGBFS cho chế tạo bê tông đã có lịch sử hơn 100 năm trên thế giới và bắt đầu được sử dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp bê tông ở nhiều nước từ những năm 50-60 của thế kỷ 20. Tuy nhiên, tại Việt Nam trước đây, thời gian trước đây lượng xỉ hạt lò cao phát sinh không lớn và chủ yếu được sử dụng làm nguyên liệu để nghiền cùng clanhke xi măng cho sản xuất xi măng poóc lăng hỗn hợp. Chính vì vậy, sự hiểu biết, kinh nghiệm sử dụng GGBFS cho bê tông trong thực tế tại nước ta còn nhiều hạn chế. Hiện nay, sản lượng xỉ hạt lò cao hàng năm lớn (khoảng 4,6 triệu tấn/năm) và sản phẩm xỉ hạt lò cao nghiền mịn làm phụ gia khoáng cho bê tông và xi măng đã bắt đầu được sản xuất trên quy mô công nghiệp, mở ra triển vọng sử dụng rộng rãi GGBFS trong lĩnh vực sản xuất bê tông tại Việt Nam.

Với sự tổng hợp các kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước, các tiêu chuẩn, hướng dẫn kỹ thuật sử dụng GGBFS trên thế giới, Ban soạn thảo đã đưa chỉ dẫn kỹ thuật (CDKT) sử dụng GGBFS làm phụ gia khoáng cho bê tông. Mục đích của CDKT này là cung cấp cho các kỹ sư, cán bộ kỹ thuật những chỉ dẫn cần thiết để sử dụng đúng cách GGBFS trong chế tạo bê tông, sử dụng trong công trình xây dựng, đảm bảo chất lượng của công trình và đạt được lợi ích do việc sử dụng GGBFS mang lại (hiệu quả kỹ thuật, kinh tế, môi trường).

## 1. Phạm vi áp dụng

Chỉ dẫn kỹ thuật (CDKT) này hướng dẫn việc sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) làm phụ gia khoáng cho chế tạo bê tông, bao gồm các chỉ dẫn về phạm vi sử dụng, ảnh hưởng của GGBFS đến tính chất của bê tông, phương pháp thiết kế thành phần cấp phối, phương pháp chế tạo, thi công, bảo dưỡng, kiểm tra và nghiệm thu bê tông sử dụng GGBFS.

## 2. Tài liệu viện dẫn

Chỉ dẫn kỹ thuật này áp dụng các tiêu chuẩn liên quan dưới đây. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm các bản sửa đổi, bổ sung (nếu có).

1. TCVN 2682:2009 Xi măng poóc lăng – Yêu cầu kỹ thuật.
2. TCVN 4506:2012 Nước trộn cho bê tông và vữa.
3. TCVN 4453:1995 Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép toàn khối - Quy phạm thi công và nghiệm thu.
4. TCVN 5574:2018 Kết cấu bê tông và bê tông cốt – Yêu cầu thiết kế.
5. TCVN 6260:2009 Xi măng poóc lăng hỗn hợp – Yêu cầu kỹ thuật.
6. TCVN 7570:2006 Cốt liệu cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật.
7. TCVN 7572:2006 Cốt liệu cho bê tông và vữa – Phương pháp thử.
8. TCVN 8826:2011 Phụ gia hóa học cho bê tông.
9. TCVN 8827:2012 Phụ gia khoáng hoạt tính cao dùng cho bê tông và vữa - Silicafume và tro trấu nghiền mịn.
10. TCVN 9035:2011 Hướng dẫn lựa chọn và sử dụng xi măng trong xây dựng.
11. TCVN 9115:2012 Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép lắp ghép - Thi công và nghiệm thu.
12. TCVN 9205:2012 Cát nghiền cho bê tông và vữa.
13. TCVN 9340:2012 Hỗn hợp bê tông trộn sẵn - Yêu cầu cơ bản đánh giá chất lượng và nghiệm thu.
14. TCVN 9346:2012 Kết cấu bê tông, bê tông cốt thép - Yêu cầu bảo vệ chống ăn mòn trong môi trường biển.
15. TCVN 10302:2014 Phụ gia khoáng hoạt tính tro bay cho bê tông, vữa và xi măng.
16. TCVN 11586:2016 Xi hạt lò cao nghiền mịn cho bê tông và vữa.
17. TCVN 12041:2017 Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Yêu cầu chung về thiết kế độ bền lâu và tuổi thọ trong môi trường xâm thực.
18. Quyết định 778/QĐ-BXD năm 1998 của Bộ Xây dựng Chỉ dẫn kỹ thuật lựa chọn thành phần bê tông các loại.

### 3. Thuật ngữ, định nghĩa

CDKT này sử dụng các thuật ngữ, định nghĩa như dưới đây.

#### 3.1 Xi hạt lò cao (Granulated blast-furnace slag)

Vật liệu dạng hạt, có cấu trúc dạng thủy tinh được tạo ra từ xỉ nóng chảy sinh ra trong quá trình luyện gang trong lò cao, khi được làm lạnh nhanh bằng nước.

#### 3.2 Xi hạt lò cao nghiền mịn (Ground granulated blast-furnace slag)

Xi hạt lò cao (3.1) được nghiền đến độ mịn cần thiết, trong một số trường hợp có thể pha trộn thêm thạch cao và phụ gia công nghệ.

#### 3.3 Bê tông xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS mixed concrete)

Bê tông xỉ hạt lò cao nghiền mịn trong CDKT này còn gọi là bê tông GGBFS là loại bê tông sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn làm phụ gia khoáng hoặc sử dụng xi măng đã được trộn với xỉ hạt lò cao nghiền mịn.

#### 3.4 Chất kết dính (binder)

Là hỗn hợp của xi măng và phụ gia khoáng (GGBFS và các loại phụ gia khoáng hóa khác (nếu có)).

#### 3.5 Tỷ lệ GGBFS (ratio of GGBFS)

Là tỷ lệ GGBFS tính bằng phần trăm theo khối lượng được đưa vào thay thế xi măng trong tổng khối lượng chất kết dính (CKD).

**Chú thích:** Xi măng trong (3.5) được hiểu là các loại xi măng như xi măng poóc lăng theo TCVN 2882:2009, xi măng poóc lăng hỗn hợp theo TCVN 6260:2009.

### 4. Nguyên vật liệu chế tạo bê tông GGBFS

#### 4.1 Xi hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS)

Xi hạt lò cao nghiền mịn sử dụng cho chế tạo bê tông GGBFS phải có chất lượng đáp ứng quy định trong TCVN 11586:2016.

**Chú thích:** GGBFS thường được phân loại theo chỉ số hoạt tính cường độ (tỷ lệ phần trăm theo cường độ nén của mẫu xi măng thay thế 50% GGBFS so với mẫu đối chứng chỉ sử dụng xi măng poóc lăng ở tuổi 28 ngày) và độ mịn. GGBFS trong TCVN 11586:2016 được chia thành các loại S60, S75, S95 và S105 dựa theo chỉ số hoạt tính cường độ và diện tích bề mặt riêng (độ mịn Blaine). Trong thực tế hiện nay, GGBFS loại S75 và S95 là hai loại được sản xuất và sử dụng phổ biến.

#### 4.2 Xi măng

Xi măng poóc lăng thường được sử dụng kết hợp với GGBFS. Các loại xi măng khác như xi măng poóc lăng hỗn hợp cũng có thể được sử dụng kết hợp cùng GGBFS nhưng cần lưu ý đến tính chất của xi măng đó để lựa chọn tỷ lệ GGBFS phù hợp đảm bảo tính

năng bê tông theo yêu cầu. Xi măng poóc lăng, xi măng poóc lăng hỗn hợp khi được sử dụng cần đáp ứng theo TCVN 2682:2009 và TCVN 6260:2009 tương ứng.

Khi sử dụng GGBFS với các loại xi măng khác nhau cần có các thử nghiệm thực tế để xác định tính năng của bê tông trước khi sử dụng.

### **4.3 Cốt liệu**

Cốt liệu lớn và cốt liệu nhỏ sử dụng cho bê tông GGBFS tương tự như cốt liệu cho chế tạo bê tông xi măng poóc lăng thông thường, đó là đá nghiền, đá sỏi, cát tự nhiên, cát nghiền và hỗn hợp cát tự nhiên - cát nghiền, đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật của tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 và TCVN 9205:2012 tương ứng.

### **4.4 Phụ gia hóa học**

Phụ gia hóa học được sử dụng để cải thiện các đặc tính của hỗn hợp bê tông hoặc bê tông đã đóng rắn như tính công tác, độ tách nước, thời gian đông kết, cường độ, co ngót, độ bền lâu, khả năng bảo vệ cốt thép, v.v.... Phụ gia hóa học sử dụng cho bê tông GGBFS tương tự như các loại bê tông xi măng thông thường. Phụ gia hóa học dạng hóa dẻo, phụ gia siêu dẻo phải phù hợp với TCVN 8826:2012.

### **4.5 Phụ gia khoáng**

Bê tông GGBFS có thể sử dụng kết hợp với các loại phụ gia khoáng khác như tro bay, silica fume, tro trấu. Các loại phụ gia khoáng này phải phù hợp với TCVN 10302:2014, TCVN 8827:2012 tương ứng.

### **4.6 Nước trộn**

Nước trộn bê tông GGBFS phải đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật của TCVN 4506:2012.

## **5. Ảnh hưởng của GGBFS đến các tính chất của bê tông**

### **5.1 Cơ chế ảnh hưởng GGBFS đến tính chất bê tông**

#### *5.1.1 Hydrat hóa và phản ứng Pozolanic*

Do xi hạt lò cao nghiền mịn chứa hàm lượng pha thủy tinh cao và thành phần hóa chứa chủ yếu các oxit canxi, oxit silic và oxit nhôm gần giống với clanhke xi măng poóc lăng, nên GGBFS có tính thủy lực tiềm tàng (dưới nhiệt độ, độ ẩm và môi trường kiềm thích hợp, các phản ứng tạo khả năng kết dính xảy ra). Khi trộn hỗn hợp xi măng-GGBFS với nước, ở giai đoạn đầu, các khoáng trong xi măng thủy hóa tạo ra canxi hydroxit và kiềm, các chất này sẽ phản ứng với xi hạt lò cao nghiền mịn để tạo thành dạng gel hydrat C-S-H (canxi silicate hydrate) và C-A-H (canxi aluminat hydrate) tương tự như sản phẩm thủy hóa của xi măng poóc lăng, đây chính là các khoáng tạo ra cường độ và cấu trúc đặc chắc cho bê tông. Ngoài ra, do các hạt GGBFS có kích thước nhỏ nên còn có vai trò làm chất độn mịn trong bê tông có thể làm tăng tỷ trọng, tăng cường độ và độ bền lâu của bê tông.

### 5.1.2 Hiệu ứng điền đầy

Vì kích thước các hạt của xỉ hạt lò cao nghiền mịn thường nhỏ hơn các hạt xi măng, nên việc trộn xỉ hạt lò cao nghiền mịn vào bê tông với một lượng thích hợp có thể làm tăng độ lèn chặt của hỗn hợp vật liệu. Nhìn chung, độ mịn của xi măng hiện nay chủ yếu trong khoảng 3.300-4.000  $\text{cm}^2/\text{g}$  (tính theo phương pháp Blaine), trong khi độ mịn GGBFS đạt 4.000 đến 6.000  $\text{cm}^2/\text{g}$  hoặc có thể được tăng hơn khi cần thiết. Do đó, các hạt GGBFS có thể lấp đầy giữa các hạt xi măng để làm cho cấu trúc vi mô của hỗn hợp đặc chắc hơn.

### 5.1.3 Hiệu ứng tăng thể tích hồ chất kết dính

Khối lượng riêng của GGBFS nhỏ hơn xi măng một chút (khối lượng riêng của xi măng khoảng 3,15  $\text{g}/\text{cm}^3$ ; GGBFS khoảng 2,90  $\text{g}/\text{cm}^3$ ; tro bay khoảng 2,20  $\text{g}/\text{cm}^3$ ), nên khi GGBFS thay thế một khối lượng xi măng tương đương thì tổng khối lượng của chất kết dính không đổi, nhưng thể tích hồ chất kết dính sẽ tăng lên, tức là tỷ lệ thể tích của hồ và cốt liệu sẽ tăng lên, giúp tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông.

## 5.2 Ảnh hưởng của GGBFS đến các tính chất của hỗn hợp bê tông

Khi GGBFS được sử dụng trong bê tông để thay thế khối lượng tương đương của xi măng, nó sẽ có tạo ra những ảnh hưởng chủ yếu đến các đặc tính của hỗn hợp bê tông như dưới đây.

### 5.2.1 Tính công tác và khả năng duy trì độ sụt

Sử dụng GGBFS cơ bản làm giảm nước trộn để hỗn hợp bê tông đạt cùng tính công tác so với sử dụng xi măng poóc lăng thông thường. Nói cách khác, tính công tác của hỗn hợp bê tông được cải thiện khi sử dụng GGBFS, điều này có thể được lý giải theo hai lý do chính: (1) Thể tích hồ chất kết dính trong bê tông tăng lên; và (2) Bề mặt của các hạt GGBFS trơn, nhẵn so với các hạt xi măng, dẫn đến lượng nước tự do trong hệ tăng lên, điều này là nguyên nhân tăng độ sụt của hỗn hợp bê tông chứa GGBFS với cùng một lượng nước trộn. Lượng nước trộn trung bình giảm khoảng 1,5  $\text{lít}/\text{m}^3$  cho mỗi 10% GGBFS thay thế xi măng.

**Chú thích:** Nghiên cứu với hỗn hợp bê tông với độ sụt 14-16 cm sử dụng xi măng PC40 kết hợp GGBFS cho thấy, lượng nước trộn giảm trong khoảng 3-12  $\text{lít}/\text{m}^3$  (khoảng 2-5 %) khi tỷ lệ GGBFS thay thế xi măng tăng từ 20 % đến 70 %, trong khi sử dụng 20-40 % GGBFS thay thế xi măng PC40 thì mức giảm tương ứng khoảng 3-11  $\text{lít}/\text{m}^3$ .

Khả năng duy trì tính công tác của hỗn hợp bê tông GGBFS tốt hơn so với bê tông sử dụng xi măng thông thường. Điều này có thể lý giải là do phản ứng thủy hóa của GGBFS diễn ra chậm hơn so với xi măng nên khả năng duy trì độ sụt của hỗn hợp bê tông sẽ được kéo dài hơn.

### 5.2.2 Thời gian đông kết

Thời gian đông kết của bê tông GGBFS thường kéo dài hơn từ 1 đến 1,5 giờ so với bê tông sử dụng xi măng poóc lăng thông thường, mức độ kéo dài phụ thuộc vào loại và tỷ lệ GGBFS. Độ mịn của GGBFS cũng ảnh hưởng đến thời gian đông kết, theo hướng GGBFS có cỡ hạt càng thô thì thời gian kéo dài càng lớn, do đó thời gian đông kết của hỗn hợp bê tông sử dụng GGBFS loại S75 > GGBFS loại S95 > xi măng PC40.

Ngoài ra, tương tự như bê tông thông thường, thời gian đông kết của bê tông GGBFS phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ của bê tông lúc đổ, đặc biệt là bê tông có hàm lượng xi măng thấp[2]. Khi nhiệt độ ban đầu của bê tông cao (khoảng trên 30 °C) thì thời gian đông kết không thay đổi nhiều, nếu nhiệt độ ban đầu của bê tông quá thấp (dưới 15 °C) thì có thể xảy ra hiện tượng chậm đông kết.

### 5.2.3 Độ tách nước

Độ tách nước của hỗn hợp bê tông GGBFS chủ yếu phụ thuộc vào độ mịn (so với xi măng) và tỷ lệ GGBFS. GGBFS có cỡ hạt thô hơn hoặc tương đương với xi măng có xu hướng làm tăng độ tách nước của hỗn hợp bê tông, ngược lại, sử dụng GGBFS có độ mịn cao tạo nên hỗn hợp bột mịn có tỷ diện bề mặt lớn hơn xi măng nên làm giảm độ tách nước. Ngoài ra, độ tách nước giảm một phần còn do hiệu ứng tăng thể tích hồ chất kết dính như đề cập ở điểm 5.1.3. Tuy nhiên, do các hạt GGBFS có cấu trúc chủ yếu là pha thủy tinh với bề mặt trơn nhẵn, hút nước thấp hơn so với các hạt xi măng nên làm khả năng giữ nước trong hệ chứa GGBFS cũng bị giảm bớt đi.

