

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**



**LUẬN VĂN THẠC SĨ  
TRƯƠNG THANH HÙNG**

**NGHIÊN CỨU TĂNG CƯỜNG KHẢ NĂNG CHỐNG ẨM  
MÒN TRONG MÔI TRƯỜNG AXIT CHO BÊ TÔNG  
GEOPOLYMER BẰNG SILICAFUME**

**NGÀNH: KỸ THUẬT XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH DÂN  
DỤNG VÀ CÔNG NGHIỆP**



**Tp. Hồ Chí Minh, tháng 06/2019**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ  
TRƯỜNG THANH HÙNG  
MSHV: 1780817**

**NGHIÊN CỨU TĂNG CƯỜNG KHẢ NĂNG CHỐNG  
ĂN MÒN TRONG MÔI TRƯỜNG AXIT CHO BÊ  
TÔNG GEOPOLYMER BẰNG SILICAFUME**

**NGÀNH: KỸ THUẬT XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH  
DÂN DỤNG VÀ CÔNG NGHIỆP**

**Hướng dẫn khoa học:  
PGS. TS. PHAN ĐỨC HÙNG**

**Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 6/2019**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

---

**LUẬN VĂN THẠC SĨ  
TRƯỜNG THANH HÙNG  
MSHV: 1780817**

**NGHIÊN CỨU TĂNG CƯỜNG KHẢ NĂNG CHỐNG  
ĂN MÒN TRONG MÔI TRƯỜNG AXIT CHO BÊ  
TÔNG GEOPOLYMER BẰNG SILICAFUME**

**NGÀNH: KỸ THUẬT XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH  
DÂN DỤNG VÀ CÔNG NGHIỆP**

Hướng dẫn khoa học:  
**PGS. TS. PHAN ĐỨC HÙNG**

**Thành phố Hồ Chí Minh, tháng 6/2019**

## QUYẾT ĐỊNH

Về việc giao đề tài luận văn tốt nghiệp và người hướng dẫn năm 2018

HIỆU TRƯỞNG TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT TP. HỒ CHÍ MINH

Căn cứ Quyết định số 426/TTg ngày 27 tháng 10 năm 1976 của Thủ tướng Chính phủ về một số vấn đề cấp bách trong mạng lưới các trường đại học và Quyết định số 118/2000/QĐ-TTg ngày 10 tháng 10 năm 2000 của Thủ tướng Chính phủ về việc tổ chức lại Đại học Quốc gia Thành Phố Hồ Chí Minh, tách Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh trực thuộc Bộ Giáo dục và Đào tạo;

Căn cứ Quyết định số 70/2014/QĐ-TTg ngày 10 tháng 12 năm 2014 của Thủ tướng Chính phủ về việc ban hành Điều lệ trường Đại học;

Căn cứ Quyết định số 937/QĐ-TTg ngày 30 tháng 6 năm 2017 về việc phê duyệt đề án thí điểm đổi mới cơ chế hoạt động của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh;

Căn cứ Thông tư số 15/2014/TT-BGDĐT ngày 15/5/2014 của Bộ Giáo dục và Đào tạo về việc Ban hành Quy chế đào tạo trình độ thạc sĩ;

Căn cứ vào Biên bản bảo vệ Chuyên đề của ngành Kỹ thuật xây dựng công trình dân dụng & công nghiệp vào ngày 24/08/2018;

Xét nhu cầu công tác và khả năng cán bộ;

Xét đề nghị của Trưởng phòng Đào tạo,

### QUYẾT ĐỊNH:

**Điều 1.** Giao đề tài Luận văn tốt nghiệp thạc sĩ và người hướng dẫn Cao học năm 2018 cho:

Học viên : *Trương Thanh Hùng* MSHV: 1780817

Ngành : *Kỹ thuật xây dựng công trình dân dụng & công nghiệp*

Tên đề tài : *Nghiên cứu tăng cường khả năng chống ăn mòn trong môi trường axit cho bê tông Geopolymer bằng silicafume*

Người hướng dẫn : *PGS.TS. Phan Đức Hùng*

Thời gian thực hiện: *Từ ngày 28/8/2018 đến ngày 28/02/2019*

**Điều 2.** Giao cho Phòng Đào tạo quản lý, thực hiện theo đúng Quy chế đào tạo trình độ thạc sĩ của Bộ Giáo dục & Đào tạo ban hành.

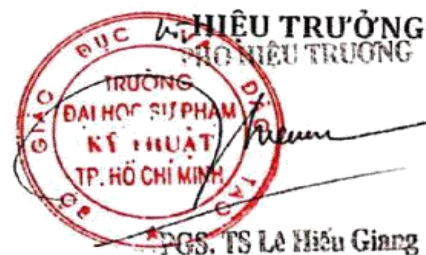
**Điều 3.** Trưởng các đơn vị, phòng Đào tạo, các Khoa quản ngành cao học và các Ông (Bà) có tên tại Điều 1 chịu trách nhiệm thi hành quyết định này.

Quyết định có hiệu lực kể từ ngày ký. /.

**Nơi nhận :**

- BGH (để biết);
- Như điều 3;
- Lưu: VT, SĐH (3b).

i



**BIÊN BẢN CHẤM LUẬN VĂN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ NĂM 2019**  
**NGÀNH: KỸ THUẬT XÂY DỰNG\_KHÓA 2017-2019**

Hội đồng chấm LVTN theo QĐ số: 1315/QĐ-ĐHSPKT-SĐH, ngày 11/07/2019

Có mặt : ..... 5 ..... Vắng mặt: ..... 0 .....

Chủ tịch Hội đồng : TS. Trần Tuấn Kiệt

Thư ký Hội đồng : TS. Lê Anh Thắng

Học viên bảo vệ LVTN : **Trương Thanh Hùng**

MSHV: 1780817

Giảng viên hướng dẫn : PGS.TS. Phan Đức Hùng

Giảng viên phản biện : TS. Phạm Đức Thiện

TS. Nguyễn Đình Hùng

Tên đề tài LVTN : **Nghiên cứu tăng cường khả năng chống ăn mòn trong môi trường axit cho bê tông Geopolymer bằng silicafume**

**I. KẾT QUẢ BẢO VỆ:**

TT	Thành viên hội đồng	Kết quả bảo vệ	Ghi chú
1	TS. Trần Tuấn Kiệt	7,0	
2	TS. Lê Anh Thắng	8,0	
3	TS. Phạm Đức Thiện	6,8	
4	TS. Nguyễn Đình Hùng	6,5	
5	PGS.TS. Vũ Hồng Nghiệp	7,0	
<b>Tổng điểm</b>		<b>35,3</b>	
<b>Điểm trung bình</b>		<b>7,06</b>	

**II. KẾT LUẬN:**

(Thư ký hội đồng ghi rõ các ý kiến của thành viên hội đồng về việc chỉnh sửa, bổ sung những nội dung gì trong LVTN)

- Xem và chỉnh sửa theo LPB và HP.

- Cần làm rõ cơ chế (hóa học, ...?) dẫn đến sự tăng

giam cường độ bê tông geopolymer sau quá trình nghiên?

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 21 tháng 7 năm 2019

**CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG**

(Ký, ghi rõ học hàm, học vị & họ tên)

TS. Trần Tuấn Kiệt

**THƯ KÝ HỘI ĐỒNG**

(Ký, ghi rõ học hàm, học vị & họ tên)

TS. Lê Anh Thắng



BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

## PHIẾU NHẬN XÉT LUẬN VĂN THẠC SỸ

(Dành cho giảng viên phản biện)

**Tên đề tài luận văn thạc sỹ:** Nghiên cứu tăng cường khả năng chống ăn mòn trong môi trường axit cho bê tông Geopolymer bằng silicafume

**Tên tác giả:** TRƯƠNG THANH HÙNG

**MSHV:** 1780817

**Ngành:** Kỹ thuật xây dựng công trình dân dụng và công nghiệp

**Khóa:** 2017

**Định hướng:** Ứng dụng

**Họ và tên người phản biện:** TS. Phạm Đức Thiện

**Cơ quan công tác:** Khoa Xây Dựng - Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TpHCM

**Điện thoại liên hệ:** 0949596128

### I. Ý KIẾN NHẬN XÉT

#### 1. Về hình thức & kết cấu luận văn:

- Cần chỉnh sửa đồng thời với chỉnh sửa nội dung như liệt kê ở mục 2.5 của bảng nhận xét này.

#### 2. Về nội dung:

##### 2.1. Nhận xét về tính khoa học, rõ ràng, mạch lạc, khúc chiết trong luận văn

- Cần cải thiện hơn, xem mục 2.5 của bảng nhận xét này.

##### 2.2. Nhận xét đánh giá việc sử dụng hoặc trích dẫn kết quả NC của người khác có đúng qui định hiện hành của pháp luật sở hữu trí tuệ

- Trích dẫn đúng quy định

- Chỉ trích dẫn được rất ít công trình nghiên cứu nước ngoài (2) và trong nước (3) liên quan trực tiếp đến đề tài nghiên cứu.

##### 2.3. Nhận xét về mục tiêu nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu sử dụng trong LVTN

- Mục tiêu nghiên cứu rõ ràng, phương pháp nghiên cứu phù hợp.

##### 2.4. Nhận xét Tổng quan của đề tài

- Phần tổng quan của đề tài tạm ổn, tuy nhiên vẫn có thể được cải thiện, bổ sung trích dẫn, nhận xét đánh giá để nêu bật được mục tiêu của đề tài một cách mạch lạc, rõ ràng và thuyết phục hơn.

##### 2.5. Nhận xét đánh giá về nội dung & chất lượng của LVTN

- Cần kiểm soát nhiều đoạn nội dung lặp đi lặp lại nguyên văn gây ức chế cho người đọc một cách không cần thiết.
- Phần ABSTRACT (tiếng anh) có khả năng được cải thiện để tốt hơn.
- Hình 1.1, 1.3 cần được thay thế bằng các hình khác không có các thông tin không liên quan (watermark). Hình 3.4 nên sử dụng hình ảnh cát đã qua sàng lọc, hình hiện tại cát lẫn nhiều đá sỏi, có phải tác giả để nguyên như vậy trộn bê tông không? Hình 3.6 cũng cho cảm giác kích cỡ hạt đá không đồng đều và quá to, nên sử dụng hình ảnh khác có tác dụng thị giác tốt hơn.
- Số trích dẫn [1,2,3,...] chưa theo thứ tự.
- Mục 2.7.1 và 2.7.2 có nhiều nội dung lặp lại. Cấu trúc đề mục chưa logic, các mục từ 2.7.3 đến 2.7.6 dường như phải là mục con của mục 2.7.2 thay vì là các mục ngang cấp?
- Mục 2.7.3 đến 2.7.6 chưa thấy nói về ảnh hưởng của ion sulfate, ion clorua, nước biển, nước thải công nghiệp đến tính chất bê tông geopolynmer, chỉ thấy nhắc đến bê tông xi măng. Các chất phản ứng với nhau tạo sản phẩm nên được thể hiện thêm bằng phương trình hóa học.
- Mục 2.8 và các mục con cần được bổ sung nhiều trích dẫn để minh chứng cho các nội dung đã trình bày. Mục này cũng không thấy nhắc đến ảnh hưởng của silicafume đến tính chất của bê tông gepolymer, dù phần tổng quan có nói đến 1 đề tài như thế này.
- Bảng 3.3 không có số liệu cho cỡ sàng 15 mm, đồ thị hình 3.7 lại vẽ được điểm số liệu đó.
- Hình 3.12 đúc mẫu với bề mặt loang lổ, thiếu vật liệu,... gây phản cảm và nghi vấn về chất lượng tạo mẫu. Trong khi các hình tiếp theo thấy mẫu khá tốt. Đề nghị giải thích rõ thêm và thay thế bằng một hình ảnh khác.
- Mục 4.1 “Kiểm tra bằng trực quan”, cần có hình ảnh so sánh đối chiếu giữa mẫu có ngâm hóa chất và không ngâm hóa chất sau cùng khoảng thời gian. Các mẫu bị ảnh hưởng bề mặt cần đưa hình ảnh theo diễn tiến các mốc thời gian mà tác giả nghiên cứu, thay vì chỉ là hình ảnh của 120 ngày ngâm hóa chất như hiện tại.
- Các đồ thị hình 4.5, 4.6 nên thay tên CPI,2,3... bằng 0%, 5%, 10%,... hóa chất (hoặc thêm vào tên đường hàm lượng này). Để theo dõi trực quan hơn.
- Trang 60, đoạn 1, kết luận 2 chất acid làm tăng cường độ bê tông geopolynmer theo thời gian là chưa đầy đủ cơ sở khoa học khi không có các mẫu không ngâm hóa chất để đối chứng. Kết luận cường độ ổn định, không thay đổi nhiều sau 120 ngày ngâm mẫu là không thuyết phục do xu hướng đồ thị cường độ đang đi xuống sau 60 hoặc 90 ngày và tác giả thiếu kết quả đo cho thời gian dài hơn.
- Mục 4.4 cần nêu rõ công thức tính % khối lượng thay đổi.
- Theo mô tả ở đoạn 1 trang 48: “mẫu được lấy ra khỏi dung dịch hóa chất, lau sạch mẫu bằng khăn mềm và ngay sau đó tiến hành cân và nén mẫu”, lúc này mẫu ở trạng thái bão hòa, đem cân và so sánh với khối lượng mẫu không ngâm ở trạng thái khô thì rất khập khiễng. Cũng nói thêm nén mẫu ở trạng thái bão hòa này kết quả so sánh với cường độ mẫu ban đầu ở trạng thái khô cũng không hợp lý.
- Mục 4.3 đến 4.6 cũng cần có thêm các bình luận, giải thích và dẫn chứng khoa học chứng minh cho sự tăng giảm cường độ của bê tông geopolynmer mà tác giả đã thực hiện là đáng tin cậy thay vì chỉ có các mô tả số liệu nhưng rất ít giải thích như hiện tại.

## **2.6. Nhận xét đánh giá về khả năng ứng dụng, giá trị thực tiễn của đề tài**

- Đề tài với các kết quả thực nghiệm đã thực hiện có thể dùng làm tài liệu tham khảo và cơ sở khoa học cho các nghiên cứu tiếp theo.

## **2.7. Luận văn cần chỉnh sửa, bổ sung những nội dung gì (thiết sót và tồn tại):**

- Xem và chỉnh sửa theo mục 2.5 của bảng nhận xét này.

## **II. CÁC VẤN ĐỀ CẦN LÀM RÕ**

*(Các câu hỏi của giảng viên phản biện)*

- 1/ Cần trình bày rõ hơn nội dung nghiên cứu của công trình nghiên cứu trích dẫn số [19] của PGS.TS. Phan Đức Hùng. Như luận văn đã trích dẫn: BT Geopolynmer có khả năng duy trì cường độ sau 24 tuần ngâm trong acid, như vậy có cần thiết phải có thêm nghiên cứu của tác giả hay không?
- 2/ Tác giả cần giải thích bằng các dẫn chứng khoa học xem cường độ của bê tông geopolynmer có tăng theo thời gian (sau dưỡng hộ nhiệt) hay không? Nhất là sau các cột mốc thời gian 30, 60, 90, 120 ngày (nếu được). Vì sao tác giả không có các mẫu không ngâm hóa chất để thí nghiệm cường độ ở các mốc thời gian này làm so sánh đối chứng?
- 3/ Giải thích rõ hơn các cơ chế làm tăng giảm cường độ, khối lượng mẫu bê tông geopolynmer khi ngâm các acid như đã thực hiện? Có thể trả lời bằng cách thêm vào nội dung luận văn sau khi bảo vệ.

### III. ĐÁNH GIÁ

TT	Mục đánh giá	Đánh giá	
		Đạt	Không đạt
1	Tính khoa học, rõ ràng, mạch lạc, khúc chiết trong luận văn	x	
2	Đánh giá việc sử dụng hoặc trích dẫn kết quả NC của người khác có đúng qui định hiện hành của pháp luật sở hữu trí tuệ	x	
3	Mục tiêu nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu sử dụng trong LVTN	x	
4	Tổng quan của đề tài	x	
5	Đánh giá về nội dung & chất lượng của LVTN	x	
6	Đánh giá về khả năng ứng dụng, giá trị thực tiễn của đề tài	x	

*Đánh dấu chéo (x) vào ô muốn Đánh giá*

### III. KẾT LUẬN

*(Giảng viên phân biện ghi rõ ý kiến “Tán thành luận văn” hay “Không tán thành luận văn”)*

Tán thành luận văn, sau khi chỉnh sửa theo các góp ý của 2 PB và Hội đồng

TP.HCM, ngày 21 tháng 7 năm 2019

**Người nhận xét**

(Ký & ghi rõ họ tên)



TS. Phạm Đức Thiện





BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT  
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

## PHIẾU NHẬN XÉT LUẬN VĂN THẠC SỸ (Dành cho giảng viên phản biện)

**Tên đề tài luận văn thạc sỹ:** Nghiên cứu tăng cường khả năng chống ăn mòn trong môi trường axit cho bê tông Geopolymer bằng silicafume

**Tên tác giả:** TRƯƠNG THANH HÙNG

**MSHV:** 1780817

**Ngành:** Kỹ thuật xây dựng công trình dân dụng và công nghiệp

**Khóa:** 2017

**Định hướng:** Ứng dụng

**Họ và tên người phản biện:** TS.Nguyễn Đình Hùng

**Cơ quan công tác:** Đại học Quốc tế

**Điện thoại liên hệ:** 0698069559

### I. Ý KIẾN NHẬN XÉT

#### 1. Về hình thức & kết cấu luận văn:

Luận văn với kết cấu 5 chương gồm tổng quan, cơ sở lý thuyết nguyên vật liệu và phương pháp thí nghiệm, kết quả thí nghiệm và đánh giá, và kết luận. Kết cấu luận văn phù hợp với yêu cầu của luận văn thạc sỹ.

