



# NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO VỮA NỀN CHO BÊ TÔNG TỰ LÊN, CƯỜNG ĐỘ CAO SỬ DỤNG CÁT MỊN VÀ HỖN HỢP PHỤ GIA KHOÁNG XỈ LÒ CAO - TRO TRẤU

Trần Đức Trung<sup>1</sup>, Bùi Danh Đại<sup>2</sup>, Vũ Đình Đẩu<sup>3</sup>

**Tóm tắt:** Bê tông tự lên đã và đang được nghiên cứu và ứng dụng ngày càng rộng rãi với nhiều tính năng vượt trội. Một trong những điểm mấu chốt để chế tạo bê tông tự lên cường độ cao là hỗn hợp vữa nền đòi hỏi phải có độ nhót hợp lý nhằm cân bằng giữa độ chảy và độ đồng nhất của hỗn hợp, đồng thời sau khi rắn chắc phải có cường độ cao. Bài báo này trình bày một số kết quả nghiên cứu chế tạo vữa nền cho bê tông tự lên cường độ cao sử dụng cốt liệu là cát mịn và hỗn hợp phụ gia khoáng xỉ lò cao - tro trấu.

**Từ khóa:** Xỉ hạt lò cao nghiền mịn; tro trấu; cát mịn; bê tông tự lên.

**Summary:** Self compacting concrete is increasingly being studied and applied due to many benefits and advantages over conventional concrete. One of the most important things to produce self-compacting high strength concrete is mortar phase manufacturing which is required to ensure a good balance between flow and homogeneity. Also, the hardened mortar must have high compressive strength. This paper presents preliminary results of mortar phase development for self compacting high strength concrete using fine sand as fine aggregate and ternary cementitious blends of cement, ground granulated blast furnace slag and rice hushash.

**Keywords:** Ground granulated blast furnace slag; rice husk ash; fine sand; self-compacting concrete.

Nhận ngày 1/6/2015, chỉnh sửa ngày 16/6/2015, chấp nhận đăng 30/6/2015



## 1. Giới thiệu

Bê tông tự lên (Self Compacting Concrete-SCC) là loại bê tông khi chưa đóng rắn có khả năng chảy dưới tác dụng của trọng lực bản thân và có khả năng tự điền đầy vào mọi góc cạnh của ván khuôn kể cả những nơi có mật độ cốt thép dày đặc mà không cần bất cứ tác động cơ học nào nhưng vẫn đảm bảo tính đồng nhất [1, 2, 3, 4]. Như vậy một loại bê tông được coi là có khả năng tự lên khi hỗn hợp bê tông thỏa mãn được đồng thời các yếu tố như khả năng chảy, khả năng vượt qua và độ đồng nhất.

Tuy nhiên, một hỗn hợp bê tông có độ linh động cao luôn tiềm ẩn nguy cơ bị tách nước, phân tầng [5]. Việc nghiên cứu chế tạo hỗn hợp vữa nền có độ chảy cao, độ đồng nhất tốt là cơ sở rất quan trọng cho việc chế tạo bê tông có khả năng tự lên. Bên cạnh đó, với mỗi loại cốt liệu lớn được lựa chọn trước (nguồn gốc, chủng loại,  $D_{max}$  hạt cốt liệu...) thì cường độ của bê tông phụ thuộc rất lớn vào cường độ của vữa nền.

Cát mịn là loại cát có mô đun độ lớn từ 0,7 đến 2,0 [6]. Ở Việt Nam loại cát này có trữ lượng lớn, vùng phân bố rộng nên giá thành rẻ hơn nhiều so với cát hạt thô. Tuy nhiên, cát mịn ít được sử dụng làm cốt liệu nhỏ cho bê tông hoặc vữa cường độ cao vì nó làm tăng lượng nước nhào trộn, do đó làm tăng lượng dùng xi măng so với khi sử dụng cát thô, hoặc làm giảm cường độ của vữa và bê tông khi giữ nguyên lượng dùng xi măng [7]. Khi sử dụng cát mịn làm cốt liệu nhỏ cho vữa cường độ cao, do lượng dùng xi măng lớn nên lượng hồ xi măng tạo thành không những sẽ dư thừa để lấp đầy khoảng trống giữa các hạt cát mịn mà còn có thể bao bọc xung quanh chúng một lớp có chiều dày đáng kể, tạo điều kiện để hỗn hợp có độ lưu động

<sup>1</sup>ThS, Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng. Email: tran\_duc\_trungxd@yahoo.com

<sup>2</sup>TS, Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng.

<sup>3</sup>PGS. TS, Khoa Vật liệu Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng.

cao [5]. Tuy nhiên, điều đó cũng rất dễ làm cho hỗn hợp vữa sử dụng cát mịn bị phân tầng. Nếu giải quyết được vấn đề này thì hoàn toàn có thể sử dụng cát mịn để chế tạo vữa có độ chảy cao, cường độ cao.

Bê tông tự lèn thường sử dụng một lượng bột lớn hơn so với các loại bê tông thông dụng [8]. Việc sử dụng các loại phụ gia khoáng nhằm thay thế một phần xi măng đang là xu thế chung trong công nghệ sản xuất bê tông hiện nay. Tro trấu [9, 10, 11, 12] và xỉ lò cao nghiền mịn [11] là các loại phụ gia khoáng hoạt tính, chúng có thể được sử dụng để chế tạo vữa và bê tông cường độ cao. Tuy nhiên, việc sử dụng đơn lẻ các loại phụ gia khoáng trên đều tồn tại những hạn chế nhất định như:

- Tro trấu có cấu trúc hạt xốp rỗng nên có tỷ lệ diện tích bề mặt rất lớn, do đó để đảm bảo tính công tác thì cần phải tăng lượng dùng phụ gia siêu dẻo.

- Xỉ lò cao làm giảm tốc độ phát triển cường độ của vữa và bê tông ở tuổi sớm, làm tăng nguy cơ phân tầng của hỗn hợp vữa...



## 2. Cơ sở khoa học

Phối hợp sử dụng tro trấu và xỉ lò cao với tỷ lệ thích hợp để thay thế một phần xi măng trong vữa cường độ cao, độ chảy cao sẽ không làm giảm chất lượng của chất kết dính, vì cả hai loại vật liệu trên đều là phụ gia khoáng hoạt tính. Việc phối hợp này không những sẽ giảm bớt nhược điểm của mỗi loại phụ gia mà còn có thể dẫn tới hiệu ứng tương hỗ làm tăng hiệu quả của chúng [5]. Hiệu quả của sự phối hợp giữa tro trấu và xỉ lò cao phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó yếu tố quan trọng nhất là tỷ lệ giữa hai loại phụ gia và hàm lượng của chúng so với xi măng.