### 5.2.4 Hàm lượng bọt khí

Sử dụng GGBFS có xu hướng làm giảm nhẹ hoặc không ảnh hưởng đáng kể đến hàm lượng bọt khí trong hỗn hợp bê tông.

**Chú thích:** Nghiên cứu với hỗn hợp bê tông có và không sử dụng phụ gia siêu dẻo, độ sụt trong khoảng 14-16 cm[3] cho thấy, khi tăng tỷ lệ GGBFS thay thế xi măng trong chất kết dính từ 0 đến 70 % thì hàm lượng bọt khí giảm tương ứng trong khoảng 0 đến 0,4 %.

### 5.2.5 Nhiệt thủy hóa và nhiệt độ của bê tông

Nhiệt thủy hóa của chất kết dính sẽ giảm khi tăng tỷ lệ GGBFS thay thế xi măng. Nhiệt độ của bê tông tăng sau khi đổ bê tông chủ yếu do nhiệt thủy hóa của xi măng, do vậy giảm lượng xi măng sử dụng thì sẽ giảm lượng nhiệt thủy hóa. Thông thường nhiệt độ tăng lớn nhất trong lòng khối bê tông tăng hoặc giảm khoảng 1 °C khi tăng hay giảm mỗi 10 kg xi măng/m<sup>3</sup> bê tông. Khi sử dụng GGBFS thay thế một phần xi măng sẽ làm giảm tốc độ sinh nhiệt thủy hóa và giảm mức độ tăng nhiệt độ của bê tông. Mức độ tăng nhiệt độ bê tông giảm phụ thuộc vào tổng hàm lượng xi măng, hàm lượng, độ mịn của GGBFS sử dụng, nhiệt độ môi trường và kích thước của kết cấu bê tông.

**Chú thích:** Thông thường CKD gồm xi măng poóc lăng và 20-50 % và trên 50 % GGBFS thì CKD đạt loại xi măng poóc lăng hỗn hợp tỏa nhiệt trung bình và tỏa nhiệt thấp tương ứng theo TCVN 7712:2013. Mức độ giảm nhiệt độ bê tông với hàm lượng CKD 350 kg/m<sup>3</sup> được ghi nhận đến 11-16 °C khi thay thế 50-70 % xi măng bằng GGBFS[4].

### **5.3 Ảnh hưởng của GGBFS đến tính chất cơ lý của bê tông**

#### **5.3.1 Cường độ nén**

Sự phát triển cường độ của bê tông GGBFS liên quan chặt chẽ đến khả năng phản ứng của GGBFS. Nhìn chung, bê tông GGBFS phát triển cường độ chậm ở tuổi sớm, nhưng cho cường độ tương đương hoặc cao hơn so với bê tông xi măng thông thường ở tuổi 28 ngày và sau đó. Mức độ phát triển cường độ còn phụ thuộc vào tỷ lệ GGBFS và loại xi măng sử dụng. Sử dụng GGBFS có độ mịn càng lớn và sử dụng xi măng poóc lăng (PC) thì mức độ phát triển cường độ nhanh hơn so với GGBFS độ mịn thấp hay kết hợp với xi măng poóc lăng hỗn hợp (PCB).

#### **5.3.2 Cường độ uốn**

Bê tông sử dụng GGBFS có xu hướng cho cường độ uốn cao hơn một chút so với mẫu bê tông chỉ chứa xi măng, đặc biệt là ở các tuổi muộn (sau 28 ngày). Hiện tượng tăng cường độ uốn của bê tông chứa GGBFS được cho là do tăng mức độ tăng mật độ sản phẩm thủy hóa của chất kết dính xi măng-GGBFS so với xi măng poóc lăng, đồng thời với việc cải thiện vùng tiếp giáp giữa đá xi măng-GGBFS và cốt liệu.

#### **5.3.3 Cường độ ép chẻ**

Trong điều kiện bảo dưỡng bình thường, cường độ ép chẻ của bê tông sử dụng GGBFS tương tự như bê tông sử dụng xi măng poóc lăng thông thường. Cường độ ép chẻ chủ yếu phụ thuộc vào cường độ nén của bê tông.

#### **5.3.4 Mô đun đàn hồi**

Mô đun đàn hồi của bê tông sử dụng GGBFS cũng tương tự như bê tông xi măng poóc lăng thông thường chủ yếu phụ thuộc vào cường độ nén của bê tông. Nghiên cứu với GGBFS loại S75 cho thấy, ở tuổi sớm (đến 7 ngày), mô đun đàn hồi của bê tông GGBFS tương tự như bê tông xi măng poóc lăng, nhưng đến tuổi muộn (sau 28 ngày) thì mô đun đàn hồi của bê tông GGBFS tăng nhẹ. Kết quả này được lý giải với lý do tương tự việc tăng cường độ uốn như nêu ở trên.

## 5.4 Ảnh hưởng của GGBFS đến độ bền lâu của bê tông

### 5.4.1 Độ co ngót và từ biến

Ảnh hưởng của GGBFS đến độ co ngót và từ biến của bê tông không rõ ràng, nhưng hầu hết các nghiên cứu chỉ ra, trong điều kiện bảo dưỡng thích hợp, độ co ngót bê tông chứa GGBFS giảm hoặc thay đổi rất nhỏ so với bê tông sử dụng xi măng poóc lăng. Tuy nhiên, khi bảo dưỡng ẩm không đủ có thể dẫn đến tăng độ co khô, đặc biệt là cấu kiện bê tông dự ứng lực cần đặc biệt chú ý đến ảnh hưởng của lượng nước trộn đến độ co ngót[1].

Các kết quả nghiên cứu nhìn chung cho rằng, từ biến của bê tông GGBFS tương đương hoặc thấp hơn so với bê tông sử dụng xi măng poóc lăng. Hiện tượng giảm độ co và từ biến của bê tông GGBFS được giải thích là do lượng nước trộn giảm (để đạt cùng tính công tác của hỗn hợp bê tông), cường độ của chất kết dính xi măng-GGBFS cao hơn so với xi măng, điều này làm giảm hàm lượng chất kết dính, dẫn đến thể tích đá chất kết dính trong bê tông giảm, là nguyên nhân giảm độ co và từ biến của bê tông GGBFS.

**Chú thích:** Nghiên cứu độ co khô theo tiêu chuẩn ISO 1920-8 với bê tông có hàm lượng chất dính  $350 \text{ kg/m}^3$ , độ sụt 14-16 cm, sử dụng GGBFS thay thế xi măng poóc lăng từ 0 đến 70% cho thấy độ co khô bê tông ở tuổi 6 tháng giảm từ  $510 \mu\text{m/mm}$  của mẫu đối chứng sử dụng 100% xi măng poóc lăng xuống còn  $450 \mu\text{m/mm}$ , mức giảm tỷ lệ với tỷ lệ GGBFS thay thế xi măng.

### 5.4.2 Tính chống thấm

Sử dụng GGBFS làm tăng đáng kể khả năng chống thấm của bê tông. Sự cải thiện tính chống thấm của bê tông GGBFS nhờ sự cải thiện cấu trúc lỗ rỗng của đá xi măng do phản ứng của GGBFS với canxi hydroxit và kiềm từ phản ứng thủy hóa của xi măng. Các lỗ rỗng trong đá xi măng có chứa canxi hydroxit, khi có mặt GGBFS sẽ được điền đầy bởi các khoáng thủy hóa dạng C-S-H (canxi silicate hydrate) và C-A-H (canxi aluminat hydrate) từ các phản ứng của xi măng và GGBFS. Theo ACI 233-17 thì khả năng thấm của bê tông chủ yếu chịu sự ảnh hưởng của lỗ rỗng và phân bố kích thước lỗ rỗng. Chính vì vậy, việc giảm kích thước lỗ rỗng, cấu trúc lỗ rỗng trong đá chất kết dính khi có mặt GGBFS là nguyên nhân làm giảm độ thấm của bê tông GGBFS. Nhìn chung, với loại GGBFS phù hợp, tỷ lệ GGBFS thay thế xi măng càng cao thì độ chống thấm càng tốt.

**Chú thích:** Theo kết quả nghiên cứu, bê tông với chất kết dính  $350 \text{ kg/m}^3$ , sử dụng GGBFS loại S75 hoặc S95 thay thế xi măng ở tỷ lệ 30-70 % thì mức chống thấm nước tăng từ 2 đến 4 cấp khi thí nghiệm theo TCVN 3116:1993. Khả năng chống thấm ion clo truyền qua bê tông cũng được giảm đáng kể khi sử dụng GGBFS thay thế một phần xi măng khi thí nghiệm theo TCVN 9337:2012.



### 5.4.3 Bền sun phát

Hiện tượng phá hủy bê tông do sự giãn nở thể tích của đá xi măng khi tác nhân sun phát (có thể từ bên trong hoặc thâm nhập từ môi trường bên ngoài) phản ứng với các thành phần thủy hoá của xi măng. Sự hình thành các khoáng ettringite muôn và canxi sun phát ngâm nước do phản ứng của tác nhân sun phát trong đá xi măng và bê tông, là nguyên nhân gây ra các ứng suất cục bộ. Khi các ứng suất này đủ lớn có thể gây phá hủy cấu trúc bê tông. Sử dụng GGBFS thay thế một phần xi măng có tác dụng làm tăng độ bền sun phát của bê tông bởi các lý do sau:

- Giảm hàm lượng khoáng  $C_3A$  trong bê tông do giảm lượng xi măng sử dụng;
- Giảm lượng canxi hydroxit hòa tan nhờ phản ứng với GGBFS, môi trường hình thành khoáng ettringite, nguyên nhân gây ăn mòn sun phát giảm xuống;
- Mức độ bền sun phát tăng nhờ tăng khả năng chống thấm của bê tông và đá chất kết dính khi sử dụng GGBFS như đã nêu ở trên. Các sản phẩm thủy hóa canxi silicate hydrat điền đầy trong lỗ rỗng chứa canxi hydroxit và kiềm làm tăng mức độ chống thấm của tác nhân xâm thực sun phát thâm nhập vào trong bê tông.

**Chú thích:** Nghiên cứu thông qua thí nghiệm độ nở thanh vữa ngâm trong môi trường sun phát đã chỉ ra việc thay thế 50 % xi măng OPC loại I (ASTM C150) bằng GGBFS có khả năng chống lại sự ăn mòn của sun phát tương tự như sử dụng xi măng poóc lăng bền sun phát loại V và tốt hơn so với xi măng loại II. Việc sử dụng GGBFS làm giảm hàm lượng  $C_3A$  và  $C_3S$  trong bê tông, và phản ứng pozolanic làm tăng lượng khoáng C-S-H và C-A-H, dẫn đến độ chống thấm được cải thiện. Tương tự như kết quả vừa nêu, nghiên cứu xác định độ bền sun phát trên thanh vữa sử dụng chất kết dính với GGBFS loại S75 (TCVN 11586) với các tỷ lệ khác nhau, so sánh với xi măng PC40, xi măng bền sun phát SRC (tương đương loại V) đã chỉ ra, với tỷ lệ 50 % GGBFS trong chất kết dính trở lên, độ nở sun phát mẫu chứa GGBFS thấp hơn so với mẫu chứa xi măng SRC. Kết quả đánh giá độ bền sun phát của xi măng thay thế 20-70% GGBFS loại S95 trong nghiên cứu [3] cũng cho kết quả tương tự, sử dụng CKD gồm xi măng PC40-GGBFS với tỷ lệ 30-70 % GGBFS đạt xi măng hỗn hợp bền sun phát loại vừa (theo TCVN 7711:2013) với hàm lượng  $SO_3$  trong CKD từ 3,5-2,0 % và đạt xi măng poóc lăng hỗn hợp bền sun phát loại cao (theo TCVN 7711:2013) với tỷ lệ GGBFS 40-70 % và hàm lượng  $SO_3$  từ 3,5-2,0 %.

### 5.4.4 Bảo vệ cốt thép khỏi ăn mòn

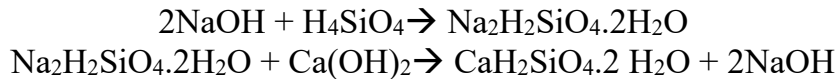
Hiện tượng ăn mòn cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép xảy ra khi có sự xâm nhập của ion  $Cl^-$  và  $CO_2$  vào trong kết cấu bê tông, sự xâm nhập này xảy ra mạnh khi độ đặc chắc của bê tông không cao. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, việc sử dụng GGBFS làm phụ gia khoáng thay thế một phần xi măng có thể giảm đáng kể mức độ ăn mòn cốt thép. Các kết quả nghiên cứu đã chứng minh rằng rất nhiều kết cấu bê tông cốt thép trên biển và ven biển sử dụng GGBFS với hàm lượng lớn làm giảm đáng mức độ ăn mòn cốt thép trong bê tông. Mức độ thâm nhập và khuếch tán ion clo vào bê tông phụ thuộc rất lớn vào kích thước của lỗ rỗng, đối với bê tông GGBFS, đá xi măng có cấu trúc đặc chắc

hơn, kích thước lỗ rỗng nhỏ hơn. Theo Kumar và Roy, kích thước trung bình của đường kính lỗ rỗng trong đá xi măng của bê tông sử dụng GGBFS chỉ bằng 1/1,57-1/2 so với mẫu bê tông sử dụng 100% xi măng poóc lăng. GGBFS làm giảm sự khuếch tán ion clo vào bê tông và tăng khả năng chống ăn mòn cốt thép được giải thích do các nguyên nhân chủ yếu sau:

- GGBFS làm giảm hàm lượng canxi hydroxit  $\text{Ca(OH)}_2$ , đồng thời làm tăng sản phẩm thủy hóa C-S-H do đó làm tăng độ đặc cấu trúc của đá xi măng, làm tăng điện trở suất và giảm sự xâm nhập của ion clo vào bê tông;
- GGBFS được sử dụng trong bê tông sẽ giúp hình thành cấu trúc lỗ rỗng nhỏ và không liên tục, làm giảm mức độ thâm nhập của các tác nhân ăn mòn vào trong bê tông, đặc biệt là ngăn cản sự khuếch tán ion clo vào bê tông.

#### 5.4.5 Phản ứng kiềm cốt liệu

Phản ứng kiềm-silic cốt liệu xảy ra khi trong xi măng có chứa hàm lượng alkali ( $\text{Na}_2\text{O}$  và  $\text{K}_2\text{O}$ ) đáng kể và trong cốt liệu bê tông có khoáng chứa  $\text{SiO}_2$  hoạt tính. Các chất kiềm  $\text{NaOH}$  và  $\text{KOH}$  có vai trò làm chất xúc tác trong phản ứng kiềm-silic cốt liệu. Các phản ứng có thể diễn tả đơn giản như sau:



Các phản ứng tạo ra sản phẩm dạng gel natri silicat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  hay  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{SiO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). Chất gel này bị phồng nở và tăng thể tích khi gặp nước tạo ra ứng suất nở trong các hạt cốt liệu, tạo sự nở và mất cường độ của bê tông, cuối cùng dẫn đến phá hoại bê tông.

Bê tông sử dụng GGBFS rất hiệu quả trong việc giảm nguy cơ phản ứng kiềm cốt liệu trong bê tông. Tuy vậy, hiệu quả của GGBFS trong việc hạn chế phản ứng kiềm cốt liệu liên quan đến tính chất của GGBFS, hoạt tính của cốt liệu, hàm lượng kiềm trong xi măng. Trong hầu hết các trường hợp, sử dụng tỷ lệ GGBFS 50% đủ để ngăn chặn hư hại do phản ứng kiềm cốt liệu với cốt liệu hoạt tính và xi măng hàm lượng kiềm cao[2]. Bê tông sử dụng GGBFS hiệu quả trong việc ngăn ngừa phản ứng kiềm cốt liệu được giải thích là do xi măng đã được thay thế một phần bởi GGBFS, làm cho hàm lượng kiềm nhỏ hơn so với bê tông chỉ sử dụng xi măng poóc lăng. Ngoài ra, lượng kiềm trong bê tông phần lớn đã tham gia phản ứng với GGBFS nên sẽ hạn chế khả năng tham gia phản ứng với khoáng silicat vô định hình.