#### 2. Về nội dung:

##### 2.1. Nhận xét về tính khoa học, rõ ràng, mạch lạc, khúc chiết trong luận văn

Tác giả đã tiếp thu kiến thức cơ bản về các loại ăn mòn bê tông, các giải pháp chống ăn mòn cho bê tông xi măng, và các kiến thức về bê tông geopolymer. Các nguyên vật liệu được đánh giá và phân tích để sử dụng, quá trình thực hiện thí nghiệm bê tông geopolymer rất bài bản, có chất lượng và độ tin cậy cao. Trong đó, cấp phối bê tông geopolymer đối chứng có tro bay được thay thế bởi silica fume 5%, 10%, 15%, 20% và 25%. Kết quả chỉ ra rằng, khi thay thế tro bay bằng 10% silica fume, thì cho kết quả tối ưu hơn. Các cấp phối bê tông geopolymer cũng được ngâm trong môi trường ăn mòn axit HCL và H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> với nồng độ 5% đến 10%. Kết quả cho thấy cường độ bê tông geopolymer giảm ít nhất và làm tăng khả năng chống ăn mòn khi hàm lượng tro bay được thay thế trong khoảng 5% đến 10%.

##### 2.2. Nhận xét đánh giá việc sử dụng hoặc trích dẫn kết quả NC của người khác có đúng qui định hiện hành của pháp luật sở hữu trí tuệ

Các trích dẫn đảm bảo yêu cầu.

##### 2.3. Nhận xét về mục tiêu nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu sử dụng trong LVTN

Tác giả sử dụng phương pháp nghiên cứu phân tích, so sánh và đánh giá trong luận văn là phù hợp.

##### 2.4. Nhận xét Tổng quan của đề tài

Luận văn đạt loại khá trở lên

##### 2.5. Nhận xét đánh giá về nội dung & chất lượng của LVTN

Nội dung của luận văn đáp ứng yêu cầu của luận văn thạc sỹ.

##### 2.6. Nhận xét đánh giá về khả năng ứng dụng, giá trị thực tiễn của đề tài

Kết quả của luận văn có tính thực tiễn, có thể áp dụng để tìm kết cấu phù hợp.

##### 2.7. Luận văn cần chỉnh sửa, bổ sung những nội dung gì (thiết sót và tồn tại):

Chỉnh sửa sau khi có ý kiến của hội đồng bảo vệ

### II. CÁC VẤN ĐỀ CẦN LÀM RÕ

(Các câu hỏi của giảng viên phản biện)

1. Anh hãy cho biết lượng mát mát của bê tông geopolimer giảm theo thời gian nhưng cường độ lại tăng thì có hợp lý không?

### III. ĐÁNH GIÁ

TT	Mục đánh giá	Đánh giá	
		Đạt	Không đạt
1	Tính khoa học, rõ ràng, mạch lạc, khúc chiết trong luận văn	x	
2	Đánh giá việc sử dụng hoặc trích dẫn kết quả NC của người khác có đúng qui định hiện hành của pháp luật sở hữu trí tuệ	x	
3	Mục tiêu nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu sử dụng trong LVTN	x	
4	Tổng quan của đề tài	x	
5	Đánh giá về nội dung & chất lượng của LVTN	x	
6	Đánh giá về khả năng ứng dụng, giá trị thực tiễn của đề tài	x	

Đánh dấu chéo (x) vào ô muốn Đánh giá

### III. KẾT LUẬN

(Giảng viên phân biệt ghi rõ ý kiến “Tán thành luận văn” hay “Không tán thành luận văn”)

Tán thành luận văn

TP.HCM, ngày 21 tháng 7 năm 2019

**Người nhận xét**

(Ký & ghi rõ họ tên)



TS. Nguyễn Đình Hùng

(Mẫu số 2)

# LÝ LỊCH KHOA HỌC

(Dùng cho nghiên cứu sinh & học viên cao học)



## I. LÝ LỊCH SƠ LƯỢC:

Họ & tên: Trương Thanh Hùng  
Ngày, tháng, năm sinh: 04-7-1978  
Quê quán: H.Chợ Mới, T. An Giang

Giới tính: Nam  
Nơi sinh: T. An Giang  
Dân tộc: Kinh

Chức vụ, đơn vị công tác trước khi học tập, nghiên cứu: Chuyên viên của Ban Quản lý dự án đầu tư xây dựng và khu vực phát triển đô thị An Giang.

Chỗ ở riêng hoặc địa chỉ liên lạc: số 7D Lê Lai, phường Mỹ Bình, Tp. Long Xuyên, tỉnh An Giang.

Điện thoại cơ quan: 02963.854494      Điện thoại nhà riêng: 0918584972  
Fax: 02963.854705      E-mail: Thanhhungbqlag@gmail.com

## II. QUÁ TRÌNH ĐÀO TẠO:

### 1. Đại học:

Hệ đào tạo: Tại chức      Thời gian đào tạo từ năm 1997 đến năm 2002  
Nơi học (trường, thành phố): Trường Đại học Giao thông Vận tải cơ sở II, Tp.Hồ Chí Minh  
Ngành học: Xây dựng Cầu đường  
Tên đồ án, luận án hoặc môn thi tốt nghiệp: Thiết kế cầu bê tông cốt thép nhịp giản đơn  
Ngày & nơi bảo vệ đồ án, luận án hoặc thi tốt nghiệp: Tháng 12/2002, tại Trường Đại học Giao thông Vận tải cơ sở II, Tp. Hồ Chí Minh.  
Người hướng dẫn: Ngô Châu Phương

### 2. Thạc sĩ:

Hệ đào tạo: Chính qui, Thời gian đào tạo từ tháng 10/2017 đến tháng 4/2019  
Nơi học (trường, thành phố): Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật thành phố Hồ Chí Minh  
Ngành học: Kỹ thuật xây dựng công trình dân dụng và công nghiệp  
Tên luận văn: Nghiên cứu tăng cường khả năng chống ăn mòn trong môi trường axit cho bê tông Geopolymer bằng silicafume  
Ngày & nơi bảo vệ luận văn: Ngày 21/7/2019 tại trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật thành phố Hồ Chí Minh  
Người hướng dẫn: PGS.TS. Phan Đức Hùng

5. Trình độ ngoại ngữ (biết ngoại ngữ gì, mức độ): Anh Văn B1

6. Học vị, học hàm, chức vụ kỹ thuật được chính thức cấp; số bằng, ngày & nơi cấp:

## III. QUÁ TRÌNH CÔNG TÁC CHUYÊN MÔN KÈ TỪ KHI TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC:

Thời gian	Nơi công tác	Công việc đảm nhiệm
Năm 2003 - đến nay	Ban Quản lý dự án đầu tư xây dựng và khu vực phát triển đô thị An Giang	Chuyên viên

## IV. CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ:

XÁC NHẬN CỦA CƠ QUAN  
PHÓ GIÁM ĐỐC



*Trần Minh Đức*

Ngày 12 tháng 8 năm 2019  
Người khai ký tên

*Trương Thanh Hùng*

# LỜI CAM ĐOAN

Tôi cam đoan đây là công trình nghiên cứu của tôi.

Các số liệu, kết quả nêu trong luận văn là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

*Tp.HCM, ngày 17 tháng 6 năm 2019*

**Trương Thanh Hùng**

# CẢM TẠ

Sau hai năm học tập và nghiên cứu luận văn Thạc sĩ ngành kỹ thuật xây dựng công trình Dân dụng và Công nghiệp của Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật thành phố Hồ Chí Minh, được sự tận tình quan tâm, giảng dạy của quý Thầy, Cô giúp cho tác giả có được kiến thức để hoàn thành luận văn như ngày hôm nay.

Trước tiên, tác giả xin chân thành cảm ơn Ban Giám Hiệu, phòng Đào tạo sau đại học cùng toàn thể quý Thầy, Cô của khoa Xây dựng và Cơ học Ứng dụng đã rất tâm huyết giảng dạy, truyền đạt những kiến thức vô cùng quý giá trong suốt thời gian học tập và nghiên cứu.

Đặc biệt là Thầy PGS.TS. Phan Đức Hùng, tác giả vô cùng biết ơn sâu sắc. Vì Thầy đã tận tình giúp đỡ và chỉ bảo tôi xây dựng ý tưởng của đề tài ngay từ buổi ban đầu, để từ đó định hướng tên đề tài nghiên cứu cho phù hợp. Trong quá trình thực hiện Thầy thường xuyên quan tâm, giúp đỡ, hỗ trợ và truyền đạt hết tất cả những kinh nghiệm, những kiến thức trong và ngoài nước để làm hành trang cho tôi hoàn thành luận văn này.

Quá trình nghiên cứu thực hiện luận văn rất kỹ lưỡng, cùng sự hỗ trợ hướng dẫn của quý Thầy, tuy nhiên luận văn không tránh những thiếu sót. Tác giả rất mong nhận được sự góp ý kiến của quý Thầy, Cô để luận văn tôi hoàn thiện tốt hơn.

*Tp.HCM, ngày 17 tháng 6 năm 2019*

**Trương Thanh Hùng**

# TÓM TẮT

Luận văn là sự nối tiếp các công trình nghiên cứu trước đây và nhằm hiểu rõ hơn về một vật liệu geopolimer xanh có đặc tính kỹ thuật rất tốt, có khả năng chống ăn mòn theo thời gian khi tiếp xúc với axit bằng silicafume và mong muốn nó sẽ là vật liệu phát triển mạnh mẽ sau này. Ngoài tính thân thiện với môi trường do không sử dụng xi măng để làm nguyên vật liệu mà sử dụng các phụ phẩm của ngành công nghiệp như tro bay từ nhà máy nhiệt điện. Đề tài sử dụng bốn cấp phối bê tông geopolimer có hàm lượng silicafume từ 0 đến 15%. Các cấp phối bê tông Geopolymer được đúc với kích thước 100x200mm, sau khi tĩnh định 48 giờ sẽ được tháo khuôn và dưỡng hộ nhiệt ở 80<sup>0</sup>C trong 10 giờ và tĩnh định trong 24 giờ tiếp theo. Các mẫu được đo kích thước và cân lấy số liệu ban đầu trước khi ngâm hóa chất H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl với nồng độ lần lượt là 5% và 10%, nhằm thực hiện các chỉ tiêu để đánh giá khả năng chống ăn mòn theo thời gian. Sau các mốc thời gian 0 ngày (chưa ngâm hóa chất), 30 ngày, 60 ngày, 90 ngày, 120 ngày, ngâm mẫu với hóa chất bê tông Geopolymer được lấy ra đo lại kích thước, cân xác định khối lượng và nén để xác định cường độ chịu nén của mẫu theo thời gian tiếp xúc các loại dung dịch hóa chất gây ăn mòn.

Cường độ chịu nén của bê tông geopolimer hàm lượng từ 5 đến 15% silicafume thay thế tro bay đều có khuynh hướng tăng trong các dung dịch axit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10%, HCl 5%, HCl 10%. Kết quả thí nghiệm sau 90 ngày ngâm mẫu cho thấy khả năng duy trì cường độ chịu nén cao hơn so với bê tông geopolimer thông thường và khối lượng của mẫu bê tông geopolimer hàm lượng từ 5 đến 15% silicafume thay thế tro bay khi ngâm trong các dung dịch trên đều có khuynh hướng giảm ít hơn, điều này cho thấy bê tông geopolimer sử dụng hàm lượng silicafume thay thế tro bay hình thành dựa trên quá trình geopolimer hóa tạo ra các sản phẩm khó bị tác động bởi hóa chất. Trong các kết quả nghiên cứu, chỉ có bê tông geopolimer sử dụng 10% hàm lượng silicafume đạt cường độ và khả năng chống ăn mòn tốt hơn. Kết quả nghiên cứu này rất phù hợp cho các công trình làm việc trong điều kiện khác

nghiệt như ống cống, ống nước thải công – nông nghiệp, bể chứa hóa chất, nhà máy sản xuất phân bón.

## ABSTRACT

The current thesis is a continuation of previous studies and aims to better the understanding of a green geopolymer material with good technical properties, good corrosion resistance over time when being exposed to acid by silicafume and it is also expected to be a well-performed material in the future. In addition to being environmentally friendly and not using cement to make materials, instead industrial by-products such as fly ash from a thermal power plant are used. The topic uses four levels of geopolymer concrete with silicafume content containing from 0 to 15%. Geopolymer concrete mixtures are molded in 100x200mm dimensions, and after 48 hours static, the mold will be removed and thermally cured at 80<sup>0</sup>C for 10 hours and fixed for the next 24 hours. Samples were measured in size and weighed to take the initial data before soaking H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl with concentrations of 5% and 10%, in order to carry out the criteria to evaluate the corrosion resistance over time. After the timetines of 0-day (not soaked with chemicals), 30 days, 60 days, 90 days, 120 days, soaking samples with Geopolymer concrete chemicals were re-measured, weighed and compressed to identify the compressive strength of the sample over the time of contacting with corrosive chemical solutions.

The compressive strength of geopolymer concrete from 5 to 15% silicafume substitutes for fly ash all tends to increase in 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 5% HCl, 10% HCl. Experimental results after 90 days of immersion show that the ability to maintain compressive strength is higher than that of conventional geopolymer concrete and the volume of geopolymer concrete samples containing from 5 to 15% of silicafume replacing fly ash when soaking all of these solutions tend to decrease less, suggesting that geopolymer concrete uses silicafume substitutes for fly ash based on geopolymerization to produce products that are difficult to be affected by chemicals. In the results of the study, only geopolymer concrete using 10% of the silica content achieves the best strength and corrosion resistance. The results of this study is very



suitable for works in harsh conditions such as sewer pipes, industrial - agricultural waste water pipes, chemical storage tanks, fertilizer production plants.

# MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN .....	ix
CẢM TẠ .....	x
TÓM TẮT .....	xi
MỤC LỤC .....	i
MỤC LỤC HÌNH .....	v
MỤC LỤC BẢNG .....	vii
<b>Chương 1: TỔNG QUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Sự cần thiết của đề tài nghiên cứu .....	1
1.1.1. Ảnh hưởng môi trường.....	1
1.1.2. Bê tông geopolimer: .....	4
1.1.3 Ăn mòn bê tông.....	4
1.1.4. Các giải pháp chống ăn mòn bê tông .....	6
1.2 Tình hình nghiên cứu .....	7
2.1.1. Nghiên cứu trên thế giới.....	7
1.2.2 Nghiên cứu trong nước .....	8
1.3 Nhận xét tình hình nghiên cứu.....	9
1.4 Nội dung của đề tài nghiên cứu .....	10
1.5 Mục tiêu nghiên cứu .....	10
1.6 Nhiệm vụ nghiên cứu.....	10
1.7 Phương pháp nghiên cứu .....	11
1.8 Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài nghiên cứu .....	11

<b>Chương 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT .....</b>	<b>12</b>
2.1. Tro bay .....	12
2.2. Dung dịch hoạt hóa (Alkaline) .....	14
2.2.1 Dung dịch sodium hydroxit (NaOH) .....	14
2.2.2 Dung dịch Sodium Silicate (Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ) .....	15
2.3. Nước pha dung dịch NaOH .....	16
2.4. Quá trình Geopolymer hóa .....	16
2.5. Cơ chế hóa học của công nghệ geopolymer sử dụng tro bay .....	19
2.6. Ảnh hưởng của cấu trúc geopolymer đến cường độ bê tông .....	20
2.7. Ăn mòn bê tông .....	21
2.7.1 Các môi trường ăn mòn .....	21
2.7.2 Cơ chế của quá trình ăn mòn .....	22
2.7.2.1 Ăn mòn bê tông trong nước có chứa ion sulfate .....	23
2.7.2.2 Sự xâm nhập của ion clorua .....	24
2.7.2.3 Ăn mòn bê tông và bê tông cốt thép trong môi trường biển .....	25
2.7.2.4 Ăn mòn của nước thải công nghiệp .....	27
2.7.3 Tốc độ ăn mòn .....	28
2.7.4 Các loại tốc độ ăn mòn .....	29
2.8. Phụ gia Silica fume .....	29
2.8.1 Khái quát quá trình hình thành .....	29
2.8.2 Các đặc trưng lý hoá của silica fume .....	30

2.8.3	Cơ chế của quá trình hoạt động.....	30
2.8.4	Ảnh hưởng của silica fume đến các tính chất của bê tông.....	31
2.8.5	Ưu điểm việc sử dụng Silicafume trong bê tông .....	33
<b>Chương 3: NGUYÊN VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM .....</b>		<b>35</b>
3.1	Nguyên vật liệu.....	35
3.1.1	Tro bay .....	35
3.1.2	Dung dịch Sodium Hydroxyde (NaOH) .....	35
3.1.3	Dung dịch Sodium Silicate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) .....	36
3.1.4	Cốt liệu cát vàng .....	37
3.1.5	Cốt liệu đá .....	38
3.1.6	Silica fume .....	40
3.2	Thành phần cấp phối.....	41
3.2.1	Thành phần cấp phối .....	41
3.2.2	Phương pháp xác định thành phần cấp phối .....	42
3.3	Phương pháp thí nghiệm.....	44
3.3.1	Phương pháp tạo mẫu.....	44
3.3.2	Nhào trộn và đúc mẫu .....	44
3.3.3	Dưỡng hộ nhiệt và ngâm hóa chất .....	46
3.3.4	Cường độ chịu nén bê tông .....	49
<b>Chương 4: KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ.....</b>		<b>51</b>
4.1	Kiểm tra tổng thể bằng trực quan .....	51

4.2	Ảnh hưởng của hàm lượng silicafume đến cường độ chịu nén .....	53
4.3	Ảnh hưởng của hàm lượng silicafume thay thế tro bay và thời gian ngâm mẫu đến cường độ chịu nén của mẫu.....	55
4.4	Ảnh hưởng của hàm lượng silicafume thay thế tro bay và thời gian ngâm mẫu đến độ thay đổi khối lượng của mẫu .....	62
4.5	Cường độ chịu nén của cấp phối CP1, CP3 theo thời gian ngâm trong môi trường dung dịch H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> và HCl 10% .....	67
4.6	Độ thay đổi khối lượng của cấp phối CP1 (0%SF), CP3 (10%SF) theo thời gian ngâm trong môi trường dung dịch H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> và HCl 10%.....	70
<b>Chương 5: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN CỦA ĐỀ TÀI.....</b>		<b>73</b>
5.1	Kết luận.....	73
5.2	Hướng phát triển đề tài .....	74
DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO.....		76

## MỤC LỤC HÌNH

Hình 1.1 Nhà máy xi măng Vạn Ninh trong một lần xả khói bụi [1] .....	2
Hình 1.2 Khí thải từ các nhà máy nhiệt điện than gây ô nhiễm môi trường [2] .....	3
Hình 1.3 Ăn mòn bê tông cốt thép [4] .....	5
Hình 2.1 Sơ đồ hình thành Geopolymer .....	17
Hình 2.2 Sơ đồ mô phỏng sự hoạt hóa vật liệu aluminosilicate [21] .....	18
Hình 2.3 Hình ảnh SEM các trạng thái vi hạt của tro bay [22] .....	19
Hình 2.4 Sự tương tác của tro bay trong dung dịch hoạt hóa kiềm [8] .....	20
Hình 2.5 Cấu trúc chuỗi poly (sialates) Si-O-Al theo J.Davidovits [6] .....	21
Hình 2.6 Sự hình thành H <sub>2</sub> S và sự ăn mòn do quá trình oxy hóa H <sub>2</sub> S thành H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> [3]	24
Hình 3.1 Tro bay .....	35
Hình 3.2 Dung dịch sodium hydroxide NaOH ở dạng vảy khan và dung dịch .....	36
Hình 3.3 Dung dịch thủy tinh lỏng (Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> ) .....	36
Hình 3.4 Cát vàng .....	37
Hình 3.5 Biểu đồ thành phần hạt cát sử dụng .....	38
Hình 3.6 Đá 1x2 .....	38
Hình 3.7 Biểu đồ thành phần hạt đá dăm .....	39
Hình 3.8 Silicafume .....	41
Hình 3.9 Khuôn đúc mẫu .....	44
Hình 3.10 Máy trộn và cân nguyên vật liệu .....	45
Hình 3.11 Hỗn hợp sau khi trộn khô và đúc mẫu .....	45
Hình 3.12 Mẫu bê tông sau khi đúc và đánh số thứ tự .....	46

Hình 3.13	Dưỡng hộ nhiệt các mẫu bê tông Geopolymer bằng lò sấy .....	47
Hình 3.14	Hóa chất $H_2SO_4$ , HCl .....	48
Hình 3.15	Mẫu bê tông Geopolymer ngâm trong Axit .....	48
Hình 3.16	Mẫu bê tông Geopolymer được lấy ra khỏi dung dịch hóa chất.....	49
Hình 3.17	Thí nghiệm nén mẫu .....	50
Hình 3.18	Mẫu được nén phá hủy.....	50
Hình 4.1	Các mẫu bê tông geopolymer được lấy ra sau khi ngâm hóa chất sau thời gian 120 ngày .....	51
Hình 4.2	Mẫu bê tông geopolymer ngâm trong $H_2SO_4$ sau 120 ngày .....	52
Hình 4.3	Mẫu bê tông geopolymer ngâm trong HCl sau 120 ngày .....	53
Hình 4.4	Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và hàm lượng silicafume .....	54
Hình 4.5	Cường độ chịu nén theo thời gian ngâm mẫu trong các dung dịch. ....	59
Hình 4.6	Sự thay đổi khối lượng theo thời gian ngâm mẫu trong các dung dịch .....	66
Hình 4.7	Cường độ chịu nén của cấp phối CP1 (0%SF) theo thời gian ngâm trong môi trường dung dịch $H_2SO_4$ và HCl 10% .....	69
Hình 4.8	Cường độ chịu nén của cấp phối CP3 (10%SF) theo thời gian ngâm trong môi trường dung dịch $H_2SO_4$ và HCl 10% .....	69
Hình 4.9	Độ thay đổi khối lượng của cấp phối CP1 (0%SF) theo thời gian ngâm trong môi trường dung dịch $H_2SO_4$ và HCl 10% .....	71
Hình 4.10	Độ thay đổi khối lượng của cấp phối CP3 (10%SF) theo thời gian ngâm trong môi trường dung dịch $H_2SO_4$ và HCl 10% .....	72

## MỤC LỤC BẢNG

Bảng 2.1 Thành phần chính của tro bay theo ASTM C618-94a.....	13
Bảng 2.2 Thành phần vật lý của tro bay địa phương .....	13
Bảng 2.3 Thành phần hóa học của tro bay loại F [17].....	14
Bảng 3.1 Tỷ lệ thành phần dung dịch thủy tinh lỏng.....	36
Bảng 3.2 Thành phần hạt cát (trong 100 kg).....	37
Bảng 3.3 Thành phần hạt của đá (trong 100 kg).....	39
Bảng 3.4 Thành phần hóa học của silicafume .....	40
Bảng 3.5 Tính chất kỹ thuật của silicafume.....	40
Bảng 3.6 Thành phần cấp phối cho bê tông geopolymer.....	43
Bảng 4.1 Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén (MPa) .....	53
Bảng 4.2 Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén (MPa) .....	55
Bảng 4.3 Kết quả thí nghiệm sự thay đổi khối lượng mẫu (%) .....	62
Bảng 4.4 Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén (MPa) .....	68
Bảng 4.5 Độ thay đổi khối lượng của CP1, CP3 (%) .....	70



# **Chương 1: TỔNG QUAN**

## **1.1. Sự cần thiết của đề tài nghiên cứu**

Trong sự nghiệp công nghiệp hóa hiện đại hóa đất nước, ngành xây dựng ngày càng phát triển nhanh làm cho nhu cầu sử dụng xi măng làm chất kết dính rất lớn, tuy nhiên quá trình sản xuất xi măng sẽ tiêu tốn nguồn tài nguyên thiên nhiên và gây ô nhiễm môi trường. Vấn đề đặt ra làm thế nào để có một sản phẩm bê tông sử dụng vật liệu xanh, thân thiện với môi trường, giảm tối đa lượng khí thải CO<sub>2</sub> vào khí quyển.

### **1.1.1. Ảnh hưởng môi trường**

Hiện nay, cả nước có khoảng 13 nhà máy xi măng lò quay, 54 nhà máy xi măng lò đứng với tổng công suất thiết kế khoảng 23 triệu tấn/năm. Sản lượng xi măng hiện nay vẫn còn thiếu, hàng năm nước ta vẫn phải nhập khẩu khoảng 4 triệu tấn clinker. Để giảm lượng clinker nhập khẩu, tiến tới sản xuất đủ lượng xi măng đáp ứng nhu cầu sử dụng, ngoài việc xây dựng thêm các nhà máy xi măng mới thì việc nghiên cứu các nguồn phụ gia khoáng (PGK) cho sản xuất, nâng cao sản lượng và chất lượng xi măng ở Việt Nam là hết sức cần thiết. Theo bảng thống kê tình hình tiêu thụ lượng xi măng lớn ước tính vào năm 2020 nước ta tiêu thụ khoảng 95 triệu tấn/năm. Theo tính toán để sản xuất ra một tấn xi măng thì nhà máy sẽ thải ra môi trường xấp xỉ một tấn khí CO<sub>2</sub> sau những công đoạn nung nguyên liệu, khí này gây hiệu ứng nhà kính góp phần làm trái đất nóng lên. Khí CO<sub>2</sub> thải ra từ công nghiệp sản xuất xi măng chiếm khoảng 7% lượng CO<sub>2</sub> trên toàn thế giới. Không chỉ thế, đây còn quy trình sản xuất lãng phí nhiên liệu và năng lượng đáng kể để sản xuất 1 tấn xi-măng sẽ tiêu hao 100kw giờ điện. Quá trình nung nguyên liệu với nhiệt độ cao sẽ sử dụng than đá là chủ yếu - là loại nhiên liệu hóa thạch có hại với môi trường. Nhiệt độ của khí thải ở mức khá cao 250-370<sup>0</sup>C tùy thuộc từng công đoạn, nhưng đó là lượng nhiệt không được tận dụng .



*Hình 1.1 Nhà máy xi măng Vạn Ninh trong một lần xả khói bụi [1]*

Bên cạnh đó Việt Nam có 20 dự án nhà máy nhiệt điện than đang hoạt động với tổng công suất 14.675 MW, tiêu thụ khoảng 40 triệu tấn than/năm. Nhiều vấn đề môi trường trong quá trình xây dựng và vận hành nhà máy nhiệt điện than như bụi, khí thải (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>...), nước làm mát có nhiệt độ đầu ra cao hơn đầu vào khoảng 7<sup>0</sup>C, ảnh hưởng đáng kể tới hệ sinh thái.

Cụ thể, với 20 nhà máy nhiệt điện (NMNĐ) than đang vận hành có tổng công suất khoảng 14.675 MW, lượng nhiên liệu tiêu thụ khoảng 40 triệu tấn than/năm sẽ phát sinh lượng tro, xỉ thải khoảng 15,8 triệu tấn (trong đó khoảng 80-85% tro bay và 15-20% xỉ đáy lò). Theo thống kê, năm 2016 tổng lượng tro, xỉ phát sinh vào khoảng hơn 15,7 triệu tấn/năm. Tổng lượng tro, xỉ, thạch cao thải ra từ các nhà máy nhiệt điện mới tiêu thụ được khoảng 25-30% tổng lượng thải ra. Việc lưu trữ tro, xỉ tại bãi thải có thể gây ra các tác động tới môi trường như rò rỉ nước từ bãi thải xỉ, chiếm diện tích lớn để lưu giữ, dễ phát tán bụi kích thước nhỏ, các thành phần trong tro, xỉ có thể gây ô nhiễm nước mặt, nước ngầm...[2]

Như vậy tính đến năm 2023, Việt Nam sẽ có 43 nhà máy nhiệt điện, tiêu thụ khoảng 110 triệu tấn than và thải ra khoảng 29 triệu tấn tro xỉ/năm, lượng tro xỉ thải ra một phần nằm lại dưới lò, những hạt rất nhỏ bị cuốn theo khí từ những ống nhà máy thải ra môi trường một lượng rất lớn. Theo tính toán các nhà máy xi măng có thể tiêu thụ khoảng 2-3 triệu tấn tro bay/năm, các công trình bê tông đầm lăn có thể sử dụng 01 triệu tấn tro bay/ năm; các đơn vị sản xuất vật liệu xây không nung (VLXKN) cũng có thể sử dụng 01 triệu tấn và cùng các nhu cầu khác, đảm bảo tiêu thụ 6-8 triệu tấn trong số 11 triệu tấn tro bay mỗi năm hiện nay. Xét về tiềm năng, trong vòng từ 3-5 năm tới các đơn vị trong nước có khả năng sử dụng tối thiểu 5-6 triệu tấn tro bay/năm làm VLXD, tuy nhiên con số này rất thấp so với 29 triệu tấn thải ra từ các nhà máy nhiệt điện tính đến năm 2023. Như vậy, với nhu cầu sử dụng như trên thì lượng tro xỉ thải ra ở các NMNĐ ngày càng nhiều gây ùn ứ, ô nhiễm môi trường, ảnh hưởng cuộc sống con người.



*Hình 1.2 Khí thải từ các nhà máy nhiệt điện than gây ô nhiễm môi trường [2]*

Trước tình hình giảm thiểu ô nhiễm môi trường từ việc sản xuất xi măng và sử dụng các phế phẩm từ nhà máy nhiệt điện, các nhà nghiên cứu đã tìm ra được một loại chất kết dính khác thay thế xi măng Portland trong bê tông truyền thống đó là Geopolymer.

### **1.1.2. Bê tông geopolimer:**

Bê tông Geopolymer là loại bê tông không sử dụng chất kết dính xi măng Portland mà sử dụng chất kết dính kiềm hoạt hóa (chất kết dính geopolimer) với các loại vật liệu có chứa hàm lượng lớn hợp chất silic và nhôm.

Geopolymer là loại vật liệu kết dính polymer vô cơ tổng hợp từ vật liệu có nguồn gốc aluminosilicate, được phát triển đầu tiên nhờ nhà khoa học người Pháp J.Davidovits từ những năm 1970 . Phản ứng Geopolymer hóa là một phản ứng hóa học diễn ra giữa các oxit của nhôm và silic với dung dịch có tính kiềm mạnh để tạo ra các mạch có cấu trúc ba chiều rắn chắc chứa các liên kết Si-O-Al. Phản ứng geopolimer hóa diễn ra dưới áp suất khí quyển ở nhiệt độ dưới 100°C. Sản phẩm geopolimer cuối cùng được tạo ra sẽ được đặc trưng bởi nhiều yếu tố liên quan đến thành phần hóa học của các nguyên liệu và dung dịch kiềm kích hoạt.

Bê tông Geopolymer đã và đang được nghiên cứu rộng rãi và cho thấy khả năng là vật liệu xanh để thay thế bê tông xi măng, do bê tông geopolimer vừa có các tính chất kỹ thuật tốt, giảm khả năng gây hiệu ứng nhà kính.

Việc sử dụng bê tông truyền thống cũng như bê tông Geopolymer đều bị hư hỏng, một trong những yếu tố gây hư hỏng công trình trong quá trình sử dụng là bị ăn mòn.

### **1.1.3 Ăn mòn bê tông**

Bê tông xi măng sau khi đã cứng rắn bao gồm hai thành phần: Đá xi măng và bộ khung cốt liệu. Hai thành phần này liên kết với nhau tạo thành một khối vững chắc và có khả năng chịu lực. Khi bê tông sử dụng trong môi trường có tác động xâm thực, nếu không có những biện pháp bảo vệ nó sẽ bị ăn mòn. Trước hết là thành phần đá xi măng bị phá hoại vì nó dễ bị ăn mòn hơn cốt liệu. Khi đá xi măng bị ăn mòn thì liên kết giữa đá xi măng với cốt liệu cũng bị phá hoại và cuối cùng bê tông bị phá hủy.

Bê tông bị ăn mòn và phá hoại trong nhiều môi trường khác nhau như môi trường rắn, lỏng, khí, trong đó môi trường lỏng như nước thải bản, nước thải của các nhà máy, tập đoàn và xí nghiệp công nghiệp, nước biển, đất nhiễm phèn chua rất phổ biến.

Trong nước thải bản có nhiều abumin do xác súc vật chết, thối rữa, thức ăn thừa, nhiều hợp chất hữu cơ, vô cơ có chứa lưu huỳnh, một loại vi sinh yếm khí phân huỷ chung, chỉ sau một đêm biến thành hydro sulfua ( $H_2S$ ), sau vài giờ bốc lên không khí.  $H_2S$  là khí có khả năng ôxy hoá rất mạnh. Trong đường ống chứa nước thải được chế tạo bằng xi măng Portland, khí  $H_2S$  bốc lên ngưng tụ vào bê tông và bị ôxy hoá biến thành acid  $H_2SO_4$ . Acid làm mủn bê tông, rơi xuống thành bùn. [3]

Theo số liệu của thế giới, với nồng độ  $H_2SO_4$  từ 80-300 phần triệu, sau 7 năm, bê tông xi măng Portland bị phá huỷ 5cm [3]. Khi lớp xâm thực tiến đến lớp cốt thép phía trong bê tông, lớp cốt thép nhanh chóng bị phá huỷ, và bê tông bị sập, đổ, vỡ.