Như vậy hoàn toàn có thể kết hợp sử dụng cát mịn và hỗn hợp phụ gia khoáng xỉ lò cao-tro trấu kết hợp với phụ gia siêu dẻo để chế tạo vữa có độ chảy cao, cường độ cao làm vữa nền cho bê tông tự lèn cường độ cao một cách hiệu quả. Cơ sở của nhận định này là [5]:

- Có thể thay thế xi măng bằng hỗn hợp phụ gia khoáng xỉ lò cao-tro trấu với hàm lượng lớn nhưng vẫn không làm giảm hoạt tính của chất kết dính.

- Sử dụng cát mịn trong thành phần của vữa độ chảy cao luôn tiềm ẩn khả năng hỗn hợp vữa bị tách nước, phân tầng. Điều này có thể được khắc phục bằng cách điều chỉnh thành phần của chất kết dính kết hợp với phụ gia siêu dẻo. Sự điều chỉnh này sẽ làm thay đổi độ nhớt của hỗn hợp vữa mà không cần sử dụng phụ gia biến tính độ nhớt.



## 3. Nguyên vật liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

### 3.1 Vật liệu sử dụng

#### 3.1.1 Xi măng

Trong nghiên cứu này đã sử dụng loại xi măng Poóc lăng PC40 Bút Sơn. Các tính chất cơ lý của xi măng thỏa mãn TCVN 2682-2009 và được trình bày tại Bảng 1.

**Bảng 1. Tính chất cơ lý của xi măng PC40 Bút Sơn**

| STT | Chỉ tiêu thí nghiệm                                       | Đơn vị                  | Kết quả      | Yêu cầu        | Phương pháp thí nghiệm        |
|-----|-----------------------------------------------------------|-------------------------|--------------|----------------|-------------------------------|
| 1   | Khối lượng riêng                                          | g/cm <sup>3</sup>       | 3,08         | -              | TCVN 4030:2003                |
| 2   | Lượng sót sàng 90 μm<br>Độ mịn Blaine                     | %<br>cm <sup>2</sup> /g | 3,5<br>3260  | ≤ 10<br>≥ 2800 | TCVN 4030:2003                |
| 3   | Đường kính hạt trung bình                                 | μm                      | 14,61        | -              | Phân tích bằng thiết bị Lazer |
| 4   | Độ dẻo tiêu chuẩn.                                        | %                       | 29,0         | -              | TCVN 6017:1995                |
| 5   | Thời gian bắt đầu đông kết<br>Thời gian kết thúc đông kết | Phút<br>Phút            | 125<br>205   | ≥ 45<br>≤ 375  | TCVN 6017:1995                |
| 6   | Độ ổn định thể tích (Le Chatelier)                        | mm                      | 1,5          | ≤ 10           | TCVN 6017:1995                |
| 7   | Cường độ nén ở tuổi 3 ngày<br>Cường độ nén ở tuổi 28 ngày | MPa<br>MPa              | 28,7<br>47,9 | ≥ 21<br>≥ 40   | TCVN 6016:2011                |

#### 3.1.2 Phụ gia khoáng

- Tro trấu: Trấu sau khi thu mua tại các cơ sở xay xát ở Hà Nội, được đốt thủ công trong lò kiểu giỏ lưới thép [9]. Tro trấu được nghiền sơ bộ bằng máy nghiền tang quay, sau đó được nghiền bằng máy nghiền bi rung với thời gian nghiền là 90 phút. Chỉ số hoạt tính của tro trấu xác định theo TCVN 8827:2011

- Xỉ lò cao: Trong nghiên cứu sử dụng loại xỉ lò cao hoạt hóa của nhà máy gang thép Hòa Phát. Xỉ sau khi lấy về được sấy khô, nghiền trong máy nghiền bi rung trong khoảng thời gian 90 phút. Chỉ số hoạt tính của xỉ lò cao xác định theo tiêu chuẩn TCVN 4315:2007.

**Bảng 2.** Một số tính chất kỹ thuật của các phụ gia khoáng

| STT | Chỉ tiêu thí nghiệm          | Đơn vị            | Kết quả   |          |
|-----|------------------------------|-------------------|-----------|----------|
|     |                              |                   | Xi lò cao | Tro trấu |
| 1   | Khối lượng riêng             | g/cm <sup>3</sup> | 2,89      | 2,12     |
| 2   | Lượng sót sàng 90 $\mu$ m    | %                 | 2,0       | 0,5      |
| 3   | Chỉ số hoạt tính với xi măng | %                 | 96,0      | 108      |
|     | Tuổi 7 ngày<br>Tuổi 28 ngày  |                   | 105       | -        |
| 4   | Đường kính hạt trung bình    | $\mu$ m           | 9,98      | 7,38     |

### 3.1.3 Cốt liệu

Cốt liệu sử dụng trong nghiên cứu này là cát mịn có nguồn gốc từ cảng Phà Đen-Hà Nội. Các tính chất cơ lý của cốt liệu được trình bày trong Bảng 3.

**Bảng 3.** Tính chất cơ lý của cốt liệu dùng trong nghiên cứu

| STT | Chỉ tiêu thí nghiệm                     | Đơn vị            | Cát mịn  | Phương pháp thí nghiệm |
|-----|-----------------------------------------|-------------------|----------|------------------------|
| 1   | Khối lượng riêng                        | g/cm <sup>3</sup> | 2,61     | TCVN 7572-4:2006       |
| 2   | Khối lượng thể tích                     | g/cm <sup>3</sup> | 2,58     | TCVN 7572-4:2006       |
| 3   | Khối lượng thể tích xốp                 | kg/m <sup>3</sup> | 1310     | TCVN 7572-6:2006       |
| 4   | Mô đun độ lớn                           | -                 | 0,92     | TCVN 7572-2:2006       |
| 5   | Độ hút nước (bão hòa trong, khô bề mặt) | %                 | 1,27     | TCVN 7572-4:2006       |
| 6   | Hàm lượng bụi bùn sét                   | %                 | 0,7      | TCVN 7572-8:2006       |
| 7   | Tạp chất hữu cơ (so sánh với màu chuẩn) | -                 | Sáng hơn | TCVN 7572-9:2006       |

### 3.1.4 Phụ gia siêu dẻo và nước

- Phụ gia siêu dẻo sử dụng có gốc polycarboxylate của hãng BASF Việt Nam, có tên thương phẩm là Glenium ACE388 SureTec. Đây là loại phụ gia dạng lỏng, có màu cam, không độc hại (theo tiêu chuẩn ECC 99/45), hàm lượng sử dụng không quá 2 lít/100kg xi măng.