## 6. Phạm vi ứng dụng của bê tông GGBFS

GGBFS có thể được sử dụng cho hầu hết các loại ứng dụng của bê tông xi măng, vừa xây dựng. GGBFS được sử dụng kết hợp với xi măng poóc lăng thành dạng chất kết dính hai cấu tử hoặc kết hợp với 1 hoặc 2 loại phụ gia khoáng khác để thành dạng chất

kết dính đa cấu tử. Tỷ lệ GGBFS sử dụng thay đổi tùy thuộc vào ứng dụng, loại xi măng và phụ gia khoáng kết hợp cùng, tính năng yêu cầu của bê tông.

GGBFS được sử dụng ở dạng vật liệu bột riêng biệt (tương tự như xi măng) hoặc dưới dạng đã trộn sẵn với xi măng trong nhà máy khi chế tạo bê tông. Các ứng dụng chủ yếu của GGBFS cho sản xuất bê tông, vữa và một số ứng dụng liên quan đến vật liệu kết dính trên cơ sở xi măng được trình bày trong Bảng 1 dưới đây, một số công trình thực tế sử dụng GGBFS tại Việt Nam được trình bày trong Phụ lục B.

Bảng 1. Các ứng dụng chủ yếu của GGBFS cho bê tông

STT	Ứng dụng	Tỷ lệ GGBFS (%)	Lợi ích và lưu ý khi sử dụng
1	Bê tông trộn sẵn	20-50	<p>GGBFS được sử dụng rộng rãi cho nhiều loại bê tông với các cấp độ bền khác nhau từ thông thường đến cấp độ bền cao. Tỷ lệ GGBFS sử dụng cho bê tông trộn sẵn thường trong khoảng 20-50 %, tùy thuộc vào tính năng bê tông yêu cầu, điều kiện thời tiết để lựa chọn tỷ lệ GGBFS phù hợp. Tỷ lệ GGBFS 40-50 % thường cho cường độ 28 ngày lớn nhất. Sử dụng GGBFS ngoài mang lại hiệu quả kinh tế do giảm lượng dùng xi măng (tương ứng tỷ lệ GGBFS sử dụng) còn có tác dụng cải thiện các tính chất của bê tông (xem mục 5). Mức độ ảnh hưởng của GGBFS đến tính chất của bê tông phụ thuộc vào tỷ lệ, độ mịn, hoạt tính của GGBFS. Nhìn chung, bê tông sử dụng GGBFS phát triển cường độ tuổi sớm chậm hơn so với sử dụng xi măng poóc lăng, nên khi thi công bê tông trong mùa đông cần điều chỉnh tỷ lệ GGBFS cho phù hợp.</p> <p>GGBFS có thể sử dụng kết hợp với phụ gia khoáng hoạt tính khác như silica fume, tro bay. Chất kết dính với 50 % xi măng poóc lăng kết hợp với 30-35 % GGBFS và 15-20 % tro bay được ghi nhận sử dụng phổ biến, cho cường độ 28 ngày tương đương bê tông 100 % xi măng poóc lăng.</p>
2	Bê tông đúc sẵn (Bê tông cốt thép, bê tông dự ứng lực, bê tông không cốt thép,	20-50	<p>Bê tông đúc sẵn thường được yêu cầu cường độ tuổi sớm (thường 15-20h) cho tháo khuôn và dịch chuyển. Bê tông sử dụng GGBFS dưỡng hộ tự nhiên cho cường độ 1 ngày tuổi thường thấp hơn so với bê tông sử dụng 100 % xi măng poóc lăng, nên bê tông đúc sẵn dưỡng hộ tự nhiên thường sử dụng khoảng 30% GGBFS.</p> <p>Với loại bê tông đúc sẵn sử dụng dưỡng hộ tăng tốc (như dưỡng hộ nhiệt), tỷ lệ GGBFS sử dụng được</p>

STT	Ứng dụng	Tỷ lệ GGBFS (%)	Lợi ích và lưu ý khi sử dụng
	gạch bê tông)		tăng lên, phổ biến ở mức 40-60 %. Với chế độ dưỡng hộ nhiệt, cường độ 1 ngày tuổi của bê tông GGBFS có thể đạt tương đương với bê tông xi măng poóc lăng. Với bê tông đúc sẵn không độ sụt, sử dụng GGBFS hoặc GGBFS kết hợp với tro bay có thể làm giảm đáng kể lượng nước trộn.
3	Bê tông môi trường biển	45-75	Do bê tông GGBFS có khả năng cải thiện độ chống thấm tốt và bền trong môi trường nước biển, nên bê tông GGBFS thường được sử dụng cho kết cấu bê tông trong môi trường biển. Tỷ lệ GGBFS sử dụng bê tông công trình biển thường ở mức cao. Tỷ lệ GGBFS khuyến nghị 45-60 % (JSCE), các tỷ lệ cao hơn 60-75 % cũng đã được sử dụng và chứng minh hiệu quả.
4	Bê tông kết cấu môi trường sun phát	50-70	Sử dụng GGBFS hiệu quả trong việc tăng độ bền sun phát của bê tông. Mức độ cải thiện phụ thuộc vào tỷ lệ, tính chất của GGBFS sử dụng. Sử dụng 25-50 % và 50-65 % GGBFS kết hợp xi măng poóc lăng loại I được ghi nhận là tương đương với xi măng poóc lăng bền sun phát loại II và V[5]. JSCE khuyến nghị tỷ lệ GGBFS 50-70 % cho bê tông bền sun phát. Hàm lượng $Al_2O_3$ trong GGBFS được cho là ảnh hưởng đến hiệu quả cải thiện độ bền sun phát khi sử dụng GGBFS. Chẳng hạn, sử dụng 50 % GGBFS với $Al_2O_3$ nhỏ hơn 11% kết hợp xi măng PC với $C_3A$ đến 12% cho bê tông đạt độ bền sun phát cao, trong khi với GGBFS có $Al_2O_3$ trên 11 % thì tỷ lệ GGBFS phải là 60-70 %. Ngoài ra, hàm lượng sun phát (qui $SO_3$ ) của chất kết dính cũng ảnh hưởng đến hiệu quả độ bền sun phát của GGBFS. Các loại xi hạt lò cao tại Việt Nam hầu hết có hàm lượng $Al_2O_3$ trên 11 %, chính vì vậy cần lưu ý lựa chọn tỷ lệ GGBFS và hàm lượng $SO_3$ phù hợp để đảm bảo yêu cầu về độ bền sun phát của bê tông theo yêu cầu.
5	Bê tông yêu cầu ngăn chặn phản ứng kiềm cốt liệu	40-70	Sử dụng GGBFS thay thế một phần xi măng poóc lăng được biết đến hiệu quả trong việc ngăn chặn phản ứng kiềm cốt liệu (ASR). ACI 233-17 chỉ ra các nghiên cứu sử dụng GGBFS từ 35-65 % hiệu quả trong giảm ASR, trong đó tỷ lệ 40-50 % được nhiều nghiên cứu thực hiện và ghi nhận đạt mức hiệu quả giảm ASR cao với xi măng có hàm lượng kiềm đến 1

STT	Ứng dụng	Tỷ lệ GGBFS (%)	Lợi ích và lưu ý khi sử dụng
			%. JSCE khuyến nghị tỷ lệ GGBFS cho bê tông yêu cầu ngăn chặn ASR từ 40-70 %.
6	Bê tông chống thấm, bê tông cho công trình xử lý môi trường	25-70	Sử dụng xi măng kết hợp với GGBFS được ghi nhận tăng hiệu quả tính chống thấm do làm giảm các lỗ rỗng vi cấu trúc trong bê tông. Chính vì vậy, GGBFS thường được sử dụng cho các loại bê tông tiếp xúc với môi trường nước, môi trường xâm thực như bê tông thủy công, bê tông công trình xử lý môi trường như xử lý nước, nước thải, nhà máy hóa chất, lọc dầu. Bê tông cho các công trình xử lý môi trường thường yêu cầu cường độ cao, ít tỏa nhiệt, co ngót thấp, chống thấm cao và không gây phản ứng kiềm cốt liệu. Sử dụng GGBFS cho bê tông phù hợp để đáp ứng các yêu cầu này. Bê tông sử dụng GGBFS 30-70 % được ghi nhận đáp ứng được các yêu cầu này.
7	Bê tông cường độ cao, tính năng cao	25-50	GGBFS được sử dụng phổ biến cho các loại bê tông cường độ cao và độ chảy cao hoặc tự đầm với cường độ 70-100 MPa ở nhiều nước trên thế giới, với tỷ lệ phổ biến 30-50 %. GGBFS cũng được ghi nhận phù hợp cho chế tạo các loại bê tông cường độ rất cao, hoặc siêu tính năng (UHPC) với cường độ đến 180 MPa. Với bê tông cường độ cao, GGBF có độ mịn cao (loại S95 trở lên) thường được khuyến nghị sử dụng.
8	Bê tông khối lớn	50-80	GGBFS thay thế xi măng poóc lăng làm giảm nhiệt thủy hóa sinh ra trong khối bê tông. Tỷ lệ 50-70 % GGBFS được ghi nhận sử dụng cho nhiều công trình và được khuyến nghị sử dụng cho bê tông khối lớn. Sử dụng GGBFS cho bê tông khối lớn đã thực hiện nhiều trên thế giới và cũng đã được sử dụng ở nhiều công trình tại Việt Nam (xem Phụ lục B). Ngoài ra, 50% GGBFS kết hợp với 30 % tro bay cũng được sử dụng cho nhiều công trình bê tông khối lớn.
9	Bê tông đầm lăn	25-50 cho đường giao thông 50-80 cho đập RCC	GGBFS được ghi nhận phù hợp chế tạo bê tông đầm lăn (RCC) cho đập và đường giao thông. Tỷ lệ GGBFS tối ưu được xác định thông qua thí nghiệm, thường trong khoảng 25-50 % với RCC cho đường giao thông và 50-80 % cho RCC cho đập.
10	Bê tông mặt đường và cầu	20-50	Sử dụng GGBFS cho bê tông mặt đường và cầu đường đã phổ biến trên thế giới. GGBFS được khuyến nghị sử dụng cho bê tông đường giao thông theo ACI 325.11. Lợi ích của việc sử dụng GGBFS

STT	Ứng dụng	Tỷ lệ GGBFS (%)	Lợi ích và lưu ý khi sử dụng
	đường giao thông		được chỉ ra là tăng cường độ tuổi dài ngày và cải thiện khả năng hoàn thiện. Sử dụng GGBFS cũng hiệu quả trong tăng cường độ uốn và mô đun đàn hồi của bê tông như đã được chỉ ra ở mục 5. Tỷ lệ GGBFS tối ưu cần được xác định thông qua thí nghiệm và lưu ý điều kiện thời tiết khi thi công để có chế độ bảo dưỡng ẩm ban đầu phù hợp.
11	Bê tông sàn nhà công nghiệp	25-50	GGBFS được sử dụng phổ biến cho sàn nhà công nghiệp. Sử dụng bê tông GGBFS cho sàn nhà công nghiệp được ghi nhận là dễ dàng trong việc hoàn thiện, đồng thời bề mặt sàn bê tông sáng màu hơn so với sàn bê tông xi măng poóc lăng.
12	Bê tông chịu nhiệt	30-50	Xi măng alumin kết hợp với 30-50 % GGBFS được ghi nhận phù hợp sử dụng cho bê tông chịu nhiệt do hạn chế mức độ giảm cường độ bê tông chỉ dùng xi măng alumin. Ngoài ra, xi măng poóc lăng có thể kết hợp với GGBFS có khả năng sử dụng cho bê tông chịu nhiệt mức trung bình do giảm lượng vôi tự do và tăng cường độ cho bê tông.
13	Bê tông nhẹ	-	GGBFS phù hợp cho chế tạo bê tông nhẹ. Do khối lượng riêng GGBFS khoảng $2,9 \text{ g/cm}^3$ thấp hơn xi măng poóc lăng ( $3,15 \text{ g/cm}^3$ ) làm giảm nhẹ khối lượng thể tích bê tông. Với tỷ lệ GGBFS tối ưu, cũng làm giảm lượng vữa mà vẫn đảm bảo cường độ bê tông, nên làm tăng hàm lượng cốt liệu nhẹ sử dụng.
14	Vữa xây, vữa rót	-	Do các đặc tính làm tăng cường độ, tăng tính chống thấm, độ chảy và tính dính kết khi sử dụng kết hợp với xi măng nên GGBFS được sử dụng cho chế tạo các loại vữa xây dựng (xây, trát), vữa rót. GGBFS có thể được sử dụng ở dạng phụ gia khoáng (trộn khi chế tạo) hoặc dưới dạng xi măng trộn sẵn GGBFS.
15	Gia cố đất	25-100	GGBFS kết hợp với xi măng rất hiệu quả trong việc gia cố nền đất. GGBFS có thể sử dụng với tỷ lệ 25-100 %. Các loại đất độ ẩm cao, đất hữu cơ rất khó gia cố với xi măng PC nhưng lại hiệu quả khi sử dụng kết hợp với GGBFS. Các công trình gia cố nền đất sử dụng hỗn hợp xi măng với GGBFS đã được sử dụng phổ biến nhiều nước trên thế giới và nhiều công trình tại Việt Nam (xem Phụ lục B).
16	Khác	-	GGBFS được sử dụng cho nhiều loại bê tông, vữa khác như bê tông kiến trúc, bê tông khí chưng áp, bê

STT	Ứng dụng	Tỷ lệ GGBFS (%)	Lợi ích và lưu ý khi sử dụng
			tông tổ ong, bê tông phun, bê tông tự đầm, vữa cường độ thấp có kiểm soát (dùng hoàn nguyên, toàn khối trong xây dựng); đóng rắn, cố kết chất thải.
<p><b>Lưu ý:</b> Các tỷ lệ GGBFS được tính theo khối lượng thay thế xi măng. Các tỷ lệ GGBFS được lấy theo tỷ lệ khuyến nghị từ các ứng dụng thực tế hoặc kết quả nghiên cứu đánh giá. Các yếu tố như nguồn vật liệu, điều kiện môi trường có thể ảnh hưởng đến tỷ lệ GGBFS để đạt được bê tông có cùng tính năng. Các thử nghiệm thực tế cần phải được thực hiện để lựa chọn tỷ lệ sử dụng GGBFS phù hợp cho loại bê tông yêu cầu.</p>			

## 7. Thiết kế cấp phối bê tông GGBFS

### 7.1 Nguyên tắc chung

- 7.1.1 Thành phần cấp phối bê tông GGBFS làm phụ gia khoáng được thiết kế sao cho giảm tối đa lượng nước trộn mà vẫn đáp ứng được các yêu cầu đặt ra của hỗn hợp bê tông (tính công tác, duy trì độ sụt, độ tách nước...) và bê tông (cường độ, độ bền lâu, chống thấm, bảo vệ cốt thép, co ngót, ...).
- 7.1.2 Thành phần cấp phối bê tông GGBFS làm phụ gia khoáng về cơ bản được thiết kế giống như đối với bê tông thông dụng với một số điều chỉnh như nêu trong mục 7.2 của CDKT này.
- 7.1.3 Tương tự như thành phần bê tông thông thường, thành phần bê tông GGBFS được thiết kế thông qua các mẻ trộn thử trong phòng thí nghiệm để tìm ra cấp phối đáp ứng yêu cầu cụ thể đặt ra.
- 7.1.4 Hàm lượng GGBFS và phụ gia hóa học (PGHH) tối ưu sử dụng cho bê tông GGBFS có thể thay đổi theo mùa: mùa lạnh và mùa nóng. Mùa lạnh thì cần giảm lượng dùng GGBFS hoặc thay đổi hàm lượng PGHH để phù hợp với mức độ yêu cầu đông kết và phát triển cường độ của bê tông. Mùa nóng thì ngược lại, có thể sử dụng tăng hàm lượng GGBFS do bê tông sẽ phát triển cường độ nhanh hơn trong điều kiện nhiệt độ cao.