*Hình 1.3 Ăn mòn bê tông cốt thép [4]*

Trong môi trường biển bê tông bị ăn mòn, hư hỏng nặng hoặc bị phá hủy chỉ sau 10 – 30 năm sử dụng. Hầu hết các kết cấu này trong quá trình làm việc đều tiếp xúc với môi trường không khí và nước biển, giữa vật liệu và môi trường luôn xảy ra các tác động qua lại và bản thân bê tông luôn thay đổi trạng thái cấu trúc.

Tác động xâm thực của môi trường biển tới độ bền công trình bê tông và bê tông cốt thép: Quá trình cacbonat hóa làm giảm nồng độ pH của bê tông theo thời gian, làm vỡ màng thụ động có tác dụng bảo vệ cốt thép, đẩy nhanh quá trình ăn mòn cốt thép dẫn đến phá hủy kết cấu; quá trình ăn mòn sunfat do việc thẩm ion  $\text{SO}_4^{2-}$  vào bê tông, tương tác với các sản phẩm thủy hóa của xi măng tạo ra khoáng Ettringit trương nở thể tích gây phá hủy kết cấu; quá trình khuếch tán oxy, ion  $\text{Cl}^-$  và hơi ẩm vào bê tông trong điều kiện nhiệt độ không khí cao; quá trình ăn mòn sinh vật, ăn mòn cơ học do sóng, ăn mòn rửa trôi.

Để bê tông bền vững trong môi trường xâm thực cần có những giải pháp đảm bảo tính ổn định, lâu dài cho công trình .

#### **1.1.4. Các giải pháp chống ăn mòn bê tông**

Sử dụng chất tạo màng như Urethan, Neopren, Epoxy mặt ngoài công trình để bảo vệ kết cấu bê tông không cho xâm thực.

Sử dụng xi măng bèn sunfat bằng cách hạn chế thành phần khoáng  $\text{C}_3\text{A}$  trong xi măng.

Sử dụng phụ gia chứa  $\text{SiO}_2$  cao (Silicafume) là loại phụ phẩm công nghiệp, giảm hiệu ứng nhà kính, tăng cấu trúc đặc chắc bê tông, ngăn cản sự khuếch tán các ion xâm nhập, lấp đầy lỗ rỗng, chống tác nhân xâm thực gây ăn mòn bê tông.

Các giải pháp chống ăn mòn trên, thì giải pháp sử dụng phụ gia Silicafum có những tính chất sau:

Silicafume (hay muội silic) là sản phẩm phụ của công nghiệp luyện kim (công nghệ sản xuất silic và hợp chất silic) . Muội silic có kích thước rất nhỏ từ 0,1 đến vài  $\mu\text{m}$ , nó có khả năng xâm nhập vào mọi khoảng trống để lấp đầy giữa các

hạt xi măng và làm tăng mật độ cũng như ngăn nước cho bê tông, cải thiện một số tính chất cho bê tông như:

- Bảo vệ bê tông chống ăn mòn
- Tăng độ cứng và đặc chắc bê tông
- Tăng cường độ chịu nén, cường độ uốn và độ đồng nhất tốt
- Chống lại sự thay đổi thể tích tốt

Silicafume là loại sản phẩm phụ gia bền Sunfat, kháng axit, chống ăn mòn Clorua. Bê tông xi măng truyền thống đáp ứng được các yêu cầu tự nhiên, tuy nhiên trong môi trường axit chất kết dính của bê tông truyền thống bị phân hủy do đó việc sử dụng Silicafume là để bảo vệ bê tông không bị ăn mòn, kéo dài tuổi thọ sử dụng bê tông. [5]

Việc nghiên cứu chống ăn mòn bê tông geopolymer để đưa vào ứng dụng trong thực tiễn, đã có nhiều nghiên cứu trên thế giới và trong nước về bê tông geopolymer, về cơ chế ăn mòn, về phụ gia silicafume.

## **1.2 Tình hình nghiên cứu**

### **2.1.1. Nghiên cứu trên thế giới**

J.Davidovits, đã nghiên cứu xi măng polymer bằng cách kết hợp nguyên liệu sét vốn được cấu tạo chủ yếu từ dioxit silic, oxit nhôm và dung dịch kiềm hoạt tính cao, tạo thành chất kết dính vô cơ mới có khả năng đóng rắn nhanh và cho cường độ ban đầu rất tốt. [6]

D.Hardjito và B.V.Rangan, đã nghiên cứu về quá trình phát triển và những đặc tính của bê tông Geopolymer sử dụng tro bay có hàm lượng canxi thấp. Kết quả cho thấy bê tông Geopolymer có cường độ nén tốt, ít co ngót, kháng sunfat và axit, chi phí sản xuất 2,5m<sup>3</sup> bê tông Geopolymer sử dụng khoảng 01 tấn tro bay rẻ hơn so với chi phí 01 tấn xi măng portland và được sử dụng trong nhiều ứng dụng cơ sở hạ tầng. [7]

H.Kamarudin và cộng sự, đã nghiên cứu cơ chế và phản ứng hóa học của tro bay và dung dịch kiềm hoạt hóa để tạo ra xi măng Geopolymer gồm 3 bước giải thể, định hướng và làm cứng, từ đó đánh giá một bước quan trọng cho việc thay thế xi măng trong sản xuất ngành công nghệ gốm.[8]

L.Krishnan và cộng sự, đã nghiên cứu bê tông Geopolymer là sản phẩm thân thiện với môi trường. Kết quả nghiên cứu cho thấy bê tông vẫn tăng cường độ trong 24 giờ ở nhiệt độ môi trường mà không cần bảo dưỡng nước.[9]

B.V.Rangan, đã nghiên cứu bê tông Geopolymer bảo vệ môi trường. Kết quả nghiên cứu bê tông có cường độ chịu nén tốt và mất khối lượng khoảng 3% khi ngâm trong axit sunfuric với nồng độ 2%, 1%, 0,5% sau thời gian 01 năm .[10]

D.Hardjito, đã nghiên cứu bê tông Geopolymer sử dụng tro bay, cho thấy thời gian đóng rắn để tăng cường độ nhanh hơn bê tông thường, các tính chất đàn hồi của bê tông gốc tro bay cứng, môđun đàn hồi, tỷ lệ poisson, độ bền kéo gián tiếp tương tự như bê tông xi măng thông thường .[11]

A.Allahverdi và F.Skvara đã trình bày cơ chế ăn mòn của axit sulfuric đối với vữa Geopolymer cũng như khả năng chống ăn mòn của vữa Geopolymer khi chịu tác dụng của axit ở nồng độ cao và nồng độ thấp.[12]

X.J.Song và cộng sự, đã nghiên cứu bê tông Geopolymer sử dụng tro bay khi được ngâm trong axit Sunfuric 10% trong thời gian 56 ngày điều kiện bảo dưỡng ở nhiệt độ 23 hoặc 70<sup>0</sup>C, cho kết quả mất khối lượng dưới 3%, cấu trúc bê tông còn nguyên vẹn đảm bảo khả năng chịu tải [13]

### **1.2.2 Nghiên cứu trong nước**

Ở Việt nam, từ những năm 2008 đã có nhiều đề tài khoa học nghiên cứu và ứng dụng công nghệ geopolymer này. Một trong những thành tựu đó là xác định được độ bền của bê tông geopolymer trong môi trường xâm thực.



Nguyễn Văn Dũng, đã nghiên cứu chế tạo bê tông Geopolymer từ tro bay và các yếu tố ảnh hưởng đến cường độ của bê tông geopolymer như mô đun silicat, nhiệt độ, thời gian dưỡng hộ và lượng nước trộn.[14]

Phan Đức Hùng và Lê Anh Tuấn, đã nghiên cứu ảnh hưởng của sợi polypropylene và silicafume đến cường độ chịu nén của bê tông. Việc sử dụng silicafume thay thế 5-10% khối lượng xi măng giúp cải thiện cường độ chịu nén của bê tông và sử dụng kết hợp silicafume với hàm lượng sợi polypropylene cũng cho cường độ chịu nén cao hơn mẫu đối chứng .[15]

Đình Anh Tuấn và Nguyễn Mạnh Trường đã nghiên cứu thực trạng ăn mòn và phá hủy các công trình bê tông cốt thép bảo vệ bờ biển ở Việt Nam cao hơn nhiều nước trên thế giới do nhiệt độ, độ ẩm không khí cao, thời gian ẩm ướt lớn, nồng độ muối  $Cl^-$  cao, nước và cốt liệu có nhiễm mặn. đề xuất các công nghệ chống ăn mòn như khử muối, tái kiềm, bơm ép xi măng, phun khô bê tông.[16]

Phan Đức Hùng đã nghiên cứu xác định độ bền của bê tông geopolymer trong các môi trường xâm thực. Kết quả cho thấy khả năng duy trì cường độ chịu nén của bê tông geopolymer trong 3 loại hóa chất  $NaCl$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $HCl$  có nồng độ 10%, khối lượng mẫu tăng nhẹ sau 24 tuần ngâm mẫu trong dung dịch  $Na_2SO_4$  và giảm trong dung dịch động  $HCl$ . Bê tông geopolymer có thể làm việc tốt trong môi trường tồn tại hóa chất vì có khả năng kháng xâm thực cao .[17]

### **1.3 Nhận xét tình hình nghiên cứu**

Các bài viết, bài báo và báo cáo nghiên cứu khoa học đã trình bày chi tiết và đầy đủ về bê tông geopolymer. Qua đó có thể hiểu rõ hơn về vật liệu mới thân thiện với môi trường, cơ chế phản ứng geopolymer hóa từ các nguyên liệu giàu oxit silic, oxit nhôm (Tro bay...) và dung dịch kiềm hoạt hóa, quá trình ăn mòn bê tông trong môi trường xâm thực, phụ gia Silicafume .

Tuy nhiên, hiện vẫn chưa có nghiên cứu nào trình bày rõ về việc tăng cường khả năng chống ăn mòn bê tông geopolymer trong môi trường axit bằng Silicafume.

#### **1.4 Nội dung của đề tài nghiên cứu**

Đề tài “**Nghiên cứu tăng cường khả năng chống ăn mòn trong môi trường axit cho bê tông geopolimer bằng silicafume**” đã và đang tiếp nối quá trình nghiên cứu về vật liệu bê tông geopolimer để tạo ra sản phẩm xanh thân thiện môi trường và có khả năng chống lại tác nhân gây ăn mòn.

Nội dung của đề tài là nghiên cứu về khả năng chống ăn mòn bê tông geopolimer trong môi trường axit bằng silica fume. Qua đó có thể vận dụng vào các công trình thực tế của sản phẩm này như đường ống, bể chứa dầu khí, đường ống xử lý nước thải, nhà máy sản xuất phân bón, hệ thống xử lý nước thải công – nông nghiệp, bể chứa hóa chất...

#### **1.5 Mục tiêu nghiên cứu**

Nghiên cứu tăng cường khả năng chống ăn mòn theo thời gian trong các môi trường axit HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> cho bê tông geopolimer bằng silicafume.

#### **1.6 Nhiệm vụ nghiên cứu**

Xác định tính chất kỹ thuật của silicafume trong thành phần chính của cấp phối bê tông geopolimer.

Xác định thành phần cấp phối bê tông geopolimer đối chứng, thành phần cấp phối bê tông geopolimer có hàm lượng silica fume thay thế tro bay.

Xác định khả năng chống ăn mòn theo thời gian trong môi trường axit HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> cho bê tông geopolimer khi thay thế hàm lượng silicafume với tro bay.

Vẽ biểu đồ so sánh, đánh giá về cường độ chịu nén và khả năng chống ăn mòn theo thời gian trong môi trường axit HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> cho bê tông geopolimer khi thay thế hàm lượng silicafume với tro bay so với bê tông geopolimer đối chứng.

Vẽ biểu đồ so sánh, đánh giá về cường độ chịu nén và mức độ ăn mòn theo thời gian trong hai môi trường axit HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> với nồng độ cao cho bê tông

geopolymer đối chứng và bê tông geopolymer có hàm lượng silicafume thay thế tro bay ở mức tốt nhất.

### **1.7 Phương pháp nghiên cứu**

Nghiên cứu kết hợp giữa lý thuyết và thí nghiệm.

### **1.8 Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài nghiên cứu**

Đề tài nghiên cứu nhằm bổ sung và hoàn chỉnh thêm kiến thức lý thuyết, thực nghiệm về bê tông geopolymer. Bên cạnh đó còn tìm hiểu các tác nhân gây ra ăn mòn để có biện pháp xử lý tăng cường khả năng chống ăn mòn, nhằm tạo điều kiện làm việc tốt nhất cho bê tông geopolymer.

Kết quả nghiên cứu là các sản phẩm xây dựng góp phần làm giảm thiểu trữ lượng phế thải công nghiệp, tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên, bảo vệ môi trường và giảm đáng kể hiệu ứng nhà kính.

## Chương 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Dựa trên cơ sở lý thuyết về bê tông geopolymer sử dụng nguyên liệu giàu oxit silic, oxit nhôm (Tro bay) và dung dịch kiềm hoạt hóa. Trên cơ sở đó xem xét quá trình geopolymer hóa, cơ chế và tác nhân gây ăn mòn chủ yếu đối với sản phẩm này để có giải pháp sử dụng loại phụ gia cho phù hợp.

### 2.1. Tro bay

Tro bay (Fly Ash) là phần hạt mịn thu được trong quá trình đốt than khô dạng bột trong các nhà máy nhiệt điện. Than được dịch chuyển tới vùng có nhiệt độ cao làm nóng chảy các chất trong thành phần than, sau đó được chuyển sang vùng có nhiệt độ thấp hơn rồi bị đóng rắn thành các hạt có dạng hình cầu. Một vài khoáng được tích tụ thành tro nằm dưới đáy, nhưng phần lớn điều theo dòng khí thoát ra ngoài theo ống khói sau đó được gom lại bằng thiết bị lọc bụi tĩnh điện. Sản phẩm này dùng để chế tạo bê tông cường độ cao. Hạt có dạng hình cầu, kích thước từ 1-100 $\mu\text{m}$ , nhưng phần lớn điều nhỏ hơn 20 $\mu\text{m}$ .

Thành phần hóa và khoáng của tro bay được tạo nên bởi nhiều thành phần không đồng nhất tồn tại ở hai dạng: vô định hình và kết tinh. Theo tiêu chuẩn ASTM C618-94a [18], tro bay được phân thành 3 loại sau:

Loại N: do các chất bùn, đá phiến sét bị đốt cháy tạo thành.

Loại F: là sản phẩm của quá trình đốt cháy than bitum và than anthracite trong nhà máy nhiệt điện, có hàm lượng than chưa cháy từ 2 – 10%. Tro bay loại này có tính chất gần giống puzzoland (phụ gia thủy vô cơ hoạt tính). Hàm lượng CaO trong loại này thường nhỏ hơn 10%.

Loại C: có tính chất gần giống như trong bay class F nhưng là sản phẩm thu được từ việc than non (lignit) bị đốt cháy, hàm lượng than chưa cháy thường ít hơn

2%. Hàm lượng CaO trong loại này thường lớn hơn 10%. Loại tro bay này chất lượng cao nhưng khó sản xuất.

Bảng 2.1 Thành phần chính của tro bay theo ASTM C618-94a

Thành phần hóa học (%)	Loại N	Loại F	Loại C
Min ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ )	70	70	50
Max $\text{SO}_3$	4	5	5
Max (lượng mất khi nung)	10	6	6
Max (CaO)	5	10	30

Tro bay dùng cho thí nghiệm được lấy từ các cơ sở thu gom ở các nhà máy nhiệt điện hoặc các cơ sở đốt than đá. Vật liệu được chia nhỏ ra vào các túi nilon và cất giữ vào thùng chứa ngăn nắp hợp lý để thuận tiện cho quá trình sử dụng.

Để bảo đảm chất lượng và các chỉ tiêu cơ hóa lý của tro bay, cần phải bảo quản cẩn thận tránh tiếp xúc trực tiếp với ánh nắng mặt trời và nơi ẩm ướt, nơi có độ ẩm cao.