- Nước sử dụng là nước máy Hà Nội. Loại nước này thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 4506:2012 đối với nước trộn vữa và bê tông.

### 3.2 Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu sử dụng các phương pháp thí nghiệm tiêu chuẩn và phương pháp phi tiêu chuẩn. Các phương pháp thí nghiệm tiêu chuẩn của Việt Nam gồm các thí nghiệm xác định các tính chất cơ lý của phụ gia khoáng, cốt liệu, các phương pháp đúc và bảo dưỡng mẫu vữa, xác định các tính chất cơ lý của vữa sau khi đóng rắn. Các phương pháp thí nghiệm phi tiêu chuẩn như thí nghiệm thành phần hạt của xi măng và phụ gia khoáng bằng thiết bị Lazer, thí nghiệm độ chảy loãng và thời gian chảy qua phễu chữ V... Ngoài ra trong nghiên cứu còn sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm để tìm mối quan hệ giữa các nhân tố thí nghiệm đến hàm mục tiêu.



## 4. Lập mô hình quy hoạch thực nghiệm và thiết kế thành phần vữa

Theo giáo sư Okamura [8], quy trình thiết kế bê tông tự lèn bắt buộc phải thông qua các bước thiết kế thành phần của vữa nền. Vữa nền sau khi thiết kế phải được thử các tính chất về độ chảy loãng và thời gian chảy qua phễu chữ V. Theo phương pháp này, hỗn hợp vữa nền được coi là đạt yêu cầu kỹ thuật để chế tạo bê tông tự lèn khi có độ chảy loãng đạt  $245 \pm 5$  mm và thời gian chảy qua phễu chữ V đạt  $10 \pm 1$  giây.

### 4.1 Thiết lập mô hình quy hoạch thực nghiệm

Bước 1: Lựa chọn phương pháp quy hoạch, nhân tố và hàm mục tiêu

- Sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm bậc hai tâm xoay ba nhân tố.

- Lựa chọn tỉ lệ giữa phụ gia khoáng và chất kết dính (PGK/CKD), tỉ lệ giữa cát và chất kết dính (C/CKD), tỉ lệ giữa nước và chất kết dính (N/CKD) làm biến độc lập trong nghiên cứu thực nghiệm.

- Hàm mục tiêu là cường độ nén của vữa ở tuổi 28 ngày.

Bước 2: Thiết lập ma trận quy hoạch thực nghiệm

- Khoảng biến thiên của các nhân tố ảnh hưởng như sau:

$$X_1 = \text{PGK/CKD} = 0,4 \div 0,6 \ (\Delta X_1 = 0,1); \ X_2 = \text{C/CKD} = 1,0 \div 1,2 \ (\Delta X_2 = 0,1);$$

$$X_3 = \text{N/CKD} = 0,26 \div 0,34 \ (\Delta X_3 = 0,04)$$

$$\text{- Giá trị của cánh tay đòn: } \alpha = 2^{k/4} = 2^{3/4}$$

$$\text{- Số điểm ở tâm kế hoạch: } n_0 = 6. \text{ Tổng số thực nghiệm trong kế hoạch: } N = 2^k + 2k + n_0 = 20$$

Các giá trị mã hoá và giá trị thực nghiệm của các nhân tố được giới thiệu ở Bảng 4, ma trận quy hoạch thực nghiệm được trình bày tại Bảng 5.

**Bảng 4.** Giá trị mã hoá và giá trị thực nghiệm của các nhân tố

| Biến mã hóa | $x_i, i=1+3$           | -1,682 | -1   | 0    | 1    | 1,682 | $\Delta x_i$ |
|-------------|------------------------|--------|------|------|------|-------|--------------|
| Biến thực   | $X_1 = \text{PGK/CKD}$ | 0,332  | 0,40 | 0,50 | 0,6  | 0,668 | 0,1          |
|             | $X_2 = \text{C/CKD}$   | 0,932  | 1,0  | 1,1  | 1,2  | 1,268 | 0,1          |
|             | $X_3 = \text{N/CKD}$   | 0,233  | 0,26 | 0,30 | 0,34 | 0,367 | 0,04         |

**Bảng 5.** Ma trận quy hoạch thực nghiệm

| TT | Biến mã |        |        | Biến thực              |                      |                      |
|----|---------|--------|--------|------------------------|----------------------|----------------------|
|    | $x_1$   | $x_2$  | $x_3$  | $X_1 = \text{PGK/CKD}$ | $X_2 = \text{C/CKD}$ | $X_3 = \text{N/CKD}$ |
| 1  | -1      | -1     | -1     | 0,40                   | 1,00                 | 0,26                 |
| 2  | 1       | -1     | -1     | 0,60                   | 1,00                 | 0,26                 |
| 3  | -1      | 1      | -1     | 0,40                   | 1,20                 | 0,26                 |
| 4  | 1       | 1      | -1     | 0,60                   | 1,20                 | 0,26                 |
| 5  | -1      | -1     | 1      | 0,40                   | 1,00                 | 0,34                 |
| 6  | 1       | -1     | 1      | 0,60                   | 1,00                 | 0,34                 |
| 7  | -1      | 1      | 1      | 0,40                   | 1,20                 | 0,34                 |
| 8  | 1       | 1      | 1      | 0,60                   | 1,20                 | 0,34                 |
| 9  | -1,682  | 0      | 0      | 0,332                  | 1,10                 | 0,30                 |
| 10 | 1,682   | 0      | 0      | 0,668                  | 1,10                 | 0,30                 |
| 11 | 0       | -1,682 | 0      | 0,50                   | 0,932                | 0,30                 |
| 12 | 0       | 1,682  | 0      | 0,50                   | 1,268                | 0,30                 |
| 13 | 0       | 0      | -1,682 | 0,50                   | 1,10                 | 0,233                |
| 14 | 0       | 0      | 1,682  | 0,50                   | 1,10                 | 0,367                |
| 15 | 0       | 0      | 0      | 0,50                   | 1,10                 | 0,30                 |
| 16 | 0       | 0      | 0      | 0,50                   | 1,10                 | 0,30                 |
| 17 | 0       | 0      | 0      | 0,50                   | 1,10                 | 0,30                 |
| 18 | 0       | 0      | 0      | 0,50                   | 1,10                 | 0,30                 |
| 19 | 0       | 0      | 0      | 0,50                   | 1,10                 | 0,30                 |
| 20 | 0       | 0      | 0      | 0,50                   | 1,10                 | 0,30                 |

## 4.2 Thiết kế thành phần vữa

### 4.2.1 Các bước thiết kế thành phần vữa

Bước 1: Do nghiên cứu không sử dụng phụ gia cuốn khí nên hàm lượng bọt khí trong hỗn hợp vữa được tính sơ bộ là 10 lít/m<sup>3</sup> (1,0% thể tích vữa).