### 7.2 Các bước thiết kế thành phần cấp phối bê tông

Phương pháp thiết kế cấp phối bê tông GGBFS làm phụ gia khoáng có thể dựa theo tài liệu Chỉ dẫn kỹ thuật theo Quyết định 778/QĐ-BXD năm 1998 của Bộ Xây dựng (CDKT theo QĐ 778/QĐ-BXD). Chỉ tiêu kiểm soát chất lượng của hỗn hợp bê tông có thể dựa theo TCVN 9340:2012 và các tiêu chuẩn liên quan.

#### 7.2.1 Xác định các tính năng yêu cầu của hỗn hợp bê tông và bê tông

- 1) Yêu cầu về tính cơ lý của bê tông:

Cường độ quy định/ cường độ yêu cầu/ cường độ mục tiêu, nếu có;

Sai lệch chuẩn cường độ của nhà sản xuất bê tông;

Tuổi thiết kế (hoặc tuổi yêu cầu đạt cường độ).

2) Yêu cầu về độ bền lâu của bê tông

Môi trường làm việc của kết cấu;

Tỷ lệ nước trên xi măng hoặc chất kết dính lớn nhất cho phép;

Lượng xi măng tối thiểu hoặc tối đa cho phép, nếu có;

3) Thông tin về kết cấu bê tông:

Tên (dạng) kết cấu, kích thước, mật độ thép: nhằm xác định kích thước hạt danh định lớn nhất của cốt liệu;

4) Phương pháp thi công và phương thức cấp bê tông tới nơi đổ:

Thời gian, phương pháp vận chuyển, đổ bê tông, nhiệt độ môi trường: lựa chọn độ sụt sau trộn, duy trì độ sụt theo thời gian, nhiệt độ bê tông. Tính công tác hoặc mác hỗn hợp bê tông phù hợp với quy định tại TCVN 9340:2012.

5) Các yêu cầu khác.

### 7.2.2 *Xác định tính chất của vật liệu sử dụng*

Vật liệu sử dụng phải đáp ứng các quy định trong Điều 4 của CDKT này. Một số tính chất của vật liệu cần thiết cho quá tính toán thiết kế cấp phối:

- 1) Xi măng: loại xi măng (nhà sản xuất cung cấp), khối lượng riêng, cường độ 3, 28 ngày.
- 2) GGBFS: phân loại theo TCVN 11586:2016, khối lượng riêng, tỷ diện bề mặt Blaine, chỉ số hoạt tính cường độ 7, 28 ngày.
- 3) Phụ gia khoáng khác: nguồn gốc, khối lượng riêng, lượng sót sàng 45  $\mu\text{m}$ , lượng mất khi nung, chỉ số hoạt tính cường độ, các tính chất khác theo yêu cầu.
- 4) Cốt liệu: nguồn gốc, thành phần hạt, khối lượng thể tích hạt, độ hút nước, độ hông, hàm lượng hạt trên sàng 5 mm, mô đun độ lớn.
- 5) Phụ gia hóa học: nguồn gốc, phân loại, mức độ giảm nước, khối lượng riêng.

### 7.2.3 *Xác định tỷ lệ GGBFS*

Quy tắc chung để xác định loại và tỷ lệ GGBFS là:

1. Lựa chọn loại và tỷ lệ GGBFS đảm bảo các yêu cầu về khả năng thi công, tính năng kỹ thuật của bê tông và mục tiêu khác đặt ra.



2. Tỷ lệ GGBFS thích hợp cho chế tạo bê tông nằm trong khoảng 20 % đến 70 %. Khi sử dụng GGBFS kết hợp với xi măng PCB40 thì tỷ lệ GGBFS tối đa sử dụng có thể thấp hơn khoảng 10-20 % so với sử dụng xi măng PC40.

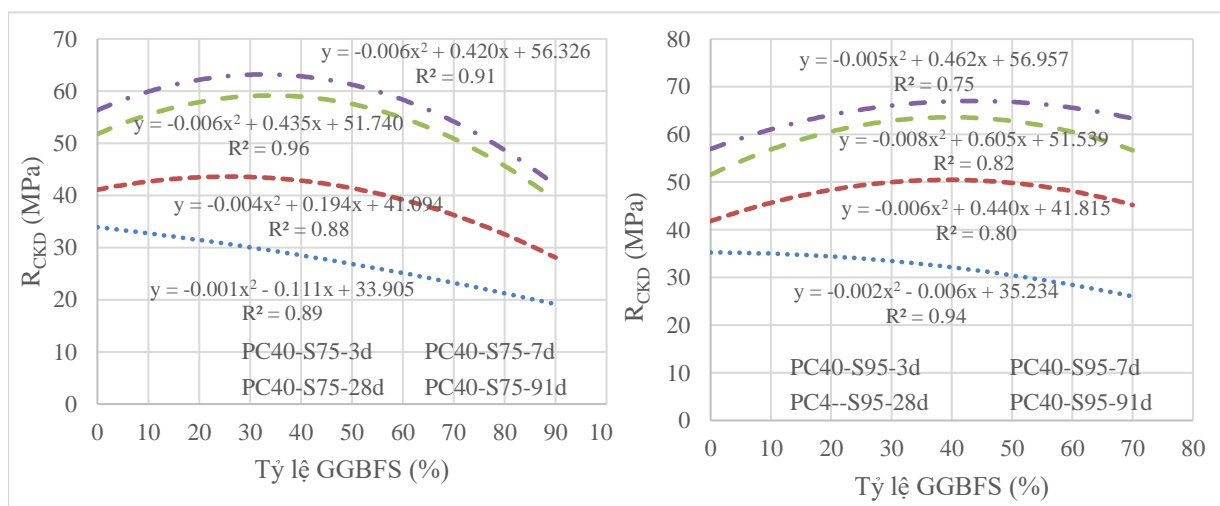
Tỷ lệ GGBFS sử dụng trong cấp phối bê tông GGBFS phụ thuộc vào yêu cầu về tính năng của bê tông, môi trường sử dụng, điều kiện bảo dưỡng, chất lượng của xi măng và phụ gia. Tỷ lệ GGBFS cho chế tạo các loại bê tông khác nhau có thể tham khảo trong Bảng 1 của CDKT này.

#### 7.2.4 Xác định cường độ chất kết dính

Lập đường cong quan hệ giữa tỷ lệ GGBFS và cường độ nén của chất kết dính ở tuổi 28 ngày. Khi GGBFS kết hợp với xi măng poóc lăng theo TCVN 2682:2009 thì tỷ lệ GGBFS khảo sát là 0, 20, 30, 40, 50, 60, 70 %; khi GGBFS kết hợp với xi măng poóc lăng hỗn hợp PCB40 theo TCVN 6260:2009 thì tỷ lệ GGBFS khảo sát là 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 %. Từ biểu đồ quan hệ giữa tỷ lệ GGBFS và cường độ CKD ( $R_{CKD}$ ) chọn ra tỷ lệ GGBFS phù hợp với loại bê tông cần thiết kể theo nguyên tắc sau:

- Chất kết dính đạt yêu cầu cường độ nén 7 và 28 ngày của xi măng xỉ lò cao PCB<sub>BFS</sub>30 theo TCVN 4316:2007 sử dụng cho bê tông có cường độ yêu cầu đến 30 MPa;
- Chất kết dính đạt yêu cầu cường độ nén 7 và 28 ngày của xi măng xỉ lò cao PCB<sub>BFS</sub>40 hoặc PCB<sub>BFS</sub>50 theo TCVN 4316:2007 sử dụng cho bê tông có cường độ yêu cầu từ 35 MPa trở lên.
- Khi lượng chất dính (xi măng+GGBFS) vượt quá 400 kg/m<sup>3</sup>, nên xem xét sử dụng chất kết dính có cường độ cao hơn hoặc sử dụng phụ gia hóa học giảm nước.

Khi không có điều kiện xây dựng được đường quan hệ tỷ lệ GGBFS và  $R_{CKD}$  thì có thể tham khảo đồ thị trong Hình 1 để xác định cường độ CKD phụ thuộc vào tỷ lệ GGBFS.



Hình 1. Quan hệ tỷ lệ GGBFS và cường độ nén của CKD

**Chú thích:** Đồ thị trong Hình 1 dựa trên kết quả xác định cường độ CKD sử dụng xi măng PC40 theo TCVN 2682:2009 với cường độ nén 28 ngày 50-55 MPa, GGBFS loại S75 có bề mặt riêng ~ 4090 cm<sup>2</sup>/g và GGBFS loại S95 với bề mặt riêng ~ 5490 cm<sup>2</sup>/g. Một số kết quả xác định cường độ nén của chất kết dính sử dụng xi măng poóc lăng (TCVN 2682) và xi măng poóc lăng hỗn hợp PCB40 (TCVN 6260:2009) với GGBFS loại S75 và S95 (TCVN 11586:2016) ở các tuổi khác nhau thể hiện trong Phụ lục A.

### 7.2.5 Xác định cường độ mục tiêu của bê tông

Cường độ mục tiêu của bê tông được tính toán từ cấp bê tông sử dụng trong tính toán thiết kế theo tiêu chuẩn thiết kế của loại bê tông đó (bê tông kết cấu, bê tông đường ô tô, bê tông thủy công).

Trường hợp đối với kết cấu bê tông yêu cầu cấp bê tông với xác suất đảm bảo yêu cầu cường độ nén không dưới 95% thì cường độ mục tiêu của bê tông được tính toán theo công thức:

$$R_{mt} \geq R_{yc} + 1,64\sigma \quad (1)$$

trong đó:  $R_{mt}$  là cường độ mục tiêu (MPa)

$R_{yc}$  là cường độ qui định (cấp bê tông) (MPa)

$\sigma$  là sai lệch chuẩn của cường độ của bê tông (MPa).  $\sigma$  được xác định từ các kết quả thí nghiệm bê tông trước đó của nhà sản xuất.

Trường hợp không có số liệu tính toán  $\sigma$  thì có thể lấy giá trị của  $\sigma$  là 13,5 % của  $R_{yc}$ .

### 7.2.6 Tính toán xác định thành phần bê tông cơ sở

#### 1. Xác định tính công tác

Theo mục 5.1 của CDKT theo QĐ 778/QĐ-BXD.

#### 2. Lượng nước trộn

Lượng nước trộn của bê tông GGBFS được xác định theo nguyên tắc giống như bê tông thông thường, đó là xác định thông qua độ sụt của hỗn hợp bê tông đã lựa chọn dựa theo loại kết cấu bê tông và điều kiện thi công. Lượng nước trộn ban đầu cho 1 m<sup>3</sup> bê tông sử dụng GGBFS được chọn theo mục 5.2 của CDKT theo QĐ 778/QĐ-BXD với các hiệu chỉnh sau:

- Lượng nước trộn giảm 3-12 L/m<sup>3</sup> (khoảng 2-5 %) tùy thuộc vào loại và hàm lượng GGBFS sử dụng. Có thể lấy giá trị trung bình giảm 1,5 lít nước trộn/m<sup>3</sup> khi thay thế mỗi 10 % khối lượng xi măng bằng GGBFS.
- Lượng nước trộn tăng 15-20 L/m<sup>3</sup> với cát nghiền từ đá vôi, tăng khoảng 12-15 L/m<sup>3</sup> với cát nghiền từ đá cát kết. Với cát trộn từ cát nghiền và cát tự nhiên lượng

nước thay đổi tùy thuộc vào tỷ lệ pha trộn và mô đun độ lớn của cát tự nhiên pha trộn.

- Khi dùng xi măng poóc lăng hỗn hợp lượng nước trộn có thể thay đổi phụ thuộc vào độ hút nước của phụ gia khoáng sử dụng cho loại xi măng đó.
- Khi sử dụng phụ gia dẻo hóa hoặc siêu dẻo, lượng nước trộn được giảm bớt tùy vào mức độ giảm nước của loại phụ gia đó. Lượng nước chứa trong phụ gia dạng lỏng được tính trừ vào lượng nước trộn khi lượng dùng phụ gia dạng lỏng vượt quá 2 lít/m<sup>3</sup> bê tông. Lượng nước giảm được xác định sơ bộ như sau:
  - + theo khuyến cáo của nhà sản xuất phụ gia;
  - + Tạm tính bằng 0,9 lượng nước trộn đã tính ở trên đối với phụ gia hóa dẻo;
  - + Tạm tính bằng 0,80 lượng nước trộn đã tính ở trên đối với phụ gia siêu dẻo.

### 3. Xác định tỷ lệ nước/chất kết dính

Lựa chọn tỷ lệ N/CKD dựa trên hai điều kiện:

- Đảm bảo cường độ mục tiêu của bê tông;
- Đảm bảo độ bền lâu của bê tông trong môi trường làm việc thực tế.

a) Đảm bảo cường độ mục tiêu của bê tông:

Tỷ lệ N/CKD được tính toán theo cường độ mục tiêu xác định tại 7.2.5.

Căn cứ vào cường độ mục tiêu, xác định tỷ lệ (N/CKD) theo công thức:

$$\frac{CKD}{N} = \frac{R_{mt}}{A.R_{CKD}} + 0,5 \quad (2)$$

Nếu tỷ lệ  $X/N$  tính theo công thức (4) lớn hơn 2,5 thì tính lại theo công thức

$$\frac{CKD}{N} = \frac{R_{mt}}{A_1.R_{CKD}} - 0,5 \quad (3)$$

trong đó:

+  $R_{CKD}$  là cường độ thực tế của CKD tuổi 28 ngày (MPa), thí nghiệm theo TCVN 6016:2011. Khi không có cường độ thực tế, có ước tính từ biểu đồ như nêu ở 7.2.4.

+  $R_{mt}$  là cường độ mục tiêu, MPa, xác định tại 7.2.5.

+  $A, A_1$  là hệ số tính đến chất lượng vật liệu sử dụng. Giá trị của các hệ số này tùy theo vật liệu sử dụng, xác định theo Bảng 5.3 của CDKT theo QĐ 778/QĐ-BXD.

b) Đảm bảo độ bền lâu của bê tông:

Tùy thuộc vào môi trường làm việc của kết cấu bê tông (phân loại môi trường làm việc của bê tông được quy định trong TCVN 12041:2017 hoặc TCVN 9035:2011), tỷ lệ N/CKD của bê tông phải đáp ứng quy định theo TCVN 12041:2017 và TCVN 9035:2011.

Tỷ lệ N/CKD chọn sẽ là giá trị nhỏ hơn trong số  $N/CKD$  tính toán ở trên (đạt cường độ nén mục tiêu) và  $N/CKD$  tối đa cho phép đảm bảo độ bền lâu của bê tông.

### 1. Xác định hàm lượng chất kết dính

Hàm lượng CKD cho  $1\text{m}^3$  bê tông, kg, được xác định bằng công thức:

$$CKD = \frac{CKD}{N} \cdot N \quad (4)$$

trong đó:

Bảng 2. Quy định về chất lượng bê tông trong các môi trường xâm thực theo TCVN 12041:2017

	Môi trường và mức độ xâm thực													
	Không nguy cơ ăn mòn hoặc phá hủy	Ăn mòn do cacbonat hóa				Ăn mòn do ion clo						Ăn mòn hóa chất từ đất và nước ngầm		
		XO	XC1	XC2	XC3	XC4	Ion clo từ nước biển			Ion clo từ nguồn khác nước biển			XA1	XA2
N/CKD tối đa	-	0,6	0,55	0,50	0,45	0,45	0,4	0,4	0,5	0,50	0,40	0,50	0,45	0,40
Cấp cường độ tối thiểu, MPa	B15	B25	B30	B35	B35	B35	B45	B45	B35	B35	B45	B35	B35	B45
Mức cường độ nén tối thiểu, MPa	20	35	40	45	45	60	60	45	45	60	45	45	60	
Hàm lượng xi măng tối thiểu ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )*	-	280	300	300	320	320	340	360	320	340	360	320	340	380
Yêu cầu khác	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Xi măng bền sun phát

\* mức của xi măng được lựa chọn theo TCVN 9035:2011

$CKD/N$  là tỉ lệ CKD và nước;

$N$  là lượng nước trộn sơ bộ, lít.

Để hỗn hợp bê tông không bị phân tầng và giảm tách nước, hàm lượng CKD không được nhỏ hơn các giá trị qui định ở Bảng 3. Ngoài ra, để đảm bảo độ bền lâu của bê tông, hàm lượng CKD không được nhỏ hơn quy định trong Bảng 2.