Bảng 2.2 Thành phần vật lý của tro bay địa phương

Thành phần vật lý thí nghiệm	Khối lượng riêng ( $\text{g/cm}^3$ )	Hàm lượng lọt sàng 0.05 mm (%)	Chỉ số hoạt tính cường độ sau 28 ngày (%)	Chỉ số hoạt tính cường độ sau 7 ngày (%)	Lượng mất sau khi nung (g)
Tro bay Formosa	2.4	93.5	90.7	79.6	1.0
Tro bay Phả Lại	2.74	88.0	85.0	78.5	4.76

Tro bay địa phương có các thành phần hóa học như sau

Bảng 2.3 Thành phần hóa học của tro bay loại F [17]

Thành phần hoá học	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	MgO	SO <sub>3</sub>	MKN(*)
% khối lượng	51.7	31.9	3.48	1.21	1.02	0.81	0.25	9.63

(\*) MKN : *mất khi nung*

Trong quá trình hydrat hóa tro bay thì tro bay sẽ tác dụng với Canxi hidroxit tạo ra Canxi Silicat và Canxi aluminat, do đó giảm đi hiện tượng thấm Canxi hidroxit (Ca(OH)<sub>2</sub>) vào trong bê tông và tăng khả năng chống thấm bê tông, cải thiện được chất lượng bê tông.

## 2.2. Dung dịch hoạt hóa (Alkaline)

Dung dịch hoạt hóa còn gọi là dung dịch Alkaline là sự kết hợp giữa sodium hydroxide (NaOH) và sodium silicate (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>), được sử dụng trong quá trình Polymer hóa là sự kết hợp của các dung dịch Natri hidroxit (NaOH) hay Kali hidroxit (KOH) với thủy tinh lỏng (R<sub>2</sub>.nSiO<sub>2</sub>) (R là Na thì n = 2,5 – 3,2 nếu R là K thì n = 3 - 4).

Phản ứng Alkaline là phản ứng giữa chất kiềm với cốt liệu. Trong đó, tro bay, dung dịch sodium hidroxit, sodium silicat đóng vai trò rất quan trọng để tạo quá trình geopolymer hóa.

### 2.2.1 Dung dịch sodium hidroxit (NaOH)

Dung dịch sodium hidroxit là dung dịch NaOH sử dụng làm chất hoạt hóa kiềm pha với dung dịch thủy tinh lỏng Natri silicat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) hoặc Kali silicat (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>). Hỗn hợp này phản ứng với tro bay làm tan rã các thành phần khoáng của tro bay.

Quá trình phản ứng chúng tách ion  $Al^{3+}$  và  $Si^{4+}$  trong dung dịch Natri hydroxit (NaOH) cũng như dung dịch KOH. Do đó dung dịch kiềm khử Nhôm và Silic trong các hạt tro bay từ đó quyết định cường độ cũng như độ cứng của Geopolymer, giúp tăng tốc độ phản ứng và làm gel tạo ra sẽ dẻo hơn.

Dung dịch sodium hydroxit NaOH, độ tinh khiết cần phải đạt mức trên 90%. Yêu cầu cần phải xác định trước nồng độ dung dịch cần thiết để từ đó pha trộn dung dịch với nồng độ Mol đúng nhất từ công thức xác định nồng độ Mol, từ đó suy ra được khối lượng NaOH khan cần pha trộn vào dung dịch.

$$m_{NaOH} = \frac{C_M \times M \times V_{dd} \times 100}{1000 \times P}$$

Trong đó

- $m_{NaOH}$  là khối lượng NaOH khan cần cho vào
- M là khối lượng Mol của NaOH (M=40)
- $V_{dd}$  là thể tích dung dịch cần pha trộn
- P là độ tinh khiết của dung dịch NaOH lấy bằng 99%

### 2.2.2 Dung dịch Sodium Silicate ( $Na_2SiO_3$ )

Dung dịch thủy tinh lỏng ( $Na_2SiO_3$ ) là dung dịch có màu trắng đục, có đặc tính sệt, sánh, dễ dàng hòa tan trong nước. Thủy tinh lỏng là một dung dịch có khả năng tác dụng với nhiều chất ở dạng rắn, lỏng, khí. Thủy tinh lỏng dễ bị các axit phân hủy ngay cả carbonic acid và tách ra kết tủa keo đông tụ silicic acid.

Dung dịch  $Na_2SiO_3$  đóng vai trò quan trọng trong quá trình phản ứng Geopolymer. Tốc độ xảy ra phản ứng cao khi dung dịch kiềm kích hoạt chứa các ion silicat hòa tan trong dung dịch. Dung dịch thủy tinh lỏng trong dung dịch kiềm kích hoạt sẽ giúp quá trình tan rã các hạt tro bay xảy ra nhanh hơn.

### 2.3. Nước pha dung dịch NaOH

Nước dùng pha loãng NaOH khan phải đảm bảo không chứa các thành phần hóa học tạp chất để không ảnh hưởng xấu đến thời gian đóng rắn của bê tông Geopolymer và phải đáp ứng các chỉ tiêu theo TCVN 4506:2012 [19].

### 2.4. Quá trình Geopolymer hóa

Davidovits (1978) đã dùng thuật ngữ Geopolymer để giới thiệu loại polymer mới được tổng hợp từ các khoáng vật thuộc Aluminoilicate. Thành phần chủ yếu của Geopolymer là các nguyên tố giàu  $\text{Si}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  và  $\text{O}^{2-}$  có nguồn gốc từ khoáng sản tự nhiên (đất sét, cao lanh, đá fenpat... ) hoặc sản phẩm từ sản xuất (tro bay, xỉ lò cao). Vật liệu Geopolymer khác với vật liệu polymer thông thường ở cấu trúc mạng không gian vô định hình.

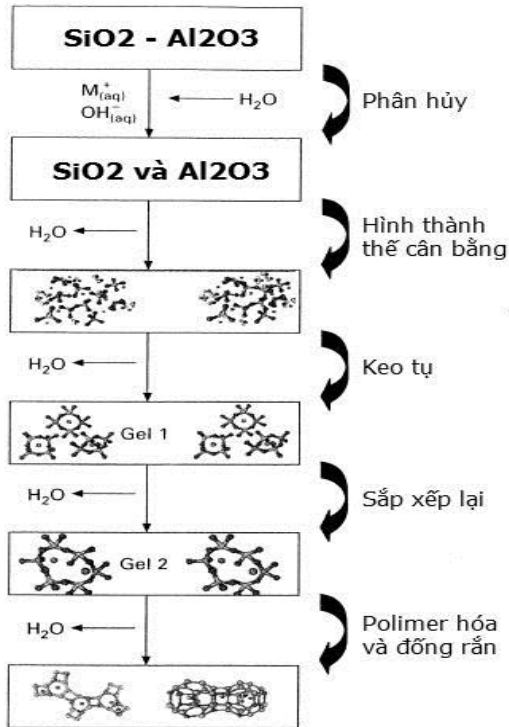
Cấu trúc vô định hình của Geopolymer cơ bản được tạo thành từ lưới cấu trúc của những Alumino-Silico hay còn gọi là Poly-sialate (Sialate là viết tắt của Silic-Oxy- Nhôm), các cầu nối -Si-O-Al- tạo thành các bộ khung không gian vững chắc bên trong cấu trúc. Khung Sialate bao gồm những tứ diện  $\text{SiO}_4$  và  $\text{AlO}_4$  được nối xen kẽ với nhau bằng các nguyên tố Oxy. Những ion dương ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ ) phải có trong khung để cân bằng điện tích của  $\text{Al}^{3+}$

Quá trình tổng hợp để tạo thành vật liệu Geopolymer gọi là quá trình Geopolymer hóa các nguyên vật liệu aluminosilicate ban đầu nhờ vào các dung dịch hoạt hóa kiềm. Quá trình hoạt hóa kiềm cho các vật liệu aluminosilicate là một quá trình phức tạp và đến nay vẫn chưa được mô tả một cách rõ ràng. Các bước phản ứng không diễn ra tuần tự mà diễn ra cùng lúc và chồng lấp vào nhau. Do đó, rất khó phân biệt cũng như khảo sát các bước phản ứng một cách riêng biệt [20].

Phản ứng hóa học của quá trình geopolymer diễn ra theo 1 trong 2 cách sau:  
[6]







Hình 2.2 Sơ đồ mô phỏng sự hoạt hóa vật liệu aluminosilicate [21]

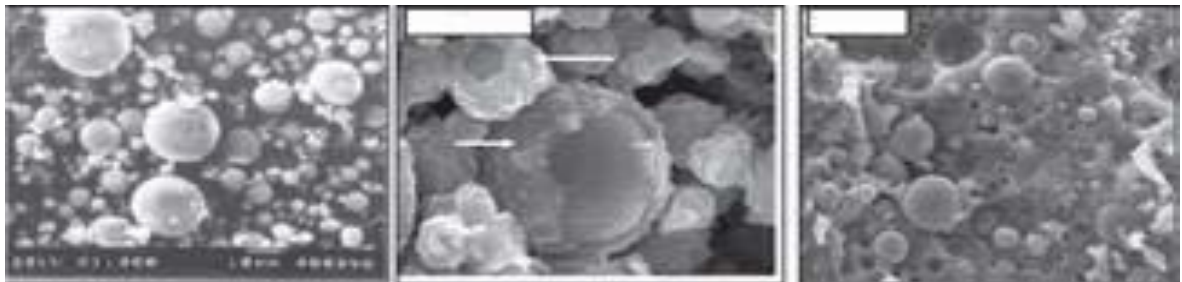
Aluminosilicat rắn hòa tan trong dung dịch kiềm sinh ra những dạng hợp chất silicat và hợp chất nhôm. Chính sự hòa tan của các phân tử hạt rắn trên bề mặt đã giải phóng ra những hợp chất silicat và hợp chất nhôm này vào trong dung dịch. Đây là cơ chế chuyển hóa của những phân tử rắn khi tham gia vào quá trình geopolymer hóa.

Những hợp chất được giải phóng khỏi bề mặt hạt rắn bằng cách hòa tan trong dung dịch thì lại kết hợp với nhau trong pha lỏng. Một hỗn hợp của các chất silicate, aluminate và aluminosilicate được tạo thành. Những hợp chất aluminosilicate vô định hình hòa tan nhanh chóng ở môi trường có pH cao và tạo ra dung dịch aluminosilicate quá bão hòa. Khi dung dịch trở nên đậm đặc hơn thì các gel oligomer bắt đầu sinh ra và trở thành một mạng lưới lớn khi dung dịch càng cô đặc. Quá trình này còn giải phóng ra nước trong quá trình hòa tan. Nước đóng vai trò chất trung gian phản ứng nhưng nước được giải phóng ra lại tồn tại bên trong của gel. Loại cấu trúc gel này có hai pha là chất rắn aluminosilicate và nước.

Thời gian để dung dịch aluminosilicate quá bão hòa tạo thành gel sẽ khác nhau đối với các loại vật liệu ban đầu, quá trình phản ứng, thành phần dung dịch và điều kiện tổng hợp khác nhau. Sau khi tạo thành gel, hệ thống tiếp tục tổ chức lại và mạng lưới gel ngày càng gia tăng, kết quả là tạo thành mạng lưới aluminosilicate ba chiều.

## 2.5. Cơ chế hóa học của công nghệ geopolimer sử dụng tro bay

Trong công nghệ geopolimer sử dụng tro bay thì tốc độ phản ứng kích hoạt cũng như các vi cấu trúc và thành phần hóa học của các sản phẩm phản ứng phụ thuộc vào nhiều yếu tố như sự phân bố kích thước hạt và thành phần khoáng chất của tro bay ban đầu, dung dịch kích hoạt và thời gian hằng nhiệt [22]



(a)

(b)

(c)

Hình 2.3 Hình ảnh SEM các trạng thái vi hạt của tro bay [22]

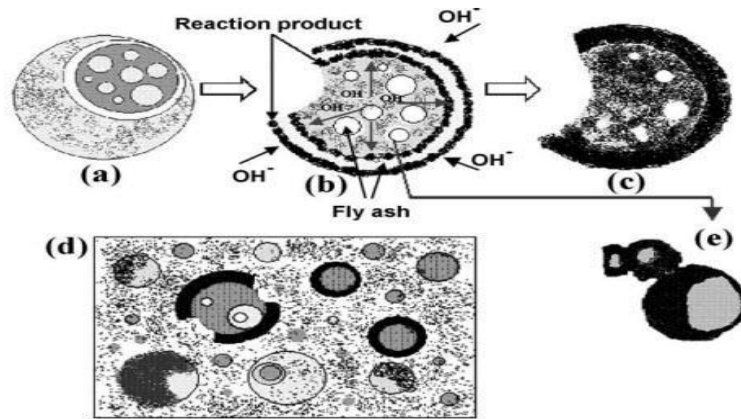
(a) Tro bay ban đầu

(b) Tro bay được kích hoạt với NaOH

(c) Tro bay được kích hoạt với  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$

Hình 2.3 thể hiện hình ảnh vi cấu trúc của tro bay được thể hiện rõ qua phương pháp SEM. Hình 2.3a thể hiện hình thái đặc trưng ban đầu của tro bay trước phản ứng, là những tinh thể hình cầu có kích thước khác nhau, cấu trúc thường rỗng và có thể chứa những hạt nhỏ hơn trong nó. Hình 2.3b và 2.3c là những thay đổi trong vi cấu trúc của tro bay dưới tác dụng của dung dịch kiềm và thời gian hằng nhiệt, kết quả phản ứng là một loại gel Natri-Silicat mới hình thành

qua quá trình đóng rắn các hạt tro bay và dung dịch kiềm. Tuy nhiên phản ứng không xảy ra nhanh chóng, vẫn còn một số thành phần tro bay phản ứng chậm.



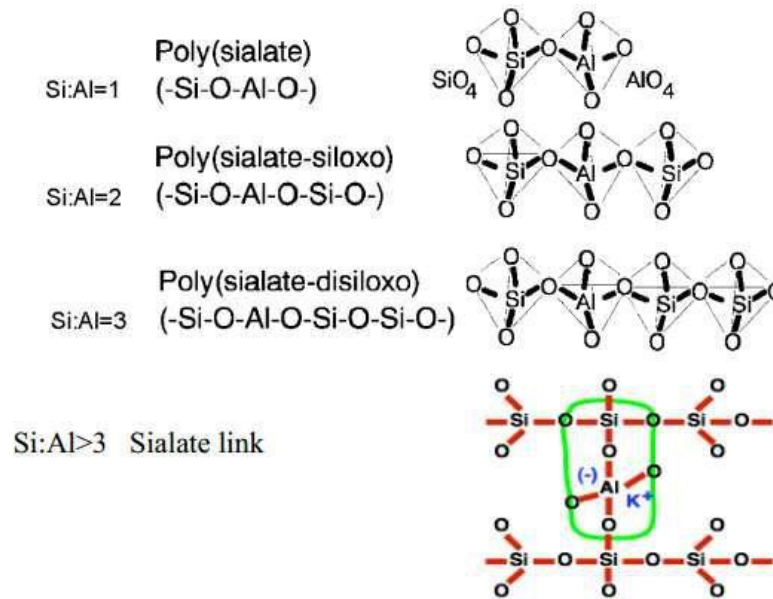
Hình 2.4 Sự tương tác của tro bay trong dung dịch hoạt hóa kiềm [8]

Hình 2.4 thể hiện sự tương tác trên là mô hình hạt tro bay khi bị kích hoạt kiềm. Bắt đầu bằng sự kiềm hóa một điểm nhỏ trên bề mặt hoạt tro bay, sau đó lan rộng và tạo thành lỗ lớn và tiếp tục phản ứng với những hạt nhỏ ở bên trong (hình 2.4a). Phản ứng tiếp tục duy trì và phát triển nhanh hơn theo hai chiều từ ngoài vào trong và ngược lại (hình 2.4b). Phản ứng tiếp tục xảy ra cho đến khi hạt tro bay được kiềm hóa hoàn toàn (hình 2.4c), cơ chế phản ứng hòa tan gắn kết các hạt nhỏ bên trong các hạt lớn, gắn kết tạo thành ma trận dày đặc. Các hạt này phản ứng với dung dịch hoạt hóa dưới tác dụng của nhiệt độ tạo ra cường độ cho vật liệu geopolymer.

## 2.6. Ảnh hưởng của cấu trúc geopolymer đến cường độ bê tông

Phản ứng hóa học trong bê tông Geopolymer ảnh hưởng trực tiếp đến cường độ bê tông. Sự phát triển cường độ của bê tông Geopolymer phụ thuộc vào hàm lượng dung dịch alkaline, điều kiện dưỡng hộ và hàm lượng cốt liệu trong bê tông. Có ba yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến cấu trúc làm thay đổi cường độ của bê tông: tỉ lệ dung dịch alkaline/tro bay, tỉ lệ sodium silicate/sodium hydroxit và điều

kiện dưỡng hộ. Những yếu tố này làm thay đổi cấu trúc của vật liệu trong quá trình phản ứng tạo nên chuỗi polymer Si-O-Al.



Hình 2.5 Cấu trúc chuỗi poly (sialates) Si-O-Al theo J.Davidovits [6]

Quá trình phản ứng giữa tro bay và dung dịch alkaline ảnh hưởng trực tiếp đến cường độ của bê tông Geopolymer. Khi tỉ lệ dung dịch alkaline/tro bay và tỉ lệ  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  thay đổi dẫn đến cấu trúc của Geopolymer thay đổi và dẫn đến cường độ cũng thay đổi.