Bước 2: Xác định tỉ lệ sử dụng giữa các loại vật liệu bột. Qua các thí nghiệm khảo sát sơ bộ [5] nghiên cứu chọn tỷ lệ xỉ lò cao và tro trấu (XLC/TT) là 4/6 và lựa chọn tỷ lệ PGK/CKD theo Bảng 5.

Bước 3: Lựa chọn tỷ lệ C/CKD theo bảng ma trận quy hoạch thực nghiệm.

Bước 4: Lựa chọn tỉ lệ N/CKD theo bảng ma trận quy hoạch thực nghiệm. Phụ gia siêu dẻo sử dụng dựa trên độ chảy loãng của vữa đảm bảo cho đường kính chảy loãng của vữa đạt 245±5mm.

Bước 5: Kiểm tra lại hàm lượng phụ gia siêu dẻo sử dụng: Dựa trên việc xác định thời gian chảy của vữa qua phễu chữ V đạt T=10±1 (giây).

### 4.2.2 Thiết kế thành phần vữa

Trong nghiên cứu sử dụng phương pháp thiết kế thành phần vữa theo phương pháp thể tích tuyệt đối. Theo phương pháp này, thể tích của 1m<sup>3</sup> hỗn hợp vữa coi như là tổng thể tích của hồ (nước + bột), cát,

phụ gia siêu dẻo và thể tích không khí cuốn vào vữa. Trên cơ sở đó ta thiết lập được các phương trình sau:

$$V_{CKD} + V_N + V_C + V_{SD} + V_{KK} = 1000 \Rightarrow V_{CKD} + V_N + V_C = 1000 - (V_{SD} + V_{KK}) \text{ hay}$$

$$\frac{X}{\delta_X} + \frac{XLC}{\delta_{XLC}} + \frac{TT}{\delta_{TT}} + \frac{C}{\delta_C} + N = 1000 - (V_{KK} + V_{SD})$$

trong đó  $V_{KK}$ ,  $V_{SD}$  là phần thể tích không khí, phụ gia siêu dẻo,  $\delta_X$ ,  $\delta_{XLC}$ ,  $\delta_{TT}$ ,  $\delta_C$  là khối lượng riêng của xi măng, xỉ lò cao, tro trấu, cát. Do đề tài không sử dụng phụ gia cuốn khí nên sơ bộ chọn  $V_{KK} = 10\text{lit}$ ,  $V_{SD} = 5\text{lit}$  (1,5%). Do đó có thể viết lại mối quan hệ

$$\frac{X}{\delta_X} + \frac{XLC}{\delta_{XLC}} + \frac{TT}{\delta_{TT}} + \frac{C}{\delta_C} + N = 985$$

Từ mô hình quy hoạch thực nghiệm và theo trình tự, phương pháp thiết kế thành phần tại mục 4.2.1 và 4.2.2 đề tài tính toán được các cấp phối thí nghiệm. Kết quả tính toán được trình bày tại Bảng 6.

**Bảng 6.** Các cấp phối thí nghiệm

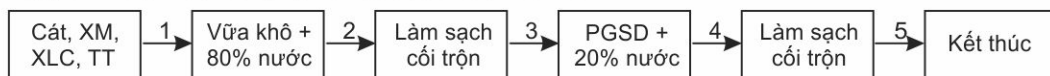
| TT | PGK/CKD | C/CKD | N/CKD | Cấp phối |      |        |       |      |        |
|----|---------|-------|-------|----------|------|--------|-------|------|--------|
|    |         |       |       | C(g)     | X(g) | XLC(g) | TT(g) | N(g) | SD (%) |
| 1  | 0,40    | 1,00  | 0,26  | 981      | 589  | 157    | 236   | 255  | 0,70   |
| 2  | 0,60    | 1,00  | 0,26  | 963      | 385  | 231    | 347   | 250  | 0,90   |
| 3  | 0,40    | 1,20  | 0,26  | 1095     | 548  | 146    | 219   | 237  | 1,00   |
| 4  | 0,60    | 1,20  | 0,26  | 1070     | 357  | 214    | 321   | 232  | 1,00   |
| 5  | 0,40    | 1,00  | 0,34  | 906      | 544  | 145    | 218   | 308  | 0,60   |
| 6  | 0,60    | 1,00  | 0,34  | 892      | 357  | 214    | 321   | 303  | 0,80   |
| 7  | 0,40    | 1,20  | 0,34  | 1020     | 510  | 136    | 204   | 289  | 0,70   |
| 8  | 0,60    | 1,20  | 0,34  | 1000     | 333  | 200    | 300   | 283  | 0,80   |
| 9  | 0,332   | 1,10  | 0,30  | 1002     | 609  | 121    | 182   | 273  | 0,70   |
| 10 | 0,668   | 1,10  | 0,30  | 976      | 294  | 237    | 356   | 266  | 0,90   |
| 11 | 0,50    | 0,932 | 0,30  | 890      | 478  | 191    | 287   | 287  | 0,72   |
| 12 | 0,50    | 1,268 | 0,30  | 1078     | 425  | 170    | 255   | 255  | 0,95   |
| 13 | 0,50    | 1,10  | 0,233 | 1056     | 480  | 192    | 288   | 224  | 1,50   |
| 14 | 0,50    | 1,10  | 0,367 | 935      | 425  | 170    | 255   | 312  | 0,65   |
| 15 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 990      | 450  | 180    | 270   | 270  | 0,75   |
| 16 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 990      | 450  | 180    | 270   | 270  | 0,75   |
| 17 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 990      | 450  | 180    | 270   | 270  | 0,75   |
| 18 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 990      | 450  | 180    | 270   | 270  | 0,75   |
| 19 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 990      | 450  | 180    | 270   | 270  | 0,75   |
| 20 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 990      | 450  | 180    | 270   | 270  | 0,75   |



## 5 Quy trình thí nghiệm

### 5.1 Quy trình trộn hỗn hợp vữa

Nghiên cứu sử dụng máy trộn vữa dung tích 3 lít của hãng ELE với thời gian trộn và tốc độ trộn khác nhau. Quy trình trộn vữa trong nghiên cứu có thể chỉ ra như Hình 1.