Bảng 3. Qui định hàm lượng chất kết dính sử dụng tối thiểu cho bê tông ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Tỷ lệ nước – chất kết dính lớn nhất	Bê tông thường	Bê tông cốt thép
0,60	250	280
0,55	280	300
0,50	320	
0,45	350	

Trong một số trường hợp, các loại phụ gia khoáng khác như silica fume, tro bay, ... có thể sử dụng kết hợp với GGBFS để cải thiện tính năng của hỗn hợp bê tông hoặc bê tông đóng đóng rắn.

## 2. Xác định hàm lượng phụ gia hóa học

Xem phần xác định lượng nước trộn (điểm 2 của 7.2.6).

3. Xác định hàm lượng cốt liệu lớn và cốt liệu nhỏ

Theo mục 5.5 và 5.6 của CDKT theo QĐ 778/QĐ-BXD.

4. Lập thành phần cấp phối định hướng

Theo mục 5.7 của CDKT theo QĐ 778/QĐ-BXD.

5. Thí nghiệm kiểm tra và lập thành phần bê tông hiện trường

Theo mục 6 và mục 7 của CDKT theo QĐ 778/QĐ-BXD.

***Chú thích:** Thành phần cấp phối và tính chất của một số loại bê tông sử dụng xỉ măng poóc lăng (TCVN 2682) và xỉ măng poóc lăng hỗn hợp PCB40 (TCVN 6260:2009) với GGBFS loại S75 và S95 (TCVN 11586:2016) ở các tuổi khác nhau thể hiện trong Phụ lục A.*

## **8. Chế tạo, vận chuyển, thi công và bảo dưỡng bê tông GGBFS**

### **8.1 Quy định chung**

8.2.1 Bê tông GGBFS cần được trộn tại trạm trộn tập trung hoặc bằng máy tại công trường.

8.2.2 Thi công bê tông GGBFS phải phù hợp với các quy định của tiêu chuẩn quốc gia hiện hành về bê tông và bê tông cốt thép liên quan.

8.2.3 Trong quá trình thi công, phải tiến hành kiểm tra chất lượng GGBFS và các nguyên vật liệu khác và chất lượng bê tông theo các qui định trong CDKT này.

### **8.2 Yêu cầu về bảo quản, định lượng vật liệu**

8.2.4 Bảo quản và định lượng đối với xỉ nghiền làm phụ gia khoáng cho bê tông tương tự với xỉ măng. Để đảm bảo chất lượng của GGBFS khi lưu kho, kho chứa GGBFS dạng bao phải đảm bảo khô, sạch, nền cao, có tường bao và mái che chắc chắn, có lối cho xe ra vào xuất nhập dễ dàng. Các bao GGBFS phải được xếp cách tường ít nhất 20 cm và riêng theo từng lô. GGBFS dạng rời được chứa trong silo tương tự như xỉ măng.

8.2.5 Bảo quản và định lượng các vật liệu khác cho chế tạo bê tông sử dụng GGBFS tương tự như với bê tông thông thường.

8.2.6 Sai số định lượng xỉ nghiền và vật liệu khác cho chế tạo bê tông xỉ nghiền quy định trong Bảng 4.

Bảng 4. Sai số cho phép của một mẻ định lượng nguyên vật liệu

Chủng loại vật liệu	Sai số cho phép (tính theo khối lượng)
Vật liệu kết dính (xi măng, phụ gia khoáng, vv.)	$\pm 1$ %
Phụ gia hóa học (phụ gia giảm nước, phụ gia hóa dẻo, siêu dẻo)	$\pm 1$ %
Cốt liệu thô, mịn	$\pm 3$ %
Nước trộn	$\pm 1$ %

### 8.3 Trộn bê tông

- 8.3.1 Bê tông GGBFS phải được trộn đồng nhất tương tự như bê tông thông thường. Thứ tự xả vật liệu vào thùng trộn tương tự như bê tông thông thường. GGBFS phải được định lượng và xả vào thùng trộn cùng hoặc ngay sau khi xả xi măng.
- 8.3.2 Thiết bị, quy trình trộn bê tông sử dụng GGBFS làm phụ gia khoáng cho bê tông tương tự như với bê tông thông thường. Nên áp dụng máy trộn kiểu cưỡng bức.
- 8.3.3 Trước khi chuẩn bị sản xuất bê tông, phải xác định độ ẩm của cốt liệu lớn và nhỏ, để điều chỉnh tỷ lệ cấp phối bê tông. Mỗi một ca làm việc phải lấy mẫu kiểm tra tối thiểu 2 lần, ngày mưa thì phải tăng số lần lấy mẫu kiểm tra. Bãi chứa cốt liệu nên có mái che mưa nắng.
- 8.3.4 Thời gian trộn bê tông sử dụng GGBFS nếu không có các thử nghiệm về thời gian trộn thì lấy thời gian trộn tối thiểu 1 phút rưỡi với máy trộn tự do và một phút đối với máy trộn cưỡng bức.

### 8.4 Vận chuyển, đổ và đầm bê tông

Vận chuyển, đổ và đầm bê tông GGBFS tương tự như bê tông thông thường. Các quy định về quy trình, thời gian vận chuyển, đổ và đầm với bê tông sử dụng xi măng thông thường được áp dụng với bê tông GGBFS.

**Chú thích:** Thời gian vận chuyển bê tông đảm bảo càng nhanh càng tốt. Bê tông được đổ và đầm ngay sau khi vận chuyển. Tương tự như bê tông xi măng thông thường, các quy định về vận chuyển, đổ và đầm bê tông GGBFS sẽ thay đổi tùy thuộc quy định trong tiêu chuẩn của loại bê tông chế tạo. Sử dụng GGBFS làm kéo dài thời gian đông kết của bê tông thông thường khoảng 0,5 đến 2 h tùy thuộc vào tỷ lệ GGBFS trong CKD, điều này có lợi cho việc tăng thời gian vận chuyển và thi công bê tông. Mức độ kéo dài thời gian đông kết bê tông phụ thuộc vào loại GGBFS và hàm lượng GGBFS sử dụng. Thời gian vận chuyển, thi công bê tông đã được quy định trong một số tiêu chuẩn TCVN hiện hành quy định về vận chuyển, đổ và đầm bê tông như TCVN 4453:1995 áp dụng cho bê tông toàn khối nói chung; TCVN 9341:2012 áp dụng cho bê tông khối lớn, TCVN 9395:2012 áp dụng cho cọc khoan nhồi, v.v... Tuy nhiên, trong mọi trường hợp thì thời gian vận chuyển bê tông không được vượt quá 90 phút với nhiệt độ ngoài

trời trên 25 °C hoặc không quá 120 phút khi nhiệt độ dưới 25 °C; nhiệt độ của bê tông khi đổ không được dưới 10°C.

### 8.5 Bảo dưỡng

8.5.1 Bê tông GGBFS phải được bảo dưỡng ẩm ban đầu như với bê tông thông thường để đảm bảo. Thời gian duy trì bảo dưỡng ẩm ban đầu của bê tông GGBFS thường dài hơn so với bê tông sử dụng xỉ măng poóc lăng thông thường. Thời gian bảo dưỡng ẩm ban đầu bê tông GGBFS có thể tham khảo Bảng 5.

Bảng 5. Thời gian bảo dưỡng ẩm tự nhiên tối thiểu với bê tông GGBFS ở các điều kiện nhiệt độ khác nhau

Nhiệt độ môi trường (°C)	Tỷ lệ GGBFS 30-40 %	Tỷ lệ GGBFS 50%		Tỷ lệ GGBFS 55-70 %
	xỉ S75	xỉ S75	xỉ S95	xỉ S75
> 17	6 ngày	7 ngày	7 ngày	8 ngày
10-17	9 ngày	10 ngày	9 ngày	11 ngày
<b>Lưu ý:</b> Nhiệt độ khí quyển là nhiệt độ trung bình hàng ngày thấp nhất trong quá trình bê tông đông rắn.				

**Chú thích:** Bảo dưỡng bê tông GGBFS được áp dụng theo tiêu chuẩn về bảo dưỡng bê tông thông thường, ví dụ TCVN 8828:2012, nhưng lưu ý về thời gian bảo dưỡng ẩm cần thiết. Nói chung, bê tông GGBFS phải có thời gian bảo dưỡng ẩm tự nhiên kéo dài ít nhất 6 ngày. Thời gian bảo dưỡng ẩm tự nhiên của bê tông GGBFS trong Bảng 5 được tham khảo khuyến nghị của Hiệp hội Kỹ sư Xây dựng Nhật Bản. Thời gian bảo dưỡng ẩm cho bê tông GGBFS phụ thuộc chất lượng loại, tỷ lệ GGBFS và nhiệt độ khí quyển. Sử dụng GGBFS có độ mịn cao hơn làm tăng cường độ tuổi sớm thì có thể rút ngắn được thời gian bảo dưỡng ban đầu. Nếu mẫu bê tông được chế tạo tại công trường và được bảo dưỡng tương tự như với kết cấu bê tông, thì khi cường độ nén trung bình của mẫu đạt trên 70 % cấp cường độ thiết kế thì có thể ngừng các biện pháp bảo dưỡng và giữ ẩm

8.5.2 Khi bê tông được gia tốc quá trình bảo dưỡng bằng hơi nước, nhiệt, ...thời gian dưỡng hộ cần phải thử nghiệm để tránh ảnh hưởng bất lợi đến cường độ và độ bền lâu của bê tông ở tuổi muộn.

8.5.3 Nhiệt độ bề mặt của bê tông trong thời gian bảo dưỡng ban đầu không được dưới 10 °C.

## **9. Kiểm tra, nghiệm thu bê tông GGBFS**

### **9.1 Kiểm tra chất lượng vật liệu**

9.1.1 Nguyên vật liệu cho sản xuất bê tông trước khi đưa nhà máy, trạm trộn, công trường phải căn cứ vào quy định để nghiệm thu các hồ sơ chứng minh chất lượng sản phẩm của lô hàng như: giấy chứng nhận hợp chuẩn, phiếu kiểm tra xuất xưởng hoặc giấy chứng nhận chất lượng sản phẩm, sản phẩm là phụ gia còn phải có catalog hướng dẫn sử dụng.

9.1.2 Sau khi nguyên liệu đã được đưa vào nhà máy, trạm trộn phải tiến hành kiểm tra nhập xưởng, đồng thời trong quá trình sản xuất bê tông, nên tiến hành lấy mẫu tại chỗ bất kỳ nguyên vật liệu sản xuất bê tông để kiểm tra.

9.1.3 Các hạng mục kiểm tra nhập xưởng và lấy mẫu tại chỗ bất kỳ trong quá trình sản xuất phải phù hợp theo quy định dưới đây:

- Hạng mục kiểm tra của GGBFS tối thiểu bao gồm: khối lượng riêng, độ mịn Blaine, hàm lượng mất khi nung, chỉ số hoạt tính cường độ.
- Các hạng mục kiểm tra của nguyên vật liệu khác phải thực hiện theo các tiêu chuẩn quốc gia hiện hành.

9.1.4 Quy tắc kiểm tra vật liệu phải phù hợp quy định dưới đây:

- Đối với GGBFS: mỗi lô 500 tấn GGBFS dạng rời hoặc 200 tấn GGBFS đóng bao được giao thì phải kiểm tra một lần; nếu GGBFS được giao không cùng đợt hoặc không liên tục, mặc dù không đủ khối lượng lô như qui định thì mỗi đợt giao phải kiểm tra một lần.
- Với nguyên liệu khác: mỗi lô 500 tấn xi măng dạng rời hoặc 200 tấn xi măng bao được giao thì phải kiểm tra một lần; mỗi lô 200 tấn phụ gia khoáng (không phải GGBFS) phải kiểm tra một lần; mỗi lô cát, đá 500 tấn ( $350 \text{ m}^3$ ) và 300 tấn ( $200 \text{ m}^3$ ) tương ứng, phải kiểm tra một lần; mỗi lô 50 tấn phụ gia hóa học phải kiểm tra một lần. Nếu các loại nguyên vật liệu được giao không cùng đợt hoặc không liên tục, cho dù không đủ khối lượng lô qui định thì mỗi đợt giao hàng phải kiểm tra một lần.
- Chất lượng của GGBFS và các nguyên vật liệu khác phải phù hợp với quy định theo thiết kế, tiêu chuẩn áp dụng.

### **9.2 Kiểm tra tính năng của hỗn hợp bê tông**

9.2.1 Thiết bị định lượng và thiết bị của hệ thống sản xuất phải qua kiểm định mới được sử dụng, đồng thời đơn vị sản xuất bê tông phải tự kiểm tra mỗi tháng một lần. Mỗi ca sản xuất phải kiểm tra sai số định lượng nguyên vật liệu một lần; mỗi ca phải kiểm tra thời gian trộn nguyên vật liệu 2 lần, sai số định lượng nguyên



vật liệu và thời gian trộn phải tương ứng phù hợp với quy định của mục 8.2 của CDKT này.

- 9.2.2 Trong quá trình sản xuất và thi công, phải tiến hành lấy mẫu hỗn hợp bê tông, lần lượt tại địa điểm trộn và địa điểm đổ bê tông để xác định độ sụt, độ tách nước (nếu yêu cầu).
- 9.2.3 Tính năng của hỗn hợp bê tông GGBFS phải phù hợp với quy định về tính công tác, độ tách nước (nếu yêu cầu) theo thiết kế công trình.
- 9.2.4 Khi tính năng của hỗn hợp bê tông GGBFS xảy ra bất thường, phải tìm rõ nguyên nhân, đồng thời phải căn cứ vào tình hình thực tế tiến hành điều chỉnh thành phần cấp phối.

### **9.3 Kiểm tra tính năng của bê tông đóng rắn**

- 9.3.1 Khi kiểm tra tính năng về cơ lý và độ bền lâu của bê tông GGBFS, phải tiến hành kiểm tra các hạng mục do thiết kế quy định.
- 9.3.2 Quy định kiểm tra chỉ tiêu về cơ lý và độ bền lâu của bê tông GGBFS áp dụng quy phạm hiện hành về kiểm tra và nghiệm thu đối với bê tông và bê tông cốt thép theo qui định trong thiết kế.

**Chú thích:** Bê tông GGBFS thường phát triển cường độ tuổi sớm chậm hơn so với bê tông poóc lăng thông thường nên cần lưu ý kiểm tra cường độ của bê tông trước khi tháo khuôn, đặc biệt là trong điều kiện thời tiết lạnh.

### **9.4 Nghiệm thu kết cấu bê tông**

- 9.4.1 Nghiệm thu kết cấu, cấu kiện bê tông GGBFS tương tự như kết cấu, cấu kiện bê tông thông thường (theo thiết kế và phù hợp với tiêu chuẩn quy phạm hiện hành).

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] Lê Việt Hùng và nnk, "Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu tính chất của xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) và tính năng bê tông sử dụng GGBFS”, Viện Vật liệu xây dựng, 2018".
- [2] Lê Việt Hùng và nnk, "Nghiên cứu xây dựng chỉ dẫn kỹ thuật sử dụng xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS) cho sản xuất bê tông," 2021.
- [3] Lê Việt Hùng và nnk, "Tính chất của xỉ măng và bê tông sử dụng xỉ măng poóc lăng hỗn hợp và xỉ hạt lò cao nghiền mịn làm phụ gia khoáng, Viện Vật liệu xây dựng 2019".
- [4] Japan Society of Civil Engineers (JSCE), No.16 Standard specification for concrete structures 2007 "Materials and Construction", 2007.
- [5] American Concrete Institute (ACI), "ACI 233R-17 Slag Cement in Concrete and Mortar".
- [6] Tazawa, E.; Yonekura, A.; Tanaka, S., "Shrinkage and Creep of Concrete Containing Granulated Blast Furnace Slag," in *Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete, Proceedings of Third International Conference*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., V. 2, pp. 1325-1343, 1989.
- [7] Hogan, F.J. and Meusel, J.W, " Evaluation for Durability and Strength Development of a Ground Granulated Blast-Furnace Slag, Cement, Concrete, and Aggregates, V.3, No.1, Summer 1981, pp.40~52".
- [8] Lương Đức Long và nnk, Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu xỉ măng xỉ và sản xuất thử nghiệm tại Công ty xi măng Nghi Sơn”, Viện Vật liệu xây dựng, 2005-2006.
- [9] Kumar, A. and D. Roy, The effect of desiccation on the porosity and pore structure of freeze dried hardened Portland cement and slag-blended pastes. *Cem. Concr. Res.*, 1986. 16(1): p. 74-78..
- [10] M. D. A. Thomas, "Review of the Effect of Fly Ash and Slag on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete," Building Research Establishment Report BR 314, Construction Research Communications Ltd., Watford, UK, 117 pp, 1996.
- [11] Cement Concrete & Aggregates Australia (CCAA), *Ground slag properties, characterisation and uses*, Sydney, 2018.
- [12] Slag Cement Association,, *Concrete Proportioning info*, Farmington Hills, MI: Slag Cement Association, 2009.
- [13] Japan Society of Civil Engineers (JSCE) , "Recommendation of GGBFS as mineral admixture for concrete,," vol. Japan Society of Civil Engineers (JSCE) 1996..
- [14] "ASTM C989-17 Standard Specification for Slag Cement for Use in Concrete and Mortars".
- [15] "Chinese National Standard, CNS 12549:2009, Ground granulated blast-furnace slag for use in concrete and mortars".
- [16] "American Concrete Institute (ACI), ACI 363R-10: Report on High-Strength Concrete".
- [17] *ASTM C1202-12 Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*.
- [18] Lê Việt Hùng và nnk, "Báo cáo tổng kết đề tài "Nghiên cứu lựa chọn chất kết dính và phụ gia cho chế tạo bê tông có cốt gia cường sử dụng cát biển, nước biển". RD 82-18," Viện Vật liệu Xây dựng, 2017.
- [19] Ủy ban điều hành công trình công cộng (Đài Loan), Sổ tay bê tông sử dụng bột xỉ hạt lò cao cho công trình công cộng (bản tiếng Trung), 4/2001.