## 2.7. Ăn mòn bê tông

### 2.7.1 Các môi trường ăn mòn

Bê tông truyền thống hay bê tông geopolymer đều có thể bị ăn mòn hóa học ở cả ba môi trường sử dụng: rắn, lỏng, khí.

Ăn mòn trong môi trường rắn khi bê tông tiếp xúc với một số loại hóa chất như phân khoáng, thuốc trừ sâu. Ăn mòn loại này diễn ra khi các hóa chất bị ẩm.

Ăn mòn trong môi trường lỏng xảy ra khi bê tông tiếp xúc với nước biển, nước phèn chua, nước khoáng, nước ngầm hoặc nước thải của các nhà máy xí nghiệp công nghiệp, ăn mòn rửa trôi, vi sinh có trong nước ... Các loại nước này

chứa các nhân tố có tính chất gây ăn mòn. Ăn mòn trong môi trường lỏng là loại ăn mòn phổ biến tại các công trình xây dựng ở môi trường biển, các công trình làm việc trong nước, dưới đất có nước ngầm, hay trong nước thải công nghiệp hay các nhà máy xí nghiệp sản xuất có sử dụng hóa chất.

Ăn mòn trong môi trường khí xảy ra khi vật liệu tiếp xúc với các loại khí gây ăn mòn (khí  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_2$ , các Ion S, F, ...) thường gặp ở khu vực xung quanh các nhà máy có sử dụng và chế biến hóa chất hoặc công trình có tiếp xúc với không khí biển và trong môi trường khí hậu ven biển.

Sự ăn mòn của bê tông thông thường trong môi trường lỏng thường là dạng ăn mòn Cacbonat, Chloride, Sulfate và sự hydrat hóa của xi măng. Quá trình ăn mòn đối với vật liệu Geopolymer thường được xem xét ở các môi trường như: Chất tẩy rửa tổng hợp (Aceton), môi trường muối ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) hay môi trường axit ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

### **2.7.2 Cơ chế của quá trình ăn mòn**

Về cơ chế ăn mòn: Hệ liên kết Aluminosilicate sẽ thực hiện trao đổi các ion ( $\text{Na}^+$  và  $\text{Ca}^{2+}$ ) cùng với các ion dương của  $\text{H}^+$  hay  $\text{H}_3\text{O}^+$  có trong dung dịch axit vào liên kết polymer (Si-O-Al), xuất hiện sự co rút của các vết nứt. Vết nứt co rút đủ rộng, các ion sunfat  $\text{SO}_4^{2-}$  sẽ khuếch tán vào vết nứt phản ứng với  $\text{Ca}^{2+}$  tạo nên tinh thể hình lục giác chính là thạch cao ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) bao phủ lên bề mặt bị ăn mòn, gây nên ăn mòn một phần bề mặt vật liệu geopolymer, nhưng cũng trở thành lớp phủ bảo vệ gây ức chế quá trình xâm nhập sâu hơn của ion sunfat, giúp chống ăn mòn vật liệu.

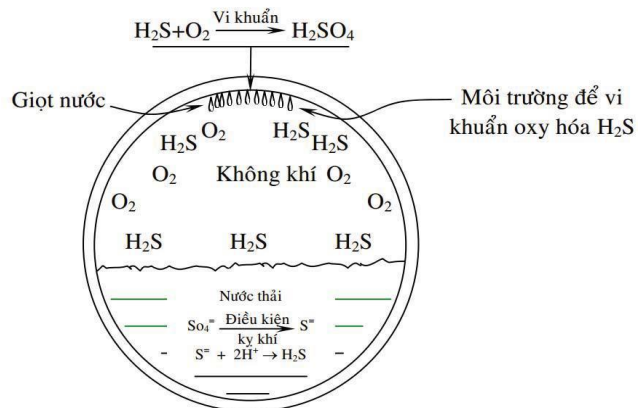
Cường độ bê tông phụ thuộc rất nhiều vào khả năng liên kết giữa cốt liệu lớn và chất kết dính. Tại miền tiếp giáp thường chứa nhiều khoảng trống do nước đọng hoặc do thiếu hụt liên kết và đặc biệt do hiện tượng tích tụ và trầm lắng ở phía dưới của bề mặt cốt liệu. Mặt khác, ở những vùng liên kết tốt với cốt liệu thô, các kết quả nghiên cứu cho thấy dạng liên kết canxi hydroxit trong vùng này chiếm tỷ lệ lớn,

các tinh thể hydroxit canxi phát triển lớn và có sự định hướng của các bề mặt tinh thể song song, nhất là các tinh thể canxi hydroxit có cường độ thấp, dễ bị phá hoại theo các bề mặt song song đó. Do vậy cường độ yếu ở những vùng đó làm cho cường độ chung của bê tông không cao. Để tăng độ đặc chắc cho vùng tiếp xúc pha và tăng khả năng liên kết cần bổ sung thành phần bê tông phụ gia silicafume nhằm cải thiện vi cấu trúc bê tông.

### **2.7.2.1 Ăn mòn bê tông trong nước có chứa ion sulfate**

Ion Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) là một trong những anion thường gặp trong môi trường tự nhiên. Khi hàm lượng  $\text{SO}_4^{2-}$  trong nước cao sẽ gây ảnh hưởng đến con người do tính chất tẩy rửa của Sulfate. Ngoài ra trong nước cấp cho công nghiệp và sinh hoạt, chỉ tiêu  $\text{SO}_4^{2-}$  cũng rất quan trọng do khả năng kết hợp với các ion kim loại trong nước hình thành cặn ở các thiết bị đun nước, lò hơi hay các thiết bị trao đổi nhiệt. Trong xử lý nước thải, chỉ tiêu  $\text{SO}_4^{2-}$  cũng được quan tâm do vấn đề mùi và vấn đề ăn mòn đường ống, bể chứa hay hệ thống cống rãnh.

Sự ăn mòn của các ion Sulfate thể hiện rõ nét hơn khi nước thải sinh hoạt có nhiệt độ cao, thời gian lưu nhiệt dài và nồng độ Sulfat cao. Nguyên nhân của sự ăn mòn này là do  $\text{H}_2\text{S}$  và  $\text{H}_2\text{SO}_4$  bởi quá trình khử Sulfate thành  $\text{H}_2\text{S}$  và từ  $\text{H}_2\text{S}$  thành  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .  $\text{H}_2\text{S}$  là một acid yếu, yếu hơn cả  $\text{H}_2\text{CO}_3$  và ít ảnh hưởng đến chất lượng bê tông. Tuy nhiên,  $\text{H}_2\text{S}$  lại là nguyên nhân gián tiếp gây ra sự ăn mòn ở các vật liệu. Ngoài sự tồn tại của acid  $\text{H}_2\text{SO}_4$  trong nước thải, gây ăn mòn thì ở điều kiện hiếu khí  $\text{H}_2\text{S}$  cũng bị vi khuẩn oxy hóa thành  $\text{H}_2\text{SO}_4$  và theo thời gian, nồng độ  $\text{H}_2\text{SO}_4$  trở nên đậm đặc, dẫn đến ăn mòn công trình.



Hình 2.6 Sự hình thành H<sub>2</sub>S và sự ăn mòn do quá trình oxy hóa H<sub>2</sub>S thành H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> [3]

Trong môi trường nước, nguồn cung cấp ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> thường là các muối hòa tan như: Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, ... Những dung dịch muối này có thể tồn tại tự nhiên trong nước biển, nước thải và đất ngầm. Khi hàm lượng ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > 250mg/l sẽ gây xâm thực rất mạnh đối với bê tông. Nguyên nhân là ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> tác dụng với các thành phần khoáng của xi măng như C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub> trong quá trình sinh ra sản phẩm thủy hóa của xi măng (Ca(OH)<sub>2</sub>), tạo ra các chất tích tụ như thạch cao (gypsum: CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) làm tăng thể tích gấp 2,34 lần so với thể tích của Ca(OH)<sub>2</sub>. Ngoài ra CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O lại có thể tiếp tục tương tác với 3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O để tạo thành 3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.3CaSO<sub>4</sub>.31H<sub>2</sub>O (ettringite) gây nở thể tích lên 4,8 lần. Hiện tượng tăng thể tích của các chất tích tụ sinh ra nội lực bên trong, gây nứt mẫu bê tông. Cứ tiếp tục như thế, nước chứa ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> tiếp tục thấm sâu vào trong mẫu thông qua các vết nứt làm cho quá trình xâm thực diễn ra liên tục và sâu rộng, làm phá vỡ cấu trúc của bê tông. [23]

### 2.7.2.2 Sự xâm nhập của ion clorua

Clorua có thể tồn tại trong hỗn hợp bê tông thông qua nhiều cách. Clorua có thể được đúc vào kết cấu thông qua phụ gia CaCl<sub>2</sub> (đã ngừng sử dụng) hoặc các ion clorua có thể tồn tại trong hỗn hợp cát, cốt liệu, nước, một cách vô tình hay cố ý.



Tuy nhiên, nguyên nhân chính của hiện tượng ăn mòn do clorua trong hầu hết các công trình là do sự khuếch tán của ion clorua từ môi trường như:

- Kết cấu tiếp xúc trực tiếp với môi trường biển có nhiều muối.
- Việc sử dụng muối làm tan băng hoặc các hợp chất hóa học có clorua.

Tương tự quá trình carbonat hoá, quá trình xâm nhập của clorua không trực tiếp ăn mòn cốt thép, ngoại trừ chúng phá vỡ lớp màng bảo vệ trên bề mặt cốt thép và thúc đẩy quá trình ăn mòn phát triển. Nói cách khác, clorua đóng vai trò như một chất xúc tác cho quá trình ăn mòn bê tông cốt thép. Tuy nhiên, cơ chế ăn mòn do ion clorua khác quá trình carbonat hoá ở chỗ ion clorua xâm nhập qua lớp bê tông bảo vệ và tấn công cốt thép ngay cả khi độ pH trong hỗn hợp vẫn ở mức cao.

Trong thực tế, kết cấu bê tông và bê tông cốt thép thường xuyên làm việc dưới tác động hỗn hợp của cả hai cơ chế trên. Clorua aluminat ( $AlCl_4^-$ ), được tạo ra từ phản ứng giữa ion clorua và xi măng có tác dụng làm giảm lượng clorua, qua đó làm chậm quá trình ăn mòn. Tuy nhiên, khi quá trình carbonat hoá làm giảm độ pH trong bê tông,  $AlCl_4^-$  sẽ bị phá vỡ. Kết quả là những kết cấu chịu sự tác động của cả hai cơ chế trên đồng thời sẽ nhạy cảm hơn nhiều với ăn mòn và khó để kiểm soát hơn.

### **2.7.2.3 Ăn mòn bê tông và bê tông cốt thép trong môi trường biển**

Trong môi trường biển có một số dạng ăn mòn chính như sau:

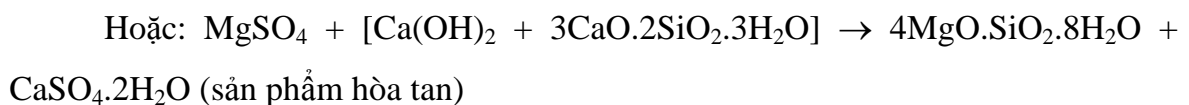
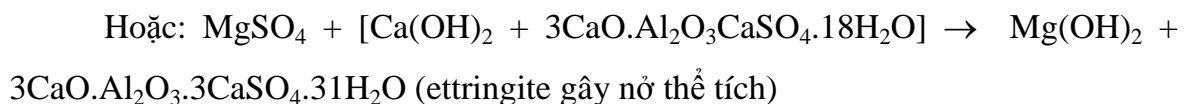
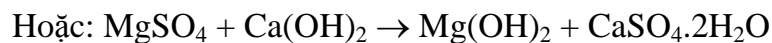
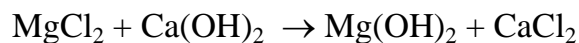
- Ăn mòn hóa học bê tông trong nước biển.
- Ăn mòn cốt thép trong khí quyển biển và vùng có mực nước lên xuống.
- Ăn mòn bê tông do vi sinh vật biển.

Trong các dạng ăn mòn này thì ăn mòn hóa học của bê tông trong môi trường biển là nguy hiểm nhất vì nó vừa phá vỡ cấu trúc bê tông vừa tạo điều kiện để các tác nhân hóa học xâm nhập vào ăn mòn cốt thép.

Các công trình bê tông cốt thép khi sử dụng trong môi trường biển, nếu không có biện pháp bảo vệ có hiệu quả thì bị ăn mòn mạnh, vì môi trường nước biển có chứa các hợp chất hóa học có tính chất ăn mòn cao đối với cả bê tông và cốt thép. Có thể nói đây là ăn mòn tổng hợp.

Đặc điểm của nước biển là chứa nhiều muối, tổng hàm lượng các muối hòa tan trong các đại dương khoảng 34 – 35% và tương quan hàm lượng của chúng rất bền vững. Lượng muối hòa tan trong nước biển nhỏ hơn so với ở đại dương và biến đổi trong một giới hạn rộng. Hàm lượng muối (%) lớn nhất là NaCl (77-79%), sau đến MgCl<sub>2</sub> (10.5-10.9%), MgSO<sub>4</sub> (4.4-4.8%), CaSO<sub>4</sub> (3.4-3.6%). Tổng lượng muối clorua là 88-89% và các muối sunfat là 10.5%: độ pH = 8.2-8.3. [23]

Ngoài ra trong nước biển còn có các hợp chất hóa học như nitrit, nitrat, photphat, dioxyt silic, cũng như các loại muối bromua, iotua... Quá trình ăn mòn bê tông trong môi trường nước biển do nhiều phản ứng đồng thời và phụ thuộc lẫn nhau với các cơ chế khác nhau. Hòa tan khi ngâm chiết, các phản ứng trao đổi kiềm, kết tủa các hợp chất hòa tan, kết tinh các muối giãn nở. Các muối hòa tan chủ yếu trong nước biển (MgCl<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub>) các phản ứng chính gây ra phá hủy bê tông: [23]



Đối với bê tông ngâm trong nước biển, Moskovin đã đưa ra sơ đồ phân vùng theo sự ưu tiên tác động của các ion khác nhau. Tác dụng của mỗi loại ion không có tính tan chẳng hạn như monoclorua luminat canxi (C<sub>3</sub>A.CaCl<sub>2</sub>.10H<sub>2</sub>O), khi có mặt

của  $\text{SO}_4^{-2}$  trở nên không ổn định và phân hủy tạo thành ettringite ( $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.3\text{CaSO}_4.31\text{H}_2\text{O}$ ). Khi có mặt của muối cacbonat và silic hòa tan thì ettringite lại chuyển thành hợp chất mới ( $\text{CaCO}_3, \text{CaSO}_4.\text{CaO}.\text{SiO}_2.15\text{H}_2\text{O}$ ). Chính từ sự giao thoa của các ion khác nhau nên mức độ xâm thực của nước biển yếu hơn nhiều so với nước chứa ion sunfat. Mức độ xâm thực yếu của nước biển do vai trò của ion clo làm tăng độ tan của thạch cao và ettringite, nên hạn chế sự kết tinh chúng, hạn chế độ giãn nở lớn gây phá hủy bê tông. [23]

Nguyên nhân chính làm phá hủy bê tông trong môi trường biển là do các muối sunfat ăn mòn đá xi măng. Độ bền ăn mòn sunfat của bê tông tăng khi giảm thành phần  $\text{C}_3\text{A}$  và phụ thuộc không nhiều vào hàm lượng  $\text{C}_3\text{S}$  của xi măng.

#### **2.7.2.4 Ăn mòn của nước thải công nghiệp**

Trong nước thải công nghiệp, nhất là nước thải của các nhà máy phân khoáng thường chứa các hợp chất hóa học có tính ăn mòn mạnh, có tác động phá hoại bê tông rất đa dạng. Thành phần các hợp chất ăn mòn trong nước thải công nghiệp tùy thuộc từng ngành sản xuất.

Kết cấu bê tông cốt thép trong môi trường công nghiệp cũng chịu tác động ăn mòn của môi trường hữu cơ lỏng (như axit béo). Sự ăn mòn của nước thải công nghiệp cũng có thể không do tương tác với hợp chất của đá xi măng, nhưng lại ảnh hưởng đến độ bền do thuộc tính hấp phụ. Các hợp chất có tính hấp phụ này hấp phụ trên bề mặt pha rắn của đá xi măng. Sau một thời gian chúng tạo thành lớp đơn hoặc đa phân tử, chúng hấp phụ thâm nhập vào các phần khuyết tật, các khe hở của vật rắn cho nên độ đặc chắc của chúng bị giảm đi. Các hợp chất có tính hấp phụ là dung dịch nước của các chất hoạt tính bề mặt (xà phòng, các chất tẩy rửa vệ sinh, cũng như các sản phẩm của ngành hóa dầu).