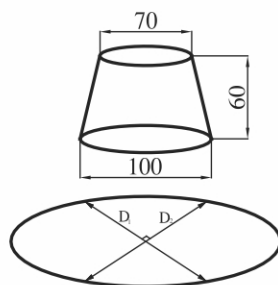
**Hình 1.** Quy trình trộn hỗn hợp vữa

1-Trộn 90 giây 2-Trộn 120 giây 3-Trộn 90 giây 4-Trộn 120 giây 5-Trộn 180 giây

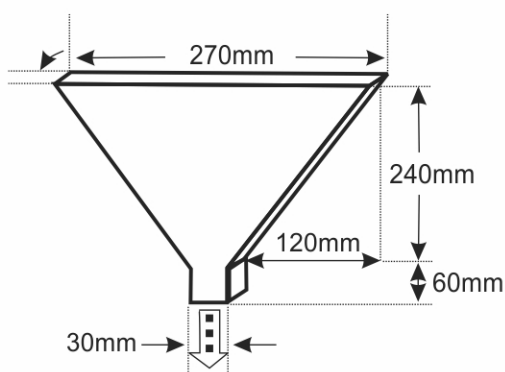
### 5.2 Quy trình thí nghiệm khả năng chảy của vữa

- Độ chảy loãng của hỗn hợp vữa: Khâu hình côn (có kích thước tính theo mm như Hình 2), được đặt trên tấm kính phẳng, hỗn hợp vữa sau khi trộn được rót vào khâu hình côn, dùng thước thép gạt phẳng mặt khâu, dùng để ẩm lau sạch phần vữa xung quanh khâu, nhấc khâu lên theo phương thẳng đứng, hỗn hợp vữa sẽ chảy loãng trên tấm kính. Thời gian đo dòng chảy loãng của vữa được tiến hành sau 30 giây. Độ chảy loãng được tính thông qua giá trị đo trung bình hai đường kính vuông góc với nhau (tính theo mm).

- Thí nghiệm thời gian chảy qua phễu chữ V: Thiết bị thí nghiệm có hình dạng và kích thước như Hình 3. Bịt tay phía dưới đáy phễu sau đó đổ đầy vữa vào phễu chữ V, đợi cho vữa tự san phẳng bề mặt sau đó thả tay phía dưới cho vữa chảy qua phễu đồng thời khởi động đồng hồ bấm giây để đo thời gian chảy của vữa. Thời gian chảy của vữa được tính kể từ lúc khởi động đồng hồ đến khi nhìn từ trên xuống đáy phễu thấy xuất hiện ánh sáng.



**Hình 2.** Thí nghiệm đo độ chảy xèo của vữa



**Hình 3.** Thí nghiệm thời gian chảy của hỗn hợp vữa qua phễu chữ V



## 6. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

### 6.1 Khả năng chảy của hỗn hợp vữa

Các cấp phối vữa được tiến hành kiểm tra độ chảy loãng và thời gian chảy qua phễu chữ V. Hàm lượng phụ gia siêu dẻo được điều chỉnh để đạt yêu cầu về khả năng chảy của hỗn hợp vữa. Kết quả thí nghiệm khả năng chảy của hỗn hợp vữa được trình bày tại Bảng 7.

**Bảng 7.** Độ chảy loãng và thời gian chảy của các cấp phối thí nghiệm

| TT | PGK/CKD | C/CKD | N/CKD | Hàm lượng PGSD (%) | Độ chảy loãng (mm) | Thời gian chảy (giây) |
|----|---------|-------|-------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| 1  | 0,40    | 1,00  | 0,26  | 0,70               | 245                | 10,3                  |
| 2  | 0,60    | 1,00  | 0,26  | 0,90               | 248                | 11,0                  |
| 3  | 0,40    | 1,20  | 0,26  | 1,00               | 250                | 9,5                   |
| 4  | 0,60    | 1,20  | 0,26  | 1,00               | 245                | 10,8                  |
| 5  | 0,40    | 1,00  | 0,34  | 0,60               | 246                | 9,7                   |
| 6  | 0,60    | 1,00  | 0,34  | 0,80               | 242                | 9,0                   |
| 7  | 0,40    | 1,20  | 0,34  | 0,70               | 245                | 10,3                  |
| 8  | 0,60    | 1,20  | 0,34  | 0,80               | 240                | 11,0                  |
| 9  | 0,332   | 1,10  | 0,30  | 0,70               | 245                | 10,1                  |
| 10 | 0,668   | 1,10  | 0,30  | 0,90               | 250                | 10,6                  |
| 11 | 0,50    | 0,932 | 0,30  | 0,72               | 245                | 10,5                  |
| 12 | 0,50    | 1,268 | 0,30  | 0,95               | 248                | 11,0                  |
| 13 | 0,50    | 1,10  | 0,233 | 1,50               | 246                | 11,0                  |
| 14 | 0,50    | 1,10  | 0,367 | 0,65               | 241                | 10,0                  |
| 15 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 0,75               | 248                | 10,8                  |
| 16 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 0,75               | 250                | 10,6                  |
| 17 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 0,75               | 247                | 10,9                  |
| 18 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 0,75               | 245                | 10,5                  |
| 19 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 0,75               | 245                | 10,0                  |
| 20 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 0,75               | 243                | 10,3                  |

Kết quả thí nghiệm xác định khả năng chảy của hỗn hợp vữa cho thấy: Hỗn hợp vữa có độ chảy đảm bảo yêu cầu kỹ thuật, qua quan sát bằng mắt thường có thể nhận thấy hỗn hợp có độ đồng nhất tốt. Điều này cho thấy việc sử dụng hỗn hợp phụ gia khoáng xỉ lò cao-tro trấu và cát mịn với hàm lượng thích hợp, kết hợp với phụ gia siêu dẻo đã tạo ra hỗn hợp vữa có độ nhớt hợp lý, độ nhớt này đảm bảo cân bằng giữa khả năng chảy và độ đồng nhất của hỗn hợp mà không cần sử dụng phụ gia biến tính độ nhớt.