## PHỤ LỤC A

### MỘT SỐ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VỀ TÍNH CHẤT CỦA GGBFS, CHẤT KẾT DÍNH VÀ BÊ TÔNG GGBFS

#### A. Tính chất của xỉ hạt lò cao nghiền mịn (GGBFS)

Bảng A.1 Thành phần hóa của các mẫu GGBFS so sánh với xi măng PC40

Loại chất kết dính	Thành phần hóa (%)											Hệ số kiểm tính K
	MKN	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	S <sup>2-</sup>	
Xi măng PC40	2,58	19,74	3,11	5,18	63,14	1,61	1,85	0,7	0,15	0,12	-	-
GGBFS S75	-0,14	33,1	0,18	13,28	41,02	7,96	0,07	0,26	0,86	0,13	0,65	1,88
GGBFS S95	-0,49	33,02	0,17	14,02	40,88	8,16	0,05	0,21	0,28	0,18	0,61	1,91

**Chú thích:** Xi măng PC40 Công ty xi măng Nghi Sơn, GGBFS1 và GGBFS 2 từ nguồn xỉ hạt lò cao nghiền mịn của Công ty TNHH Tài nguyên CHC Việt Nam [3-5]

Bảng A2. Tính chất vật lý của GGBFS

STT	Ký hiệu mẫu	Độ ẩm (%)	Hoạt độ phóng xạ		Khối lượng riêng (g/cm <sup>3</sup> )	Bề mặt riêng Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Lượng sót sàng (%)	
			I <sub>1</sub>	A <sub>eff</sub> (Bq/kg)			80 μm	45 μm
1	GGBFS S75	0,21	0,556	158,38	2,92	4090	-	0,1
2	GGBFS S95	0,24	0,639	181,61	2,92	5490	-	0,3

**Chú thích:** Xi măng PC40 Công ty xi măng Nghi Sơn, GGBFS1 và GGBFS 2 từ nguồn xỉ hạt lò cao nghiền mịn của Công ty TNHH Tài nguyên CHC Việt Nam [3-5]

Bảng A.3 Thành phần hạt của GGBFS phân tích theo phương pháp tán xạ laze

STT	Ký hiệu mẫu	Phân bố thành phần cỡ hạt (μm)					
		Trung bình	D10	D25	D50	D75	D90
1	GGBFS-1	15,88	2,277	5,024	12,48	22,99	36,83
2	GGBFS-2	10,65	1,830	3,540	7,842	15,11	24,47
3	GGBFS-3	9,919	1,446	2,641	6,581	16,34	21,78

**Chú thích:** GGBFS1, GGBFS2 cung cấp bởi Công ty Tài nguyên CHC Việt Nam; GGBFS3 của Công ty Thép Hòa Phát Hải Dương.

## B. Tính chất của chất kết dính sử dụng GGBFS

Bảng A.4 Tính năng cơ lý của chất kết dính xi măng PC40-GGBFS

TT	Loại xi măng-xỉ	Tỷ lệ GGBFS	Lượng nước tiêu chuẩn (%)	Thời gian đông kết (phút)		Tỷ lệ độ chảy (%)	Lượng dùng nước (%)	Cường độ nén (MPa)				Cường độ so xi măng PC40 (%)			
				Bắt đầu	Kết thúc			3 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày	3 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày
1	PC40	0	28	120	180	100	100	34,2	43,6	53,5	59,3	100	100	100	100
2	S75-CHC	20	28,5	120	180	102,2	99	32,6	42,2	57,5	61,4	95,3	96,8	107,5	103,5
3	S75-CHC	30	29	130	190	103,1	99	30,9	43,1	59,1	62,1	90,4	98,9	110,5	104,7
4	S75-CHC	40	29,5	130	190	105	98,2	28,9	42,8	59,2	62,5	84,5	98,2	110,7	105,4
5	S75-CHC	50	29,5	130	200	106,3	97,4	26,1	40,4	57,9	63,8	76,3	92,7	108,2	107,6
6	S75-CHC	60	30	135	205	108,4	96,1	24,1	38,7	54,6	60,2	70,5	88,8	102,1	101,5
7	S75-CHC	70	30	145	215	110,2	94,2	21,3	36,2	52,2	57,3	62,3	83,0	97,6	96,6
8	S95-CHC	20	28,5	125	185	105	99,8	34,1	46,7	58,5	60,1	99,7	107,1	109,3	101,3
9	S95-CHC	30	29,0	135	200	106,3	99,8	33,8	48,2	62,4	65,0	98,8	110,6	116,6	109,6
10	S95-CHC	40	30	135	200	106,3	98,2	33,0	50,5	63,5	64,5	96,5	115,8	118,7	108,8
11	S95-CHC	50	30	135	205	109,4	97,4	31,1	49,6	63,5	66,8	90,9	113,8	118,7	112,6
12	S95-CHC	60	30,5	145	215	110,5	96,2	29,2	46,2	61,4	64,2	85,4	106,0	114,8	108,3
13	S95-CHC	70	30,5	150	220	110,6	95,2	26,5	44,6	59,3	61,6	77,5	102,3	110,8	103,9
14	S95-HP	20	28,5	120	180	106,3	99,8	33,4	44,5	57,1	57,4	97,7	102,1	106,7	96,8
15	S95-HP	30	29,0	120	185	106,3	99,9	32,9	45,1	60,4	59,6	96,2	103,4	112,9	100,5
16	S95-HP	40	29,5	125	190	105,6	99,2	30,1	44,8	60,3	60,5	88,0	102,8	112,7	102,0
17	S95-HP	50	29,5	125	200	109,4	98,2	28,1	43,2	59,4	62,9	82,2	99,1	111,0	106,1
18	S95-HP	60	30,5	135	210	109,6	97,2	27,5	41,6	58,8	60,1	80,4	95,4	109,9	101,3
19	S95-HP	70	30,5	145	220	110,2	96,8	26,2	40,4	55,2	58,5	76,6	92,7	103,2	98,7

**Chú thích:** S75-CHC, S95-CHC, S95-HP cung cấp bởi Công ty Tài nguyên CHC Việt Nam và Công ty Thép Hòa Phát Hải Dương.

Bảng A.5 Kết quả thí nghiệm tính chất cơ lý của xi măng PCB40 - GGBFS

TT	Ký hiệu mẫu	Nhà sản xuất	Tỷ lệ cấp phối		Khối lượng riêng g/cm <sup>3</sup>	Độ mịn		Nước tiêu chuẩn %	Thời gian đông kết		Độ ổn định thể tích mm	Cường độ nén				Độ nở Autoclave %
			PCB40 %	GGBFS %		Sốt sàng 0.09 %	Blaine cm <sup>2</sup> /g		Bắt đầu min	Kết thúc min		3 ngày MPa	7 ngày MPa	28 ngày MPa	91 ngày MPa	
<b>Xi măng PCB40 đại diện</b>																
1	PCB40	Nghi Sơn	100	0	3,10	0,7	4290	29,0	120	175	1,0	33,0	44,4	49,6	57,4	0,01
2	PCB40	Sông Gianh	100	0	3,03	1,0	4140	29,0	120	185	0,0	31,7	37,0	49,6	53,0	0,09
3	PCB40	Hà Tiên	100	0	3,07	0,1	3800	28,5	170	255	0,0	34,4	41,1	51,9	58,2	0,06
4	PCB40	Insee	100	0	3,07	1,1	4050	28,0	130	180	0,0	34,5	42,2	53,1	54,9	-0,01
<b>Xi hạt lò cao nghiền mịn</b>																
5	GGBFS	CHCV	0	100	2,85	0,1	4070									
<b>Xi măng poóc lăng hỗn hợp</b>																
6	NS-20	Nghi Sơn	80	20	3,04	0,4	4300	29,0	150	195	0,0	30,2	42,3	60,7	67,6	-0,02
7	NS-30	Nghi Sơn	70	30	3,00	0,4	4250	29,0	155	205	0,0	26,8	41,9	55,0	65,2	
8	HT-20	Hà Tiên	80	20	3,09	0,3	3960	29,0	185	255	0,0	32,0	43,1	60,0	64,8	0,06
9	HT-30	Hà Tiên	70	30	3,03	0,3	3910	29,0	190	275	0,0	29,8	42,3	58,6	65,4	
10	SG-20	Sông Gianh	80	20	3,00	0,6	4180	28,6	150	195	0,0	29,7	38,2	52,8	58,9	0,08
11	SG-30	Sông Gianh	70	30	2,96	0,9	4160	29,5	160	200	0,0	29,4	38,4	55,6	62,3	
12	IS-20	Insee	80	20	3,01	0,8	4050	27,5	155	180	0,0	30,6	43,2	55,7	61,7	-0,01
13	IS-30	Insee	70	30	3,04	0,6	4010	28,0	155	180	0,0	28,3	41,9	55,4	64,9	
<b>Xi măng đa cấu tử</b>																
14	NS-40	Nghi Sơn	60	40	3,00	0,7	4210	29,5	165	210	0,0	23,6	38,6	57,0	66,5	
15	NS-50	Nghi Sơn	50	50	2,94	0,7	4160	29,5	175	230	0,0	23,0	38,0	56,8	64,4	
16	NS-60	Nghi Sơn	40	60	2,92	0,5	4150	30,0	200	240	0,0	22,1	36,5	56,5	65,8	-0,04
17	HT-40	Hà Tiên	60	40	3,04	0,3	3970	29,5	195	275	0,0	27,6	38,4	60,8	67,2	

## C. Tính chất của bê tông sử dụng GGBFS làm phụ gia khoáng

Bảng A.6 Thành phần cấp phối nhóm bê tông sử dụng PC40-GGBFS, độ sụt (10-12)cm

STT	Nhóm mẫu	Ký hiệu mẫu	Loại CKD	Tỷ lệ GGBFS (%)	Tỷ lệ N/CKD	Tỷ lệ S/A	Hàm lượng CKD (kg)	Thành phần cấp phối cho một m <sup>3</sup> bê tông						Độ sụt (cm)	
								PC40 (kg)	Xi S75 (kg)	Xi S95 (kg)	Cát sông (kg)	Đá dăm (kg)	PGHH (lít)		Nước (lít)
1	PC40	N0	PC40	0	0,65	0,40	303	303	0	0	750	1134	0.00	197	10-12
2	S75	N20-1	S75	20	0,65	0,40	303	242	61	0	750	1133	0.00	194	10-12
3		N30-1	S75	30	0,65	0,40	303	212	91	0	751	1135	0.00	189	10-12
4		N40-1	S75	40	0,65	0,40	302	181	121	0	750	1133	0.00	186	10-12
5		N50-1	S75	50	0,65	0,40	302	181	121	0	750	1133	0.00	186	10-12
6		N60-1	S75	60	0,65	0,40	302	121	181	0	749	1131	0.00	185	10-12
7		N70-1	S75	70	0,65	0,40	302	91	211	0	748	1131	0.00	184	10-12
8		S95	N20-2	S95	20	0,65	0,40	305	244	0	61	757	1143	0.00	195
9	N30-2		S95	30	0,65	0,40	305	213	0	91	756	1143	0.00	193	10-12
10	N40-2		S95	40	0,65	0,40	304	183	0	122	755	1140	0.00	191	10-12
11	N50-2		S95	50	0,65	0,40	304	152	0	152	753	1138	0.00	188	10-12
12	N60-2		S95	60	0,65	0,40	303	121	0	182	752	1136	0.00	187	10-12
13	N70-2		S95	70	0,65	0,40	303	91	0	212	751	1135	0.00	187	10-12
14	PC40		M0	PC40	0	0,55	0,40	366	366	0	0	737	1105	0.00	200
15	S75	M20-1	S75	20	0,55	0,40	367	294	73	0	729	1108	0.00	199	10-12
16		M30-1	S75	30	0,55	0,40	366	257	110	0	728	1106	0.00	199	10-12
17		M40-1	S75	40	0,55	0,40	366	220	147	0	728	1106	0.00	196	10-12
18		M50-1	S75	50	0,55	0,40	367	183	183	0	728	1106	0.00	194	10-12
19		M60-1	S75	60	0,55	0,40	366	146	220	0	727	1106	0.00	192	10-12
20		M70-1	S75	70	0,55	0,40	365	109	255	0	725	1102	0.00	190	10-12
21		S95	M20-2	S95	20	0,55	0,40	364	291	0	73	723	1099	0.00	198
22	M30-2		S95	30	0,55	0,40	363	254	0	109	721	1095	0.00	197	10-12

STT	Nhóm mẫu	Ký hiệu mẫu	Loại CKD	Tỷ lệ GGBFS (%)	Tỷ lệ N/CKD	Tỷ lệ S/A	Hàm lượng CKD (kg)	Thành phần cấp phối cho một m <sup>3</sup> bê tông						Độ sụt (cm)	
								PC40 (kg)	Xi S75 (kg)	Xi S95 (kg)	Cát sông (kg)	Đá dăm (kg)	PGHH (lít)		Nước (lít)
23		M40-2	S95	40	0,55	0,40	362	217	0	145	719	1093	0.00	193	10-12
24		M50-2	S95	50	0,55	0,40	362	181	0	181	719	1093	0.00	192	10-12
25		M60-2	S95	60	0,55	0,40	362	145	0	217	719	1093	0.00	190	10-12
26		M70-2	S95	70	0,55	0,40	361	108	0	253	718	1091	0.00	188	10-12

**Ghi chú:** Xi măng PC40 Nghi Sơn, GGBFS loại S75 và S95 cấp bởi Công ty CHC Việt Nam với độ mịn Blaine tương ứng là 4090 và 5490 cm<sup>2</sup>/g, cát sông Lô mô đun độ lớn 2,5, đá dăm từ đá vôi cỡ hạt 5-20 mm.