Tuy nhiên theo đánh giá của nhiều nhà khoa học thì sự ăn mòn ở các môi trường công nghiệp như ở các nhà máy có dùng axit và các nhà máy sản xuất phân bón là nguy hiểm nhất. [23]

Ngoài cơ chế ăn mòn còn có tốc độ ăn mòn bê tông cũng như bê tông cốt thép.

### 2.7.3 Tốc độ ăn mòn

#### *Phương trình Nernst*

$$E_{\text{rev}} = E_{\text{Me}^{n+}/\text{Me}}^0 + \frac{RT}{nF} \ln a_{\text{Me}^{n+}} = E_{\text{Me}^{n+}/\text{Me}}^0 + \frac{0,059}{n} \lg a_{\text{Me}^{n+}}$$

R: hằng số khí = 8,314 J/mol.K

T: nhiệt độ tuyệt đối (K)

F: hằng số Faraday = 96500 C/mol

n: số điện tử trao đổi

$a_{\text{Me}^{n+}}$ : hoạt độ ion kim loại trong dung dịch

$E_{\text{Me}^{n+}/\text{Me}}^0$ : thế điện cực tiêu chuẩn của kim loại ứng với hoạt độ dung dịch bằng 1 hoặc áp suất khí bằng 1atm. Theo qui ước Stockholm năm 1953, thế điện cực tiêu chuẩn tính cho các phản ứng điện cực được viết ở dạng khử theo chiều từ trái sang phải.

#### *Định luật Faraday*

$$m = \frac{A}{nF} I\tau = \frac{A}{nF} iS\tau$$

A: Nguyên tử (phân tử) lượng của kim loại

F: hằng số Faraday, I = iS cường độ dòng điện (A)

i: mật độ dòng điện ( $A/m^2$ ), S: diện tích ( $m^2$ )

$\tau$ : thời gian điện phân (giây)

n: số điện tử trao đổi.

#### 2.7.4 Các loại tốc độ ăn mòn

Độ giảm khối lượng của mẫu / đơn vị diện tích / đơn vị thời gian

$$K = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau} \text{ [ g/m}^2\text{h]}$$

Độ sâu ăn mòn/đơn vị thời gian hay bề dày lớp sản phẩm ăn mòn/đơn vị thời gian

$$K = \frac{\Delta m}{S \tau} = \frac{A}{nF} \frac{I \tau}{S \tau} = \frac{A}{nF} i_{\text{cor}} \quad v_{\text{cor}} = \frac{K}{d} = \frac{\Delta m}{d S \tau} = \frac{A}{nF d} i_{\text{cor}}$$

Thực tế, ăn mòn bê tông cốt thép là một quá trình hết sức phức tạp, quá trình này có liên quan đến quá trình khác. Đối với bê tông khi nồng độ hidroxit canxi giảm đi do có thể bị hòa tan trong nước khi khuếch tán, hoặc tác dụng hóa học với các muối, axit có trong nước tạo thành các sản phẩm dễ hòa tan, làm cho bê tông kém đặc chắc. Khi nồng độ hidroxit canxi giảm đến mức nào đó thì các khoáng trong xi măng bị phân giải, cường độ bê tông sẽ giảm. Hoặc khi sản phẩm là muối sunfat canxi ngậm nước có độ trương nở thể tích lớn, gây nứt nẻ, làm cho nước xâm nhập càng sâu và nhanh hơn, dẫn đến quá trình ăn mòn càng mãnh liệt hơn. Do đó tác nhân gây ăn mòn trên các công trình xây dựng chủ yếu là axit.

Để bảo vệ kết cấu bê tông không bị ăn mòn do axit, thì trong thành phần cấp phối bê tông phải có phụ gia bền sunfat.

### 2.8. Phụ gia Silica fume

#### 2.8.1 Khái quát quá trình hình thành

Silica fume là phụ gia bền sunfat, được tạo thành trong quá trình biến đổi từ việc khử thạch anh (quartz) thành silic ở nhiệt độ trên  $2000^\circ\text{C}$ , khí sinh ra và

chuyển tới vùng nhiệt độ thấp hơn bị oxy hóa do tiếp xúc với không khí và ngưng tụ lại thành các hạt  $\text{SiO}_2$  ở dạng hình cầu không kết tinh, sau đó sa lắng qua thiết bị lọc bụi dạng buồng để thu hồi xử lý khử các tạp chất và kiểm soát kích thước hạt trước khi sử dụng. [24]

### **2.8.2 Các đặc trưng lý hoá của silica fume**

Các hạt silica fume có dạng hình cầu, bề mặt trơn phẳng, kích thước trung bình của hạt silica fume vào khoảng 0.1-0.2 $\mu\text{m}$ , tức là vào khoảng 1:50-1:100 kích thước hạt xi măng hoặc tro bay, tỷ diện bề mặt hạt silica fume vào khoảng từ 13000-25000 $\text{m}^2/\text{kg}$ . Bột silica fume có khối lượng đơn vị ở trạng thái đồ đồng rất nhỏ, vào khoảng 0,15-0,2 tấn/ $\text{m}^3$ . Silicafume có hàm lượng ôxit silíc hoạt tính cao vào khoảng 85-98%. [25]

### **2.8.3 Cơ chế của quá trình hoạt động**

Silica fume hoạt động ở 2 chức năng: [24] thứ nhất có tác dụng như một chất puzolan khi phản ứng hóa học với các thành phần gel hydrat silicat canxi tạo thành C-S-H.

Vai trò của C-S-H là loại chất kết dính có cường độ và lực liên kết lớn làm nâng cao cường độ bê tông, tăng khả năng chống ăn mòn.

Chức năng thứ hai, silica fume đóng vai trò các chất kết dính, vì silica fume có kích thước hạt rất nhỏ và có cấu trúc hạt dạng hình cầu, dễ dàng bao bọc các hạt khác làm giảm tương tác giữa các hạt. Khi các hạt có dạng hình cầu trong không gian ba chiều, cho diện tích bề mặt hạt nhỏ nhất trong cùng một đơn vị thể tích. Mật độ của các hạt hình cầu lớn hơn các hạt có hình dạng khác, điều này cho phép giảm được lượng nước yêu cầu mà vẫn đảm bảo tính công tác của hỗn hợp bê tông, góp phần giảm độ rỗng, tăng độ đặc chắc, tăng cường độ, chống lại tác nhân ăn mòn bê tông.

Việc đưa phụ gia silicafume vào bê tông đã làm thay đổi quan trọng hệ xi măng - nước, làm cho các hạt microsilica có tác dụng chèn lấp đầy các khoảng trống giữa các hạt xi măng, quá trình thủy hóa của xi măng tạo thành sản phẩm CSH và một lượng lớn CH không tham gia vào việc tạo liên kết của chất kết dính phản ứng với oxit silic của silicafume để chuyển hóa sản phẩm CH thành các CSH, do đó việc dùng silicafume dẫn đến nâng cao cường độ bê tông, giảm độ rỗng, tăng độ đặc bê tông, chống các tác nhân gây ăn mòn. [24]

#### **2.8.4 Ảnh hưởng của silica fume đến các tính chất của bê tông**

Tính dẻo của vữa bê tông: Bê tông thông thường sử dụng  $300\text{kg/m}^3$  xi măng và dưới 10% silica fume thì độ sụt thực tế không có gì thay đổi nhiều so với bê tông đối chứng có cùng hàm lượng chất kết dính. Với bê tông giàu xi măng việc thêm silica fume đòi hỏi tốn năng lượng hơn trong việc đổ và đầm do vữa bê tông bị quánh lại. Trong trường hợp đó cần thiết phải thêm vào vữa bê tông phụ gia dẻo hóa. Silica fume làm tăng tính ổn định của vữa bê tông, nó làm giảm phân tầng, tách nước cho vữa bê tông. [25]

Sự phát triển cường độ của bê tông: Hoạt động giống như các vật liệu puzolan, silica fume tham gia phản ứng với  $\text{Ca(OH)}_2$  trong bê tông tạo ra sản phẩm có khả năng kết dính. Silica fume càng tinh khiết, càng mịn thì hiệu quả của phản ứng càng cao và nhanh. Cùng với sự khuếch tán của mình các hạt silica fume lấp đầy vào khoảng giữa các sản phẩm thủy hóa của xi măng, làm chặt cấu trúc đá xi măng và làm tăng khả năng kết dính giữa đá xi măng và các hạt cốt liệu. Độ hoạt tính của silica fume phụ thuộc vào khả năng phản ứng của  $\text{SiO}_2$  với  $\text{Ca(OH)}_2$ . Với silica fume cho phép sản xuất được bê tông có cường độ cao hơn nhiều so với bê tông thông thường. Việc sử dụng cốt liệu thiên nhiên có thể chế tạo được bê tông có cường độ trên  $150\text{ N/mm}^2$ , với các loại cốt liệu đặc biệt thì có thể chế tạo được bê tông có cường độ lên tới  $300\text{ N/mm}^2$ . Tốc độ phát triển cường độ của bê tông có sử dụng silica fume nhanh hơn bê tông thường. Trong điều kiện tiêu chuẩn, sau 7 ngày

cường độ của nó chỉ đạt được từ 55-65% cường độ ở tuổi 28 ngày. Hoạt tính của silica fume diễn ra chủ yếu trong giai đoạn từ 7 đến 20 ngày. Các thí nghiệm gần đây ở một số nước cho thấy, 1kg silica fume có thể thay thế từ 3-5kg xi măng poocăng thông thường mà không làm thay đổi về cường độ của bê tông. [25]

Độ kiềm của bê tông: Silica fume có ảnh hưởng đến độ kiềm của nước trong các lỗ rỗng của gel ximăng. Phản ứng của silica fume với  $\text{Ca(OH)}_2$  dẫn đến sự hình thành các gel có hàm lượng  $\text{SiO}_2$  trong liên kết cao cùng với hàm lượng nước liên kết lớn. Độ pH trong các lỗ rỗng của bê tông thông thường vào khoảng 14, trong trường hợp có sử dụng silica fume với liều lượng vừa phải chỉ số pH nhanh chóng giảm xuống 13. Với việc sử dụng 15% silica fume trị số pH giảm xuống 12,5. Khi liều lượng dùng lên tới 25% thì silica fume trung hòa gần như hoàn toàn vôi tự do trong bê tông, lúc đó chỉ số pH giảm đến mức có ảnh hưởng tiêu cực đến tính trơ của cốt thép dưới tác động của môi trường ăn mòn. [25]

Tính thấm của bê tông: Silica fume lấp đầy các lỗ rỗng trong bê tông bằng các hạt rất mịn làm giảm kích thước các lỗ rỗng mao quản, tăng khả năng chống thấm cho bê tông. Trên thực tế người ta đã chế tạo được bê tông không thấm với liều lượng silica fume vừa phải và hàm lượng xi măng poocăng không cao. Bê tông sử dụng silica fume có khả năng chống thấm cao hơn nhiều so với bê tông thường tương đương. [25]

Khả năng bảo vệ cốt thép: Về lý thuyết độ kiềm trong bê tông cốt thép giảm sẽ làm giảm độ bền của nó dưới tác động của cacbonat hóa và clo. Những nghiên cứu ở Na uy và Thụy Điển đối với các kết cấu bê tông cốt thép trong vòng 12 năm cho thấy, độ bền của bê tông cốt thép chất lượng cao có sử dụng silica fume dưới tác động của cacbonat hóa không thấp hơn bê tông sử dụng ximăng poocăng thông thường có cường độ tương đương, ngoài ra bê tông có sử dụng silica fume có khả năng ngăn ngừa thấm clo từ nước biển lớn hơn nhiều so với bê tông thường. Tuy nhiên nếu bảo dưỡng bê tông có sử dụng silica fume không tốt thì sự hư hỏng của



kết cấu lại lớn hơn so với bê tông thường. Một số các thí nghiệm nghiên cứu ăn mòn cốt thép của một số nước cho thấy trong điều kiện bảo dưỡng tốt khả năng bảo vệ cốt thép của bê tông có sử dụng silica fume tốt hơn so với bê tông thông thường có cùng cường độ. [25]

Tác động hóa học (sunphát): Bê tông sử dụng silicafume có khả năng chống thấm cao và hàm lượng vôi tự do ít làm tăng độ bền của bê tông chống lại một số chất xâm thực hóa học. Bê tông có sử dụng silica fume có độ bền rất tốt với hàng loạt các chất xâm thực. Các thí nghiệm trong một thời gian dài và toàn diện ở Na uy đã cho thấy độ bền của bê tông có sử dụng silica fume trong môi trường sunphát tương đương với độ bền của bê tông sử dụng xi măng poocăng bền sunphát. [25]

### **2.8.5 Ưu điểm việc sử dụng Silicafume trong bê tông**

Bê tông sử dụng phụ gia silicafume được coi là một trong những sản phẩm mang tính bước ngoặt trong công nghệ bê tông có ưu điểm lớn cần thiết đối với việc cải tạo cơ sở hạ tầng, về công dụng silicafume cải thiện một số tính chất cho bê tông: Tăng độ bền vững lâu dài, cường độ chịu nén và độ đồng nhất tốt, bảo vệ bê tông chống ăn mòn, cường độ uốn cao hơn, chống lại sự thay đổi thể tích tốt. [24]

Ngoài ra bê tông được chế tạo với silicafume có độ chống thấm cao, tăng khả năng chống mài mòn và chống ăn mòn. Sự ăn mòn cốt thép trong bê tông xảy ra khi clorua xâm nhập vào bê tông, phá hoại lớp bảo vệ yếu bao quanh cốt thép, gây ra gỉ và rỗ. Quá trình cacbonat hóa là nguyên nhân khác gây ăn mòn cốt thép, khi bê tông cacbonat hóa tới mức tiếp giáp với thanh thép, thì môi trường trung hòa (trung tính) sẽ thay thế dần môi trường kiềm đã bảo vệ cốt thép. Dưới điều kiện đó, cốt thép không còn thụ động nữa mà nhanh chóng bị ăn mòn. Việc cho thêm silicafume vào bê tông để giảm độ thấm của bê tông sẽ có hiệu quả cao đối với chống xâm nhập của các ion clo. Sự kích thích ăn mòn cốt thép và sự phá hoại bê tông được khống chế rõ rệt, làm giảm các chi phí bảo trì công trình.

Nhiều tài liệu của các nghiên cứu đã chỉ ra những tác dụng chính của phụ gia khoáng hoạt tính silicafume như: [24]

- Giảm lượng dùng xi măng, nhằm cải thiện vi cấu trúc, tăng tính ổn định và tăng hiệu quả kinh tế cho công trình.
- Giảm sự tách nước, tách vữa cho hỗn hợp bê tông mới trộn.
- Bổ sung cấp hạt cho thành phần bê tông, qua đó làm tăng tính công tác của hỗn hợp bê tông, đảm bảo độ đặc chắc về cấu trúc cho bê tông khi rắn chắc, tăng cường độ cơ học, giảm sự xâm nhập của các tác nhân có hại vào trong bê tông.
- Với cấu trúc dạng hình cầu silicafume còn có tác dụng làm tăng tính linh động cho hỗn hợp bê tông nhờ việc giảm ma sát khô giữa các hạt cốt liệu, qua đó làm tăng tính công tác cho hỗn hợp bê tông.

## Chương 3: NGUYÊN VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

### 3.1 Nguyên vật liệu

Nguyên vật liệu để chế tạo Bê tông geopolimer gồm Tro bay, dung dịch hoạt hóa ( $\text{NaOH}$  và  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), cát sông và đá 1x2.

Phụ gia chống ăn mòn cho bê tông sử dụng Silicafume.

Hóa chất sử dụng để tạo môi trường ăn mòn cho bê tông geopolimer là axit  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

#### 3.1.1 Tro bay

Sử dụng tro bay loại F có nguồn gốc từ nhà máy nhiệt điện địa phương, khối lượng riêng  $2400 \text{ kg/m}^3$ , độ mịn 94% lượng lọt qua sàng có cỡ sàng là  $0.08 \text{ mm}$ .

[17]



Hình 3.1 Tro bay

#### 3.1.2 Dung dịch Sodium Hydroxyde ( $\text{NaOH}$ )

Dung dịch sodium hydroxide màu trắng đục, có độ tinh khiết trên 90 % và khối lượng riêng  $2130 \text{ kg/m}^3$ . Để chế tạo dung dịch sodium hydroxide bằng cách hòa tan  $\text{NaOH}$  dạng vảy rắn vào nước theo nồng độ  $10 \text{ mol/l}$  cho trước [17]



Hình 3.2 Dung dịch sodium hydroxide NaOH ở dạng vảy khan và dung dịch

### 3.1.3 Dung dịch Sodium Silicate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )

Dung dịch thủy tinh lỏng ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) sử dụng có hàm lượng  $\text{Na}_2\text{O}$  và  $\text{SiO}_2$  dao động từ 36 – 38 %, có tỷ trọng  $1.42 \pm 0.01$  g/ml.

Thủy tinh lỏng có thành phần như trong Bảng 3.1.