Bên cạnh đó kết quả thí nghiệm còn cho thấy để đạt được cùng độ chảy loãng và thời gian chảy như nhau thì hỗn hợp vữa sử dụng cát và hàm lượng phụ gia khoáng lớn hơn sẽ cần một lượng phụ gia siêu dẻo lớn hơn khi sử dụng cùng tỉ lệ N/CKD. Điều này có thể được giải thích: với việc sử dụng tỉ lệ XLC/TT là 4/6 nên khi tăng hàm lượng sử dụng phụ gia khoáng sẽ dẫn đến lượng dùng tro trấu tăng lớn hơn lượng dùng xỉ lò cao. Tro trấu có cấu trúc xốp rỗng nên có tỉ diện tích rất lớn do đó nó cần một lượng nước lớn hơn xi măng và xỉ lò cao để duy trì cùng tính công tác. Với việc cố định sử dụng lượng nước như nhau sẽ dẫn đến việc cần phải tăng lượng dung phụ gia siêu dẻo cho hỗn hợp vữa để đạt được tính công tác như nhau khi tăng hàm lượng sử dụng phụ gia khoáng. Mặt khác, với lượng dùng phụ gia khoáng và tỉ lệ N/CKD như nhau (độ nhớt của hồ như nhau) thì khi tăng lượng dùng cát sẽ làm giảm lượng hồ sử dụng, làm tăng nội ma sát trong hỗn hợp từ đó dẫn đến giảm tính công tác của hỗn hợp vữa, do đó để duy trì tính công tác như nhau thì nhất thiết phải tăng lượng sử dụng phụ gia siêu dẻo.

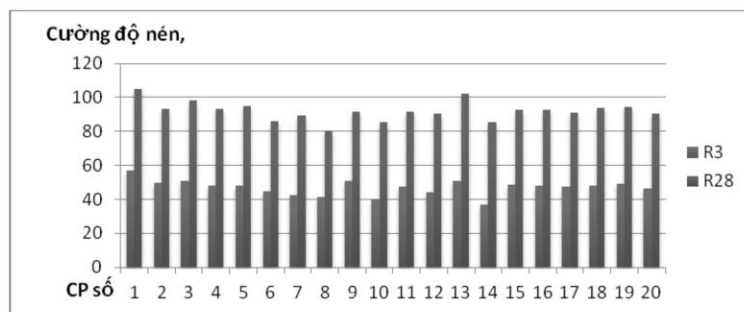
## 6.2 Tính chất của vữa đã đóng rắn

### 6.2.1 Cường độ nén

Mẫu vữa được đúc trong khuôn có kích thước 40x40x160mm. Quy trình chế tạo, bảo dưỡng và nén mẫu được thực hiện theo tiêu chuẩn TCVN 6016:2011. Cường độ nén của mẫu vữa được tiến hành ở tuổi 3 ngày và 28 ngày. Kết quả thí nghiệm được thể hiện trong Bảng 8 và Hình 4.

**Bảng 8.** Cường độ nén ở tuổi 3 ngày và 28 ngày của các cấp phối thí nghiệm

| TT | PGK/CKD | C/CKD | N/CKD | Hàm lượng PGSD(%) | Cường độ nén (MPa) |       |
|----|---------|-------|-------|-------------------|--------------------|-------|
|    |         |       |       |                   | R3                 | R28   |
| 1  | 0,40    | 1,00  | 0,26  | 0,70              | 56,9               | 105,0 |
| 2  | 0,60    | 1,00  | 0,26  | 0,90              | 49,8               | 93,5  |
| 3  | 0,40    | 1,20  | 0,26  | 1,00              | 50,9               | 98,4  |
| 4  | 0,60    | 1,20  | 0,26  | 1,00              | 48,3               | 93,1  |
| 5  | 0,40    | 1,00  | 0,34  | 0,60              | 48,0               | 95,0  |
| 6  | 0,60    | 1,00  | 0,34  | 0,80              | 44,9               | 85,9  |
| 7  | 0,40    | 1,20  | 0,34  | 0,70              | 42,4               | 89,2  |
| 8  | 0,60    | 1,20  | 0,34  | 0,80              | 41,3               | 80,2  |
| 9  | 0,332   | 1,10  | 0,30  | 0,70              | 50,8               | 91,8  |
| 10 | 0,668   | 1,10  | 0,30  | 0,90              | 39,7               | 85,7  |
| 11 | 0,50    | 0,932 | 0,30  | 0,72              | 47,8               | 91,5  |
| 12 | 0,50    | 1,268 | 0,30  | 0,95              | 44,2               | 90,6  |
| 13 | 0,50    | 1,10  | 0,233 | 1,50              | 50,9               | 102,0 |
| 14 | 0,50    | 1,10  | 0,367 | 0,65              | 37,0               | 85,7  |
| 15 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 0,75              | 48,5               | 92,5  |
| 16 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 0,75              | 48,0               | 92,7  |
| 17 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 0,75              | 47,4               | 91,3  |
| 18 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 0,75              | 48,2               | 93,6  |
| 19 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 0,75              | 49,1               | 94,5  |
| 20 | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 0,75              | 46,5               | 90,2  |



**Hình 4.** Cường độ nén ở tuổi 3 ngày và 28 ngày của các cấp phối thí nghiệm

### 6.2.2 Phương trình hồi quy của quy hoạch thực nghiệm

Sử dụng phần mềm Design expert 7 để tìm các hệ số  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8, b_9$ . Sau khi xác định tính có nghĩa của các hệ số  $b$  và tính tương hợp của phương trình hồi quy với kết quả thực nghiệm, thu được phương trình mô tả ảnh hưởng của các nhân tố tới cường độ nén như sau:

$$R_{28} = 92,45 - 3,31x_1 - 1,47x_2 - 4,91x_3 + 0,79x_1x_2 - 0,16x_1x_3 - 0,56x_2x_3 - 1,02x_1^2 - 0,21x_2^2 + 0,78x_3$$

Phân tích từ phương trình hồi quy cho thấy:

- Cường độ của mẫu vữa ở tuổi 28 ngày tỉ lệ nghịch với hàm lượng phụ gia khoáng (PGK/CKD), với lượng cát sử dụng (C/CKD). Trong khoảng khảo sát, mức độ ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia khoáng lớn hơn mức độ ảnh hưởng của lượng dùng cát.