Bảng A.7 Tính chất hỗn hợp bê tông của nhóm bê tông sử dụng PC40-GGBFS, độ sụt (10-12)cm

STT	Nhóm mẫu	Ký hiệu mẫu	HL GGBFS (%)	Tỷ lệ S/A	Nước trộn (L/m <sup>3</sup> )	Tỷ lệ N/CKD	HL CKD (kg)	Độ sụt (cm)	Độ sụt sau 45ph	Độ tách nước (%)	HL Bọt khí, %	Thời gian đông kết	
												Bắt đầu, h-min.	Kết thúc, h-min.
1	PC40	N0	0	0,40	197	0,65	303	11,0	6,5	0,5	1,7	5-30	6-42
2	S75	N20-1	20	0,40	194	0,64	303	11,0	6,0	0,4	1,7	6-00	7-12
3		N30-1	30	0,40	189	0,62	303	10,5	7,5	0,36	1,5	6-00	7-25
4		N40-1	40	0,40	186	0,62	302	10,5	6,5	0,33	1,4	6-00	7-42
5		N50-1	50	0,40	186	0,62	302	12,0	6,5	0,31	1,4	6-00	8-00
6		N60-1	60	0,40	185	0,61	302	11,5	7,0	0,29	1,35	6-12	8-12
7		N70-1	70	0,40	184	0,61	302	12,0	7,5	0,27	1,32	6-00	8-40
8		S95	N20-2	20	0,40	195	0,64	305	11,5	5,5	0,38	1,6	5-30
9	N30-2		30	0,40	193	0,63	305	10,5	5,5	0,35	1,6	5-15	7-05
10	N40-2		40	0,40	191	0,63	304	10,5	6,0	0,32	1,5	5-30	7-25
11	N50-2		50	0,40	188	0,62	304	11,5	7,0	0,3	1,4	5-30	7-50
12	N60-2		60	0,40	187	0,62	303	11,5	7,0	2,28	1,35	5-40	8-05
13	N70-2		70	0,40	187	0,62	303	11,0	6,5	0,27	1,31	6-10	8-25
14	PC40	M0	0	0,40	200	0,55	366	10,5	7,0	0,35	1,5	4-30	6-25
15	S75	M20-1	20	0,40	199	0,54	367	11,0	6,5	0,33	1,5	4-42	6-35
16		M30-1	30	0,40	199	0,54	366	11,0	6,5	0,31	1,4	4-55	7-00

STT	Nhóm mẫu	Ký hiệu mẫu	HL GGBFS (%)	Tỷ lệ S/A	Nước trộn (L/m <sup>3</sup> )	Tỷ lệ N/CKD	HL CKD (kg)	Độ sụt (cm)	Độ sụt sau 45ph	Độ tách nước (%)	HL Bọt khí, %	Thời gian đông kết	
												Bắt đầu, h-min.	Kết thúc, h-min.
17	S95	M40-1	40	0,40	196	0,54	366	12,0	6,0	0,3	1,35	5-20	7-25
18		M50-1	50	0,40	194	0,53	367	10,5	6,0	0,28	1,3	5-35	7-42
19		M60-1	60	0,40	192	0,53	366	11,0	6,5	0,28	1,25	5-50	8-10
20		M70-1	70	0,40	190	0,52	365	11,0	6,5	0,26	1,22	6-10	8-40
21		M20-2	20	0,40	198	0,54	364	12,0	9,5	0,26	1,3	4-35	6-25
22		M30-2	30	0,40	197	0,54	363	10,5	5,0	0,25	1,3	4-50	6-50
23		M40-2	40	0,40	193	0,53	362	11,0	5,5	0,22	1,2	5-00	7-20
24	S95	M50-2	50	0,40	192	0,53	362	11,0	6,0	0,2	1,15	5-15	7-30
25					190	0,53	362	11,0	6,5	0,2	1,12	5-30	7-50
26		M70-2	70	0,40	188	0,52	361	10,5	6,5	0,17	1,1	5-50	8-32

Bảng A.8 Tính chất cơ lý bê tông của nhóm bê tông sử dụng PC40-GGBFS, độ sụt (10-12)cm

STT	Nhóm mẫu	Ký hiệu mẫu	HL GGBFS (%)	N/CKD	Cường độ nén (MPa)				Cường độ uốn (MPa)			Cường độ kéo bẻ (MPa)			Mô đun đàn hồi (GPa)			Thẩm ion clo nhanh (culong)	Thẩm nước	
					3 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày			
1	PC40	N0	0	0,65	18,0	25,9	31,8	32,5	4,69	6,24	6,49	3,38	3,34	3,68	19,14	23,19	25,37	1949	8	
2	S75	N20-1	20	0,64	17,3	25,5	34,2	35,5	5,64	7,88	8,00	2,89	3,20	3,54	22,34	26,84	27,02	1634	10	
3		N30-1	30	0,62	17,1	25,4	38,1	40,0	5,92	8,16	8,03	3,18	3,62	3,72	24,21	26,99	28,62	1278	10	
4		N40-1	40	0,62	16,5	27,2	40,5	42,2	6,14	7,88	8,66	3,01	3,96	3,98	23,46	27,59	29,93	983	12	
5		N50-1	50	0,62	12,4	24,9	39,6	41,3	6,30	8,25	8,60	2,67	3,52	3,74	22,87	27,69	30,46	880	12	
6		N60-1	60	0,61	10,5	20,8	34,7	37,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	682	14
7		N70-1	70	0,61	8,7	17,4	30,6	33,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	616	14
8	S95	N20-2	20	0,64	18,3	28,2	36,8	39,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9		N30-2	30	0,63	19,2	27,6	37,2	45,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10		N40-2	40	0,63	21,0	29,5	37,0	45,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11		N50-2	50	0,62	23,1	31,4	40,7	45,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12		N60-2	60	0,62	18,2	29,2	38,8	45,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



STT	Nhóm mẫu	Ký hiệu mẫu	HL GGBFS (%)	N/CKD	Cường độ nén (MPa)				Cường độ uốn (MPa)			Cường độ kéo bẻ (MPa)			Mô đun đàn hồi (GPa)			Thấm ion clo nhanh (culong)	Thấm nước
					3 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày		
13		N70-2	70	0,62	15,2	25,4	34,5	41,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	PC40	M0	0	0,55	21,9	30,4	36,3	45,4	6,84	9,06	9,20	3,50	3,78	3,92	23,24	25,86	26,33	1585	10
15	S75	M20-1	20	0,54	19,9	30,6	37,9	46,6	6,82	8,90	9,36	3,16	3,92	4,12	25,82	28,25	28,95	1077	12
16		M30-1	30	0,54	19,7	33,6	42,5	51,3	6,52	9,14	9,42	3,32	4,24	4,44	25,98	28,77	31,35	851	14
17		M40-1	40	0,54	19,5	31,2	42,6	49,1	6,55	9,21	9,29	3,20	4,16	4,48	24,75	29,44	32,58	846	14
18		M50-1	50	0,53	18,6	30,3	41,6	48,4	6,62	9,04	9,07	2,96	3,94	4,34	24,67	30,23	32,62	823	14
19		M60-1	60	0,53	17,1	29,3	40,6	47,9										664	16
20		M70-1	70	0,52	13,8	24,1	35,3	42,3										535	16
21	S95	M20-2	20	0,54	22,9	33,3	41,9	47,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22		M30-2	30	0,54	25,7	33,6	48,9	53,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23		M40-2	40	0,53	24,6	32,1	49,2	55,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24		M50-2	50	0,53	25,5	33,0	48,6	53,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25		M60-2	60	0,53	21,9	29,8	42,8	49,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26		M70-2	70	0,52	19,6	27,7	40,6	47,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bảng A.9 Thành phần cấp phối nhóm bê tông sử dụng PC40-GGBFS, độ sụt (16-18)cm

No.	Nhóm mẫu	Ký hiệu mẫu	Loại CKD	Tỷ lệ GGBFS (%)	Tỷ lệ N/CKD	Tỷ lệ S/A	Hàm lượng CKD (kg)	Thành phần cấp phối một m <sup>3</sup> bê tông							Độ sụt (cm)
								PC40 (kg)	Xi S75 (kg)	Xi S95 (kg)	Cát sông (kg)	Đá dăm (kg)	PGHH (lít)	Nước	
1	PC40	P0	PC40	0	0,47	0,42	362	362	0	0	793	1084	3,62	169	16-18
2	S75	P20-1	S75	20	0,47	0,42	363	290	73	0	790	1087	3,63	166	16-18
3		P30-1	S75	30	0,47	0,42	361	253	108	0	786	1082	3,61	162	16-18
4		P40-1	S75	40	0,47	0,42	361	217	144	0	787	1082	3,61	161	16-18
5		P50-1	S75	50	0,47	0,42	362	181	181	0	788	1085	3,62	158	16-18
		P60-1	S75	60	0,47	0,42	361	144	217	0	786	1082	3,61	158	16-18
		P70-1	S75	70	0,47	0,42	361	108	253	0	786	1082	3,61	157	16-18
6	S95	P20-2	S95	20	0,47	0,42	363	290	0	73	790	1088	3,63	167	16-18
7		P30-2	S95	30	0,47	0,42	362	254	0	109	789	1086	3,62	164	16-18

No.	Nhóm mẫu	Ký hiệu mẫu	Loại CKD	Tỷ lệ GGBFS (%)	Tỷ lệ N/CKD	Tỷ lệ S/A	Hàm lượng CKD (kg)	Thành phần cấp phối một m <sup>3</sup> bê tông						Độ sụt (cm)	
								PC40 (kg)	Xi S75 (kg)	Xi S95 (kg)	Cát sông (kg)	Đá dăm (kg)	PGHH (lít)		Nước
8		P40-2	S95	40	0,47	0,42	362	217	0	145	788	1085	3,62	161	16-18
9		P50-2	S95	50	0,47	0,42	362	181	0	181	787	1084	3,62	160	16-18
		P60-2	S95	60	0,47	0,42	361	145	0	217	787	1083	3,61	161	16-18
		P70-2	S95	70	0,47	0,42	361	108	0	253	786	1082	3,61	158	16-18
10	PC40	H0	PC40	0	0,39	0,42	424	424	0	0	793	1053	4,24	165	16-18
11	S75	H20-1	S75	20	0,39	0,42	425	340	85	0	789	1054	4,25	162	16-18
12		H30-1	S75	30	0,39	0,42	424	297	127	0	788	1053	4,24	159	16-18
13		H40-1	S75	40	0,39	0,42	425	255	170	0	789	1054	4,25	157	16-18
14		H50-1	S75	50	0,39	0,42	424	212	212	0	788	1053	4,24	155	16-18
		H60-1	S75	60	0,39	0,42	424	170	255	0	788	1054	4,24	154	16-18
		H70-1	S75	70	0,39	0,42	424	127	297	0	787	1052	4,24	153	16-18
15		S95	H20-2	S95	20	0,39	0,42	427	341	0	85	792	1059	4,27	162
16	H30-2		S95	30	0,39	0,42	427	299	0	128	792	1059	4,27	160	16-18
17	H40-2		S95	40	0,39	0,42	427	256	0	171	793	1060	4,27	160	16-18
18	H50-2		S95	50	0,39	0,42	427	214	0	214	794	1061	4,27	158	16-18
	H60-2		S95	60	0,39	0,42	426	170	0	256	791	1058	4,26	157	16-18
	H70-2	S95	70	0,39	0,42	426	128	0	298	791	1058	4,26	156	16-18	

**Ghi chú:** Xi măng PC40 Nghi Sơn, GGBFS loại S75 và S95 cấp bởi Công ty CHC Việt Nam với độ mịn Blaine tương ứng là 4090 và 5490 cm<sup>2</sup>/g, cát sông Lô mô đun độ lớn 2,5, đá dăm từ đá vôi cỡ hạt 5-20 mm; PGHH loại siêu dẻo loại G, độ giảm nước ~ 20-25%.

Bảng A.10 Tính chất hỗn hợp bê tông của nhóm bê tông sử dụng xi măng PC40-GGBFS, độ sụt (16-18)cm

STT	Nhóm mẫu	Ký hiệu mẫu	HL GGBFS (%)	Tỷ lệ S/A	Lượng nước trộn (L/m <sup>3</sup> )	Tỷ lệ N/CKD	Tỷ lệ S/A	HL CKD (kg)	Độ sụt (cm)	Độ sụt sau 60ph	Độ tách nước (%)	HL Bọt khí, %	Thời gian đông kết	
													Bắt đầu, h-min.	Kết thúc, h-min.
1	PC40	P0	0	0,42	169	0,47	0,42	362	16,0	14,0	0,35	1,50	6-00	8-20
2	S75	P20-1	20	0,42	165	0,46	0,42	363	17,5	16,0	0,32	1,40	6-12	8-50
3		P30-1	30	0,42	162	0,45	0,42	361	18,0	16,5	0,3	1,35	6-12	9-00

STT	Nhóm mẫu	Ký hiệu mẫu	HL GGBFS (%)	Tỷ lệ S/A	Lượng nước trộn (L/m <sup>3</sup> )	Tỷ lệ N/CKD	Tỷ lệ S/A	HL CKD (kg)	Độ sụt (cm)	Độ sụt sau 60ph	Độ tách nước (%)	HL Bọt khí, %	Thời gian đông kết		
													Bắt đầu, h-min.	Kết thúc, h-min.	
4		P40-1	40	0,42	160	0,44	0,42	361	18,0	17,0	0,28	1,30	6-20	9-25	
5		P50-1	50	0,42	158	0,44	0,42	362	16,5	16,5	0,27	1,25	6-30	9-35	
6		P60-1	60	0,42	158	0,44	0,42	361	17,0	16,5	0,26	1,20	6-42	9-50	
7		P70-1	70	0,42	157	0,44	0,42	361	17,5	16,5	0,26	1,20	6-55	10-12	
8		S95	P20-2	20	0,42	166	0,46	0,42	363	18,0	16,0	0,2	1,50	6-00	8-25
9			P30-2	30	0,42	163	0,45	0,42	362	18,5	16,5	0,2	1,40	6-00	8-42
10			P40-2	40	0,42	161	0,45	0,42	362	17,0	16,5	0,18	1,30	6-00	8-50
11	P50-2		50	0,42	160	0,44	0,42	362	17,5	17,0	0,16	1,25	6-00	9-12	
12	P60-2		60	0,42	160	0,44	0,42	361	17,5	17,0	0,15	1,22	6-12	9-20	
13	P70-2		70	0,42	158	0,44	0,42	361	17,5	17,0	0,15	1,20	6-20	9-42	
14	PC40	H0	0	0,42	164	0,39	0,42	424	18,5	16,0	0,31	1,30	6-00	7-25	
15	S75	H20-1	20	0,42	160	0,38	0,42	425	18,0	17,0	0,25	1,25	6-25	8-12	
16		H30-1	30	0,42	157	0,37	0,42	424	18,0	17,5	0,22	1,20	6-35	8-30	
17		H40-1	40	0,42	155	0,37	0,42	425	18,5	18,0	0,2	1,20	6-42	8-42	
18		H50-1	50	0,42	153	0,36	0,42	424	18,5	18,0	0,2	1,15	6-50	8-55	
19		H60-1	60	0,42	152	0,36	0,42	424	18,0	17,5	0,18	1,10	6-50	9-12	
20		H70-1	70	0,42	152	0,36	0,42	424	18,5	18,0	0,18	1,10	7-00	9-42	
21	S95	H20-2	20	0,42	160	0,38	0,42	427	18,0	17,5	0,2	1,20	6-12	7-50	
22		H30-2	30	0,42	158	0,38	0,42	427	18,0	17,5	0,18	1,15	6-20	8-05	
23		H40-2	40	0,42	158	0,38	0,42	427	18,5	17,5	0,16	1,15	6-30	8-20	
24		H50-2	50	0,42	156	0,37	0,42	427	18,0	17,0	0,16	1,11	6-42	8-35	
25		H60-2	60	0,42	155	0,37	0,42	426	18,5	18,0	0,16	1,10	6-50	9-00	
26		H70-2	70	0,42	154	0,37	0,42	426	18,0	18,0	0,16	1,05	7-12	9-20	

Bảng A.11 Tính chất cơ lý bê tông của nhóm bê tông sử dụng xi măng PC40-GGBFS, độ sụt (16-18)cm

STT	Nhóm mẫu	Ký hiệu mẫu	HL GGBFS (%)	N/CKD	Cường độ nén (MPa)				Cường độ uốn (MPa)			Cường độ kéo bừa (MPa)			Mô đun đàn hồi (MPa)			Thấm ion clo (culong)	Thấm nước (B)	
					3 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày			
1	PC40	P0	0	0,47	34,8	39,8	53,0	55,3	6,76	9,53	9,32	4,04	4,21	4,36	30,25	32,08	32,65	1527	12	
2	S75	P20-1	20	0,46	37,5	43,3	53,9	61,1	7,31	10,11	9,83	4,68	4,82	4,80	31,04	33,23	35,16	935	14	
3		P30-1	30	0,45	36,8	44,0	56,3	63,3	7,53	10,32	10,19	4,76	4,90	4,60	30,88	34,02	36,74	631	16	
4		P40-1	40	0,44	31,7	43,5	55,7	61,1	7,53	9,99	10,14	4,02	4,50	4,68	30,14	33,48	36,79	539	16	
5		P50-1	50	0,44	29,9	39,4	54,7	62,6	7,50	10,21	10,08	4,02	4,44	4,48	29,87	33,12	36,61	528	16	
6		P60-1	60	0,44	27,4	38,1	53,5	59,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	462	18
7		P70-1	70	0,44	24,9	34,4	50,1	56,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	369	18
8		S95	P20-2	20	0,46	33,8	44,6	58,8	62,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	P30-2		30	0,45	36,7	49,8	57,8	63,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10	P40-2		40	0,45	33,6	47,6	59,3	64,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11	P50-2		50	0,44	32,1	46,4	59,1	65,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12	P60-2		60	0,44	30,4	44,2	58,1	65,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13	P70-2		70	0,44	27,3	40,1	54,6	62,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14	PC40	H0	0	0,39	45,6	48,4	58,8	64,5	6,95	9,47	10,02	4,77	4,90	4,48	31,23	32,80	33,43	1469	14	
15	S75	H20-1	20	0,38	44,7	53,9	59,5	67,1	7,67	10,32	10,49	5,02	5,09	5,18	32,75	34,79	36,31	892	16	
16		H30-1	30	0,37	47,1	54,8	61,0	68,6	7,84	10,38	10,58	5,02	5,06	5,18	33,53	35,34	39,49	473	18	
17		H40-1	40	0,37	44,1	56,6	60,4	68,7	7,74	10,32	10,68	4,22	4,64	4,86	32,33	34,46	39,50	460	18	
18		H50-1	50	0,36	41,8	54,1	63,8	68,7	7,74	10,62	10,68	4,26	4,72	4,88	31,95	34,60	39,46	408	18	
19		H60-1	60	0,36	38,3	46,7	60,7	65,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	352	> 18
20		H70-1	70	0,36	32,8	40,3	55,4	61,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	258	> 18
21	S95	H20-2	20	0,38	48,1	59,4	65,6	69,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
22		H30-2	30	0,38	47,8	55,4	67,7	71,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23		H40-2	40	0,38	47,3	53,7	66,1	70,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24		H50-2	50	0,37	46,8	52,8	65,8	71,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25		H60-2	60	0,37	43,8	50,2	64,2	68,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26		H70-2	70	0,37	39,7	46,5	61,9	67,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Bảng A.12 Thành phần cấp phối của bê tông sử dụng PCB40-GGBFS

STT	Nhóm mẫu	Ký hiệu mẫu	Hàm lượng GGBFS (%)	Tỷ lệ N/CKD	Hàm lượng CKD (kg)	Thành phần cấp phối cho 1m <sup>3</sup> bê tông						Độ sụt sau trộn (cm)
						PCB40 (kg)	GGBFS (kg)	Cát sông (kg)	Đá dăm (kg)	PGHH (lít)	Nước (lít)	
<b>Bê tông không sử dụng phụ gia siêu dẻo, độ sụt 10-12cm</b>												
1	Mác 30	N30-0	0	0,53	363	363	0	683	1110	0	193	10-12
2		N30-20	20	0,52	361	288	72	692	1096	0	187	10-12
3		N30-30	30	0,52	362	253	109	694	1100	0	187	10-12
4		N30-40	40	0,51	360	216	144	696	1094	0	183	10-12
<b>Bê tông có phụ gia siêu dẻo, độ sụt 16-18 cm</b>												
1	Mác 30	M30-0	0	0,52	348	348	0	782	1055	2,79	179	16-18
2		M30-20	20	0,51	348	278	70	788	1051	2,78	176	16-18
3		M30-30	30	0,50	349	244	105	795	1053	2,79	173	16-18
4		M30-40	40	0,50	347	208	139	795	1048	2,78	170	16-18
4	Mác 40	M40-0	0	0,44	418	418	0	734	1045	4,18	178	16-18
6		M40-20	20	0,43	423	338	85	747	1053	4,23	177	16-18
7		M40-30	30	0,42	420	294	126	753	1046	4,20	174	16-18
8		M40-40	40	0,41	419	251	167	758	1043	4,19	169	16-18
9	Mác 50	M50-0	0	0,40	454	454	0	731	1059	5,45	174	16-18
10		M50-20	20	0,39	457	365	91	740	1062	5,48	172	16-18
11		M50-30	30	0,38	448	314	134	731	1042	5,38	166	16-18
12		M50-40	40	0,38	447	268	179	732	1040	5,37	163	16-18
<b>Ghi chú:</b> Xi măng PCB40 theo TCVN 6260:2009, cường độ nén 28 ngày trong khoảng 49-53 MPa, GGBFS loại S75 cấp bởi Công ty CHC Việt Nam với độ mịn Blaine 4090 cm <sup>2</sup> /g, cát sông Lô mô đun độ lớn 2,5, đá dăm từ đá vôi cỡ hạt 5-20 mm; PGHH loại siêu dẻo loại G, độ giảm nước ~ 20-25 %.												

Bảng A.13 Cường độ nén của nhóm bê tông sử dụng PCB40-GGBFS

STT	Nhóm mẫu	Ký hiệu mẫu	Hàm lượng GGBFS (%)	Cường độ nén 3 ngày (MPa)				Cường độ nén 7 ngày (MPa)				Cường độ nén 28 ngày (MPa)				Cường độ nén 91 ngày (MPa)			
				NS	SG	HT	IS	NS	SG	HT	IS	NS	SG	HT	IS	NS	SG	HT	IS
<b>Bê tông không có PGSD, độ sụt 10-12cm</b>																			
1	Mác 30	N30-0	0	21,7	19,5	27,6	23,9	29,4	26,6	31,6	31,8	39,0	33,4	37,2	37,9	45,9	39,4	43,0	43,2
2		N30-20	20	17,0	16,1	23,4	19,6	23,8	24,3	30,8	29,2	37,5	34,5	37,9	37,2	45,8	39,0	42,7	44,8
3		N30-30	30	14,9	17,0	21,0	17,8	21,7	26,1	30,6	28,6	36,8	34,2	37,3	36,3	42,1	38,7	41,3	42,8
4		N30-40	40	13,2	15,1	18,6	17,8	20,8	25,0	26,5	25,0	35,1	32,2	37,2	36,4	41,1	36,0	41,1	42,5
<b>Bê tông có PGSD, độ sụt 16-18 cm</b>																			
1	Mác 30	M30-0	0	23,6	20,8	29,1	31,0	34,5	29,4	38,9	38,7	40,9	37,6	41,4	43,7	47,9	40,3	50,5	44,7
2		M30-20	20	21,5	20,9	23,2	29,8	30,6	32,7	35,6	37,2	40,5	39,9	42,5	44,6	48,4	44,8	50,8	51,1
3		M30-30	30	16,0	19,3	22,8	27,6	27,7	28,1	36,6	35,3	40,0	37,3	42,9	44,0	48,3	44,1	51,7	51,9
4		M30-40	40	15,1	17,5	21,9	27,8	25,9	26,7	35,3	37,2	40,3	37,4	42,9	44,7	47,8	44,2	52,0	52,7
4	Mác 40	M40-0	0	35,3	22,8	31,2	38,2	42,0	37,1	44,1	41,5	46,7	43,9	47,8	46,5	52,2	48,9	62,3	52,7
6		M40-20	20	30,0	20,8	27,5	34,3	37,9	37,9	43,6	44,0	48,9	49,0	48,6	46,3	54,6	50,7	66,8	52,7
7		M40-30	30	25,4	19,9	27,5	31,1	38,4	35,7	43,8	44,1	47,3	46,7	48,3	50,4	52,5	50,9	66,6	54,6
8		M40-40	40	19,2	18,1	22,8	28,4	37,9	37,7	42,2	43,8	47,3	45,7	49,5	51,4	54,6	50,8	68,6	55,0
9	Mác 50	M50-0	0	41,3	30,6	42,6	39,7	46,9	42,4	46,3	45,6	53,0	50,4	50,6	53,4	60,7	53,5	65,4	56,2
10		M50-20	20	33,2	27,0	32,6	37,9	45,2	43,2	53,9	48,1	54,5	53,1	58,6	52,1	60,4	54,5	68,3	57,8
11		M50-30	30	29,8	26,1	31,4	35,2	44,4	41,3	53,1	44,7	52,1	51,4	56,1	53,0	60,3	53,5	69,0	58,4
12		M50-40	40	28,6	25,4	30,4	32,7	42,1	39,7	52,6	45,6	51,7	51,3	55,8	52,9	61,0	54,3	72,2	59,1
<b>Ghi chú:</b> NS, SG, HT, IS là ký hiệu tương ứng các loại xỉ măng PCB40 Nghi Sơn, PCB40 Sông Gianh, PCB40 Hà Tiên, PCB40 InSee sử dụng trong thử nghiệm																			

## PHỤ LỤC B

### GIỚI THIỆU MỘT SỐ CÔNG TRÌNH SỬ DỤNG BÊ TÔNG GGBFS TRONG THỰC TẾ

Bảng B.1 Ví dụ một số công trình xây dựng sử dụng bê tông GGBFS tại Việt Nam

Tên công trình/hạng mục sử dụng/năm thực hiện	Loại chất kết dính	Tỷ lệ GGBFS (%)	Mác cường độ nén	Độ sụt (cm)	Hàm lượng CKD* (kg/m <sup>3</sup> )	Tỷ lệ N/CKD	Tỷ lệ cát/cốt liệu	Thành phần cấp phối								Ghi chú
								XM (kg/m <sup>3</sup> )	Xi GGBFS (kg/m <sup>3</sup> )	Tro bay (kg/m <sup>3</sup> )	Cát thô (kg/m <sup>3</sup> )	Cát mịn	Đá (kg/m <sup>3</sup> )	Phụ gia SD (L/m <sup>3</sup> )	Nước trộn (L/m <sup>3</sup> )	
Khu liên hợp Gang Thép Dung Quat Quảng Ngãi Kết cấu bê tông cốt thép công trình trên bờ, ven biển và trên biển (2018-2019)	PCB40	30	20 R28	12±2	307	0.54	0.45	214	92	-	846	-	1028	2.50	165	PCB40 với R28 ~ 47 MPa, GGBFS với độ mịn Blaine 4700 cm <sup>2</sup> /g, cát sông Mn~2.75, đá dăm Dmax 20, phụ gia siêu dẻo giảm nước ~ 25 %
	PCB40	30	30 R28	12±2	354	0.47	0.44	248	106	-	798	-	1034	3.20	165	
	PCB40	30	35 R28	12±2	383	0.43	0.42	268	115	-	769	-	1053	3.80	165	
	PCB40	30	40 R28	12±2	420	0.39	0.41	294	126	-	739	-	1063	4.20	165	
	PCB40	30	40 R28	16±2	443	0.33	0.42	310	133	-	760	-	1030	4.40	148	
	PCB40-S95	30	45 R7	12±2	457	0.32	0.42	320	137	-	760		1030	3,7	146	PCB40 với R28 ~ 51 MPa, GGBFS với độ mịn Blaine 4700 cm <sup>2</sup> /g, cát sông Mn ~2.75, đá dăm Dmax 20, phụ gia siêu dẻo giảm nước ~ 30 %
	PCB40-S95	30	45 R7	16±2	486	0.30	0.42	340	146	-	740		1010	4,9	144	
	PCB40-S95	30	45 R28	12±2	443	0.34	0.43	310	133	-	770		1040	3,5	149	
	PCB40-S95	30	45 R28	16±2	472	0.31	0.42	330	142	-	750		1020	4,7	147	
	PCB40-S95	30	45 R28	19±1	486	0.30	0.42	340	146	-	740		1010	5,3	146	
	PCB40-S95	30	50 R7	19±1	545	0.26	0.42	380	165	-	720		990	6,0	144	
	PCB40-S95	30	50 R28	19±1	530	0.27	0.42	370	160	-	730		1000	5,8	145	

Tên công trình/hạng mục sử dụng/năm thực hiện	Loại chất kết dính	Tỷ lệ GGBFS (%)	Mác cường độ nén	Độ sụt (cm)	Hàm lượng CKD* (kg/m <sup>3</sup> )	Tỷ lệ N/CKD	Tỷ lệ cát/cốt liệu	Thành phần cấp phối								Ghi chú
								XM (kg/m <sup>3</sup> )	Xi GGBFS (kg/m <sup>3</sup> )	Tro bay (kg/m <sup>3</sup> )	Cát thô (kg/m <sup>3</sup> )	Cát mịn	Đá (kg/m <sup>3</sup> )	Phụ gia SD (L/m <sup>3</sup> )	Nước trộn (L/m <sup>3</sup> )	
	PCB40-S95-FA	30	50 R28	12±2	484	0.41	0.46	290	121	73	490	330	950	4,83	169	
	PCB40-S95-FA	30	50 R28	16±2	498	0.40	0.46	299	124	75	495	327	950	4,98	171	
Nhà máy nhiệt điện Văn Phong 1 (2019)	PCB40-S95-FA	45	C35 R28	14±2	476	0.34	0.45	214	214	48	399	399	975	3.81	162	PCB40, GGBFS với độ mịn Blaine 4700 cm <sup>2</sup> /g, cát sông Mn=2.7, đá dăm Dmax 20, phụ gia siêu dẻo.
Khu đô thị Vinhomes Ocean Park Bê tông cho kết cấu nhà cao tầng: móng, dầm, cột, sàn, ... (2019-2020)	PCB40-S95-FA	30	30-40	14±2												PCB40, GGBFS với độ mịn Blaine 4700 cm <sup>2</sup> /g, cát sông Mn=2.7, đá dăm Dmax 20, phụ gia siêu dẻo.
Công ty MTV Bê tông Xuân Mai Bê tông cho cấu kiện bê tông cốt thép đúc sẵn (cọc, cột, dầm, tấm sàn, tấm tường)	PCB40-S95	20-30	30-60 R28	2-4												PCB40, GGBFS với độ mịn Blaine 4700 cm <sup>2</sup> /g, cát sông Mn=2.6, đá dăm 5-20, phụ gia siêu dẻo.



Bảng B.2 Ví dụ một số công trình xây dựng sử dụng bê tông xi măng GGBFS tại Việt Nam

Tên công trình, năm thực hiện	Loại chất kết dính	Hạng mục bê tông sử dụng	Cấp cường độ nén	Độ sụt (cm)
Dự án Hóa Dầu Long Sơn (Gói A2) (2020)	Xi măng xỉ InSee Extra Durable	Móng bồn chứa dầu. Yêu cầu bê tông giảm nhiệt thủy hóa và bền trong môi trường xâm thực	C28R28	16±2
Dự án Điện Gió Trà Vinh 1 (2020)	Xi măng xỉ InSee Extra Durable	Móng trụ tua bin. Khối lượng sử dụng 11.000 m <sup>3</sup> Yêu cầu bê tông bền sun phát.	C35/45 C45/55	16±2
Tòa Landmark 81 (2018)	Xi măng INSEE Mass Pour	Móng tòa chính. Khối lượng bê tông 15.000 m <sup>3</sup> . Yêu cầu giảm nhiệt bê tông khối lớn.		
Sunrise City/ Móng (2019)	Xi măng INSEE Mass Pour	Bê tông khối lớn yêu cầu giảm nhiệt thủy hóa		
Dự án nhà máy giấy MARUBENI (2019)	Xi măng INSEE Mass Pour	Móng xưởng. Bê tông khối lớn yêu cầu giảm nhiệt thủy hóa	35R28	14±2
Cầu Phú Mỹ/ Đài cọc (2005)	Xi măng INSEE Mass Pour	Bê tông khối lớn yêu cầu giảm nhiệt thủy hóa		
Dự án vệ sinh môi trường TP. HCM Nhiều Lộc - Thị Nghè – Giai đoạn 1 (2003)	Xi măng xỉ InSee Extra Durable	Cống dẫn nước sử dụng bê tông bền trong môi trường nước nhiễm mặn, xâm thực		
Cụm Nhiệt điện Duyên Hải (DH1, DH3, DH3+) (2011)	Xi măng xỉ INSEE Stable Soil	* Giá cố nền đất công nghệ cọc đất CDM		
Dự án Cao tốc Long Thành – Dầu Giây (Gói 2&3)	Xi măng xỉ INSEE Stable Soil	* Giá cố nền đất công nghệ cọc đất CDM		
<b>Chú thích:</b> * Vật liệu gia cố nền đất công trình xây dựng				