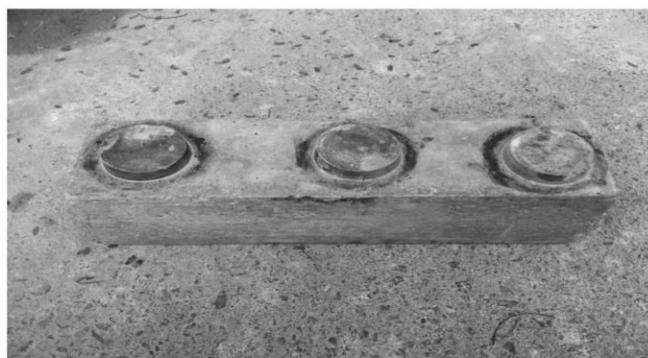
- Cường độ của mẫu vữa ở tuổi 28 ngày tỉ lệ nghịch bậc nhất với tỉ lệ N/CKD nhưng tỉ lệ thuận bậc hai với nhân tố này. Tuy nhiên mức độ ảnh hưởng bậc nhất lớn hơn nhiều mức độ ảnh hưởng bậc hai nên thực tế trong các cấp phối của mô hình quy hoạch thực nghiệm cường độ vữa vẫn tỉ lệ nghịch với tỉ lệ N/CKD, điều này hoàn toàn phù hợp với cơ sở lý thuyết.

### 6.2.3 Cường độ bám dính của vữa đã đóng rắn trên nền

Cường độ bám dính của vữa trên nền được tiến hành theo TCVN 3121-2 : 2003. Kết quả thí nghiệm được tiến hành với 5 cấp phối và được trình bày tại Bảng 9.

**Bảng 9.** Cường độ bám dính của một số cấp phối thí nghiệm

| Cấp phối | PGK/CKD | C/CKD | N/CKD | Cường độ nén $R_{28}$<br>(MPa) | Cường độ bám dính<br>(MPa) |
|----------|---------|-------|-------|--------------------------------|----------------------------|
| CP1      | 0,40    | 1,00  | 0,26  | 105,0                          | 0,274                      |
| CP3      | 0,40    | 1,20  | 0,26  | 98,4                           | 0,246                      |
| CP9      | 0,332   | 1,10  | 0,30  | 91,8                           | 0,236                      |
| CP13     | 0,50    | 1,10  | 0,233 | 102,0                          | 0,255                      |
| CP15     | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 92,5                           | 0,230                      |



**Hình 5.** Thí nghiệm cường độ bám dính của vữa trên nền bê tông

Kết quả thí nghiệm xác định cường độ bám dính của vữa cho thấy: cường độ bám dính của vữa tỉ lệ nghịch với tỉ lệ PGK/CKD, C/CKD và tỉ lệ N/CKD. Điều này có thể được lý giải như sau: sử dụng phụ gia khoáng xi lò cao-tro trấu làm tăng cường độ cho vữa và bê tông do hiệu ứng hoá học và hiệu ứng điền đầy [5,10]. Tuy nhiên với việc tăng lượng dùng phụ gia khoáng lên quá mức (trong cấp phối khảo sát đến 50% khối lượng chất kết dính) sẽ làm giảm chất lượng của chất kết dính, từ đó làm giảm khả năng bám dính của vữa với nền. Cùng với đó việc tăng lượng cát sử dụng sẽ làm giảm đáng kể chiều dày của lớp hồ bao bọc xung quanh các hạt cát, từ đó dẫn đến làm giảm khả năng bám dính của vữa. Khi tỉ lệ N/CKD tăng sẽ làm giảm cường độ của chất kết dính do hiện tượng “xốp hoá” đá chất kết dính. Hiện tượng này cũng xảy ra ngay tại vùng tiếp xúc giữa vữa với nền, từ đó dẫn đến làm giảm khả năng bám dính của vữa. Qua phân tích trên cũng có thể đánh giá, khi cường độ nén của mẫu vữa giảm thì tương ứng cường độ bám dính của vữa với nền cũng giảm.

### 6.2.4 Độ mài mòn của mẫu vữa

Thí nghiệm mài mòn được xác định theo TCVN 3114-1993. Kết quả thí nghiệm được tiến hành với 5 cấp phối và được trình bày tại Bảng 10. Kết quả thí nghiệm xác định độ mài mòn bề mặt của vữa cho thấy:

Độ mài mòn bề mặt của mẫu vữa giảm khi tăng lượng dùng cát và lượng dùng phụ gia khoáng. Tỷ lệ N/CKD tăng sẽ làm tăng độ mài mòn của mẫu. Như vậy khi tăng lượng dùng cát và hàm lượng phụ gia khoáng đã làm tăng độ cứng bề mặt của vữa, từ đó làm giảm độ mài mòn cho mẫu vữa. Đồng thời khi tỷ lệ N/CKD tăng sẽ làm tăng độ xốp rỗng bề mặt của vữa từ đó làm tăng độ mài mòn bề mặt của mẫu vữa.

**Bảng 10.** Kết quả độ mài mòn

| Cấp phối | PGK/CKD | C/CKD | N/CKD | Độ mài mòn ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) |
|----------|---------|-------|-------|---------------------------------------|
| CP1      | 0,40    | 1,00  | 0,26  | 0,283                                 |
| CP3      | 0,40    | 1,20  | 0,26  | 0,255                                 |
| CP9      | 0,332   | 1,10  | 0,30  | 0,325                                 |
| CP13     | 0,50    | 1,10  | 0,233 | 0,287                                 |
| CP15     | 0,50    | 1,10  | 0,30  | 0,297                                 |



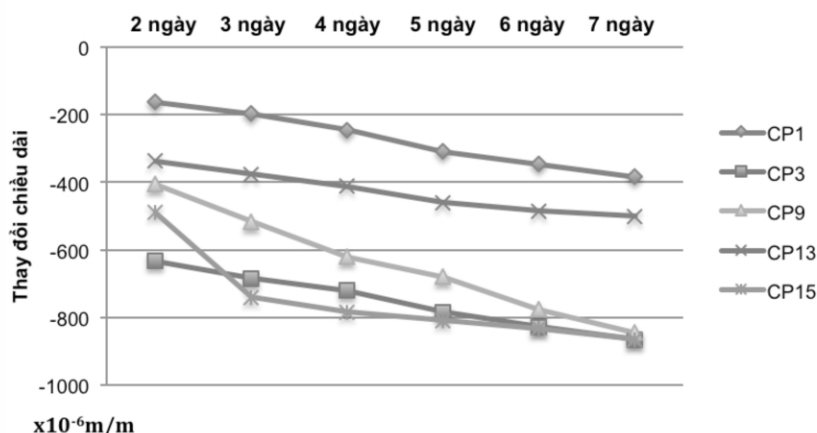
**Hình 6.** Thí nghiệm độ mài mòn bề mặt của mẫu vữa

#### 6.2.5 Độ co ngót của mẫu vữa

Thí nghiệm đo co ngót được tiến hành theo phương pháp ASTM C157. Kết quả thí nghiệm được tiến hành với 5 cấp phối và được trình bày tại Bảng 11 và Hình 7. Kết quả thí nghiệm xác định độ co của vữa cho thấy: Độ co của mẫu vữa ở những ngày đầu lớn và giảm dần theo thời gian. Tăng tỷ lệ dùng N/CKD sẽ làm tăng độ co của mẫu vữa.

**Bảng 11.** Kết quả đo co ngót của vữa

| Cấp phối | PGK/CKD | C/CKD | N/CKD | Thay đổi chiều dài thanh mẫu so với mẫu 1 ngày tuổi ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ) |        |        |        |        |        |
|----------|---------|-------|-------|--------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|          |         |       |       | 2 ngày                                                                         | 3 ngày | 4 ngày | 5 ngày | 6 ngày | 7 ngày |
| CP1      | 0,40    | 1,00  | 0,26  | -160                                                                           | -196   | -244   | -308   | -344   | -384   |
| CP3      | 0,40    | 1,20  | 0,26  | -632                                                                           | -684   | -720   | -784   | -828   | -864   |
| CP9      | 0,332   | 1,10  | 0,30  | -404                                                                           | -516   | -620   | -680   | -776   | -844   |
| CP13     | 0,50    | 1,10  | 0,233 | -336                                                                           | -376   | -412   | -460   | -484   | -500   |
| CP15     | 0,50    | 1,10  | 0,30  | -488                                                                           | -740   | -784   | -808   | -832   | -864   |



**Hình 7.** Sự thay đổi chiều dài thanh mẫu so với mẫu 1 ngày tuổi ( $\mu\text{m}/\text{m}$ )


**7. Kết luận**

- Hoàn toàn có thể sử dụng cát mịn, hỗn hợp phụ gia khoáng hoạt tính xỉ lò cao - tro trấu kết hợp với phụ gia siêu dẻo để chế tạo vữa nền cho bê tông tự lèn, cường độ cao. Mẫu vữa chế tạo có độ chảy loang sau 30 giây đạt  $245 \pm 5$  mm, thời gian chảy qua phễu chữ V đạt  $10 \pm 1$  giây, độ đồng nhất cao mà không cần sử dụng phụ gia biến tính độ nhớt. Cường độ nén của mẫu vữa sau 28 ngày có thể đạt  $> 100$  MPa.

- Có thể sử dụng đến 60% hàm lượng phụ gia khoáng hỗn hợp xỉ lò cao, tro trấu trong chất kết dính để chế tạo vữa độ chảy cao sử dụng cát mịn mà cường độ nén sau 28 ngày đạt 93,5 MPa.

- Cát mịn và hỗn hợp phụ gia khoáng làm tăng đáng kể lượng dung phụ gia siêu dẻo. Trong khoảng khảo sát của đề tài, khi tăng lượng sử dụng cát và hàm lượng phụ gia khoáng sẽ làm giảm cường độ nén của mẫu vữa.

- Khi tăng hàm lượng sử dụng phụ gia khoáng so với chất kết dính từ 0,332 lên 0,5 và tăng tỉ lệ sử dụng C/CKD từ 1,0 lên 1,2 làm giảm độ mài mòn bề mặt của vữa tương ứng là 9,4% và 11,0%. Khi tăng tỉ lệ N/CKD làm tăng độ mài mòn bề mặt của mẫu vữa, tuy nhiên với việc sử dụng phụ gia khoáng hỗn hợp xỉ lò cao - tro trấu và cát mịn thì độ mài mòn chỉ tăng 3,5% khi tăng tỉ lệ N/CKD từ 0,233 lên 0,3.

- Khi tăng hàm lượng phụ gia khoáng sử dụng từ 0,332 lên 0,5 không ảnh hưởng nhiều đến cường độ bám dính của vữa với nền, tuy nhiên cường độ bám dính bị ảnh hưởng khá lớn bởi tỉ lệ C/CKD và N/CKD. Với tỉ lệ C/CKD tăng từ 1,0 lên 1,2 cường độ bám dính giảm 11,4% và tương ứng giảm 8,1% khi tăng tỉ lệ N/CKD từ 0,233 lên 0,3.

**Tài liệu tham khảo**

1. ACI237R-07 (2007), *Self-consolidating concrete*, Reported by ACI Committee 237.
2. ASTM C09.47 (2010), *Self-consolidating concrete*.
3. Joseph A. Daczko (2012), *Self consolidating concrete - applying what we know*, Spon press 2 park square, milton park, Abingdon, Oxon OX14 4RN.
4. Kamal H. Khayat, Geert De Schutter (2014), "Mechanical properties of self-compacting concrete", *State-of-the-art report of the RILEM technical committee 228-MPS on mechanical properties of self-compacting concrete*.
5. Trần Đức Trung (2011), *Nghiên cứu chế tạo bê tông tự lèn sử dụng cát mịn và hỗn hợp phụ gia khoáng xỉ lò cao-tro trấu*, Luận văn Cao học, Trường Đại học Xây dựng.
6. TCVN 7570:2006, *Yêu cầu kỹ thuật đối với cốt liệu dùng cho vữa và bê tông*.
7. Dương Đức Tín (1972), *Nghiên cứu sử dụng cát mịn làm bê tông thủy công*, Báo cáo đề tài cấp Bộ, mã số B2-1-2, Bộ Thủy lợi.
8. Okamura, H.O, M.(2003), "Self-compacting concrete", *Journal of advanced concrete technology*, p.5-15.
9. Bùi Danh Đại (2005), *Nghiên cứu chế tạo microsilica từ tro trấu thay thế muối silic trong bê tông chất lượng cao*, Báo cáo đề tài cấp Bộ, mã số B2004-34-54, Bộ Giáo dục và Đào tạo.
10. Le Thanh Ha, Karsten Siewert, Horst-Michael Ludwig (2012), "Synergistic effect of rice husk ash and fly ash on properties of self-compacting high performance concrete", *Conference: Hipermat 2012. 3rd international symposium on UHPC and nanotechnology for high performance construction materials*, at Kassel, Germany
11. Van Viet Thien An (2013), *Characteristics of rice husk ash and application in ultra-high performance concrete*, Dissertation, Bauhaus-University Weimar
12. Nguyen Van Tuan (2011), *Rice husk ash as a mineral admixture for ultra high performance concrete*, Proefschrift, Sept, Delft University of Technology.