Bảng 3.1 Tỷ lệ thành phần dung dịch thủy tinh lỏng

Thành phần	Tỷ lệ khối lượng (%)
$\text{Na}_2\text{O}$	13.7
$\text{SiO}_2$	23.4
$\text{H}_2\text{O}$	62.9



Hình 3.3 Dung dịch thủy tinh lỏng ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )

### 3.1.4 Cốt liệu cát vàng

Cát sử dụng là cát sông có khối lượng riêng  $2,65 \text{ g/cm}^3$  và mô đun độ lớn 0,16 cm, cốt liệu sử dụng đều thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo TCVN.



Hình 3.4 Cát vàng

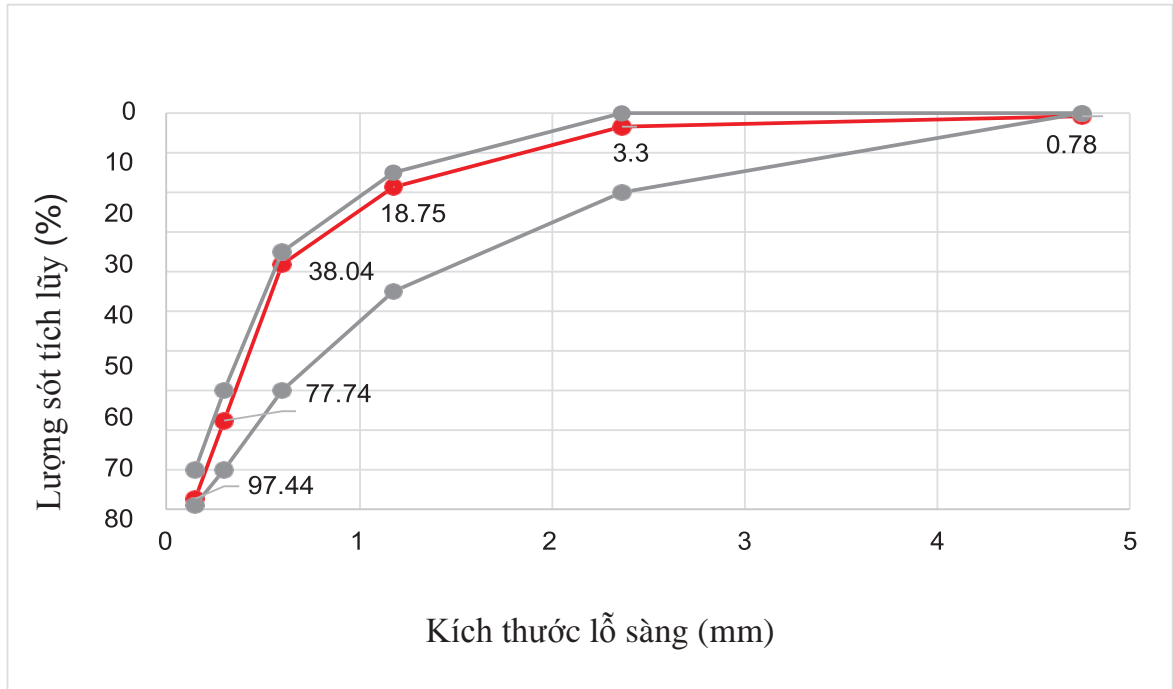
Cát dùng cho nghiên cứu phải thỏa mãn các yêu cầu của TCVN 7572:2006. [26]

Cát được sử dụng là cát sạch, cỡ hạt thô. Các tính chất cơ lý cũng như khối lượng riêng, khối lượng thể tích, thành phần hạt cũng được thí nghiệm theo TCVN.

Bảng 3.2 Thành phần hạt cát (trong 100 kg)

Kích thước lỗ sàng vuông (mm)	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15
Lượng sót trên sàng (kg)	0,78	3,3	18,75	38,04	77,74	97,44

Phân tích thành phần hạt cát, thu được kết quả và được thể hiện ở hình 3.5. Qua biểu đồ xét thấy, cát sử dụng trong thí nghiệm hoàn toàn nằm trong đường giới hạn thành phần hạt cát theo TCVN.



Hình 3.5 Biểu đồ thành phần hạt cát sử dụng

### 3.1.5 Cốt liệu đá

Đá sử dụng là đá Biên Hòa, phải thỏa mãn các yêu cầu của TCVN 7572:2006. [26]



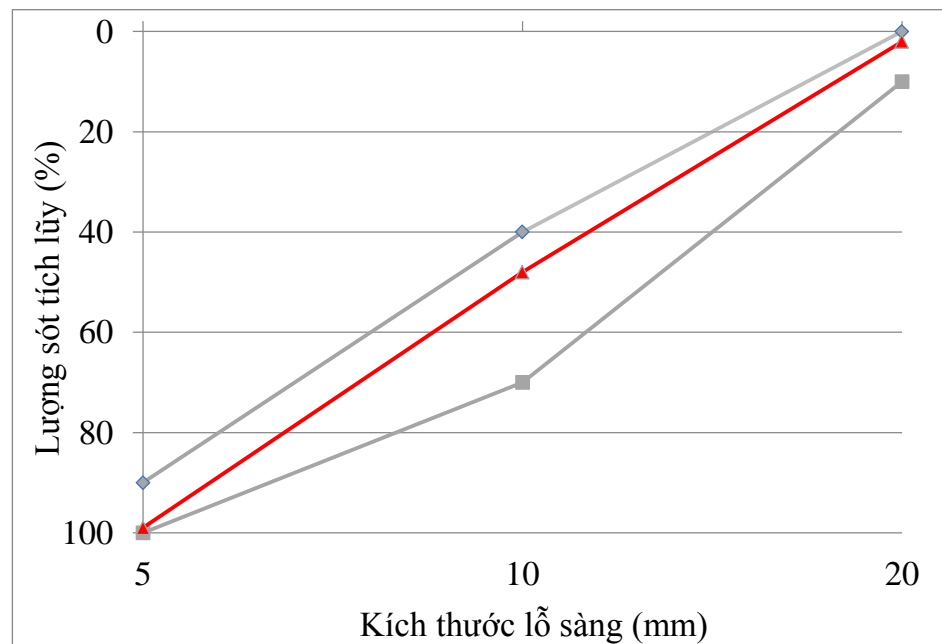
Hình 3.6 Đá 1x2

Đá sử dụng là đá sạch, có đường kính  $D_{max} = 20\text{mm}$ , khối lượng riêng  $2.7\text{g/cm}^3$ , khối lượng thể tích  $1.62\text{g/cm}^3$ .

Bảng 3.3 Thành phần hạt của đá (trong 100 kg)

Cỡ sàng (mm)	20	10	5
Lượng sót trên sàn (kg)	2	48	100

Phân tích thành phần hạt đá, thu được kết quả và được thể hiện ở hình 3.7. Qua biểu đồ xét thấy, đá sử dụng trong thí nghiệm hoàn toàn nằm trong đường giới hạn thành phần hạt theo TCVN.



Hình 3.7 Biểu đồ thành phần hạt đá dăm

### 3.1.6 Silica fume

Silica fume sử dụng trong thành phần cấp phối bê tông Geopolymer, đảm bảo theo tiêu chuẩn TCVN 8827:2011 [27]

Silica fume sử dụng trong bê tông nhằm tăng cường khả năng chịu lực, chống ăn mòn, giảm độ thấm nước có đặc tính được thể hiện trong Bảng 3.4.

Bảng 3.4 Thành phần hóa học của silicafume

Hàm lượng SiO <sub>2</sub> (%)	Độ ẩm (%)	Lượng mất khi nung (%)	Tỷ diện (m <sup>2</sup> /g)
> 85	< 3	< 6	15-30

Các tính chất kỹ thuật của Silicafume được phân tích tại Viện khoa học công nghệ xây dựng (IBST), kết quả như Bảng 3.5.

Bảng 3.5 Tính chất kỹ thuật của silicafume

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	Yêu cầu kỹ thuật
1	Khối lượng riêng	g/cm <sup>3</sup>	2.40	
2	Độ ẩm	%	2.76	<3
3	Hàm lượng mất khi nung	%	2.82	<6
4	Hàm lượng SiO <sub>2</sub>	%	88.15	>85
5	Hàm lượng SiO <sub>3</sub>	%	0.05	<2
6	Hàm lượng CaO	%	0.66	<1
7	Hàm lượng Cl <sup>-</sup>	%	0.01	<0.3





Hình 3.8 Silicafume

### 3.2 Thành phần cấp phối

#### 3.2.1 Thành phần cấp phối

Thiết kế thành phần cấp phối bê tông geopolymer phụ thuộc vào các yếu tố như: Tỷ lệ cốt liệu/tro bay, alkaline/tro bay, sodium silicate/sodium hydroxide, điều kiện dưỡng hộ nhiệt và nồng độ mole.

Theo các nghiên cứu trước đây về thành phần cấp phối bê tông geopolymer, tác giả định hướng sử dụng thành phần cấp phối như sau:

- Tỷ lệ cốt liệu/tro bay là: 3.99
- Tỷ lệ cát/đá là: 0.55
- Tỷ lệ alkaline/tro bay là: 0.72
- Tỷ lệ sodium silicate/sodium hydroxide là: 1.2
- Nồng độ dung dịch NaOH: 10 Mole
- Dưỡng hộ nhiệt trong 10 giờ ở mức nhiệt độ 80<sup>0</sup>C

Bê tông geopolymer khác với bê tông xi măng ở chất kết dính  $\text{SiO}_2\text{SiO}_3$  và  $\text{Al}_2\text{O}_3$  có trong tro bay phản ứng với dung dịch hoạt hóa (alkaline) thành hồ geopolymer bao phủ cốt liệu và điều kiện dưỡng hộ nhiệt tạo nên bê tông geopolymer. Như bê tông truyền thống, cốt liệu thô và cốt liệu mịn chiếm khoảng 70-80% khối lượng của bê tông. Do đó hỗn hợp thành phần cấp phối của bê tông

geopolymer có thể định hướng tương tự như bê tông xi măng.

### 3.2.2 Phương pháp xác định thành phần cấp phối

Khối lượng riêng của các vật liệu như sau:

- Tro bay là  $2400 \text{ kg/m}^3$
- Silicafume là  $2400 \text{ kg/m}^3$
- Cát vàng là  $2650 \text{ kg/m}^3$
- Đá 1x2 là  $2700 \text{ kg/m}^3$
- Sodium silicate là  $1420 \text{ kg/m}^3$
- Sodium hydroxide là  $2130 \text{ kg/m}^3$

Xác định thành phần cấp phối dựa trên nguyên tắc là thể tích tuyệt đối với  $V=1\text{m}^3$ . Các nguyên liệu trong từng cấp phối có tỉ lệ theo khối lượng tương ứng với nhau sao cho tổng thể tích là  $1\text{m}^3$ .

Định hướng thành phần cấp phối CP1 như sau:

Tổng khối lượng thể tích của bê tông geopolymer là:  $2,761.6 \text{ kg/m}^3$

Khối lượng cốt liệu 70-80% (chọn 70%):  $1,930.5 \text{ kg/m}^3$

Trong đó tỷ lệ cát/đá là: 0.55

+ Khối lượng đá:  $1,245.4 \text{ kg/m}^3$

+ Khối lượng cát:  $685.1 \text{ kg/m}^3$

Khối lượng dung dịch alkaline và tro bay (30%):  $831.1 \text{ kg/m}^3$

Trong đó tỷ lệ alkaline/tro bay là: 0.72

+ Khối lượng tro bay:  $483.3 \text{ kg/m}^3$

+ Khối lượng alkaline:  $347.8 \text{ kg/m}^3$

Tỷ lệ sodium silicate/sodium hydroxide là: 1.2

+ Khối lượng dung dịch NaOH (10 M): 158.1 kg/m<sup>3</sup>

+ Khối lượng dung dịch Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>: 189.7 kg/m<sup>3</sup>

Để tăng cường khả năng chống ăn mòn trong môi trường axit cho bê tông geopolymer bằng silicafume, thì trong thành phần cấp phối bê tông geopolymer có hàm lượng silicafume thay thế tro bay lần lượt là 5, 10, 15, 20, 25% tương ứng với cấp phối CP2, CP3, CP4, CP5, CP6. Các thành phần cấp phối được trình bày trong Bảng 3.6.

Bảng 3.6 Thành phần cấp phối cho bê tông geopolymer

Cấp phối	Đá (kg/m <sup>3</sup> )	Cát (kg/m <sup>3</sup> )	Tro bay (kg/m <sup>3</sup> )	Silicafume		DD sodium hydroxide 10M (kg/m <sup>3</sup> )	DD sodium silicate (kg/m <sup>3</sup> )
				%	(kg/m <sup>3</sup> )		
CP1	1,245.4	685.1	483.3	0	0	158.1	189.7
CP2	1,245.4	685.1	459.135	5	24.165	158.1	189.7
CP3	1,245.4	685.1	434.97	10	48.33	158.1	189.7
CP4	1,245.4	685.1	410.805	15	72.495	158.1	189.7
CP5	1,245.4	685.1	386.64	20	96.66	158.1	189.7
CP6	1,245.4	685.1	362.475	25	120.825	158.1	189.7

### 3.3 Phương pháp thí nghiệm

#### 3.3.1 Phương pháp tạo mẫu

Khuôn mẫu được sử dụng là khuôn mẫu hình trụ tròn, kích thước 100x200 mm, để thực hiện tạo mẫu và đánh giá kết quả thí nghiệm.



Hình 3.9 Khuôn đúc mẫu

Mẫu bê tông geopolymer sau khi đúc được ngâm trong các môi trường ăn mòn để kiểm tra và đánh giá các số liệu thí nghiệm về cường độ, phần trăm khối lượng ăn mòn .

#### 3.3.2 Nhào trộn và đúc mẫu

Tất cả các thành phần nguyên vật liệu sau khi định lượng sẽ được nhào trộn khô trong khoảng 2 phút. Hỗn hợp dung dịch sodium hydroxide, sodium silicate đã chuẩn bị trước được đổ vào hỗn hợp vừa khô. Quá trình nhào trộn ướt diễn ra trong vòng 3 phút bằng máy trộn.

Trước khi đổ hỗn hợp bê tông geopolymer vào khuôn, cần đặt khuôn mẫu tại các vị trí khô ráo, bằng phẳng và tiến hành đầm bê tông trong khuôn mẫu.



Hình 3.10 Máy trộn và cân nguyên vật liệu



Hình 3.11 Hỗn hợp sau khi trộn khô và đúc mẫu



Hình 3.12 Mẫu bê tông sau khi đúc và đánh số thứ tự

### 3.3.3 Dưỡng hộ nhiệt và ngâm hóa chất

Ở nhiệt độ phòng, phản ứng của bê tông Geopolymer có thời gian đóng rắn diễn ra rất chậm nên cường độ phát triển không cao. Do đó, dưỡng hộ nhiệt là cần thiết để đẩy nhanh quá trình geopolymer hóa và phát triển cường độ của bê tông.

Bê tông Geopolymer sau khi đúc mẫu, được tĩnh định trong 48 giờ, sau đó tháo khuôn và dưỡng hộ nhiệt trong 10 giờ ở mức nhiệt độ  $80^{\circ}\text{C}$ , thời gian dưỡng hộ nhiệt được tính khi nhiệt độ trong lò sấy đạt  $80^{\circ}\text{C}$ . Kết thúc quá trình dưỡng hộ nhiệt, để mẫu thí nghiệm trở về nhiệt độ môi trường tự nhiên trong khoảng thời gian 24 giờ, tiến hành lấy mẫu thí nghiệm ra khỏi lò sấy. Sau đó đo kích thước và cân mẫu lấy số liệu về khối lượng ban đầu trước khi ngâm hóa chất để đánh giá khả năng chống ăn mòn của mẫu theo thời gian.



Hình 3.13 Dưỡng hộ nhiệt các mẫu bê tông Geopolymer bằng lò sấy

Trong các môi trường nước biển, ống cống, bể nước thải công nông nghiệp, hàm lượng hóa chất axit gây ăn mòn tối đa khoảng 2% và thời gian ăn mòn kéo dài. Do đó trong phạm vi giới hạn thời gian nghiên cứu khoảng 180 ngày, kể cả thời gian chuẩn bị nguyên vật liệu và hoàn chỉnh đề tài nghiên cứu, nên tác giả phải tăng gia tốc ăn mòn và thời gian các mẫu thí nghiệm ngâm trong môi trường axit 120 ngày.

Ngoài ra, tác giả còn kết hợp những nghiên cứu trước đây để định hướng các loại hóa chất được sử dụng là dung dịch  $H_2SO_4$ ,  $HCl$  có nồng độ mỗi loại: 5, 10% và thời gian ngâm mẫu với các mốc 30, 60, 90, 120 ngày.



Hình 3.14 Hóa chất  $H_2SO_4$ , HCl



Hình 3.15 Mẫu bê tông Geopolymer ngâm trong Axit



Sau các mốc thời gian 0 ngày (chưa ngâm hóa chất), 30 ngày, 60 ngày, 90 ngày, 120 ngày, ngâm mẫu với hóa chất, các mẫu được lấy ra khỏi dung dịch hóa chất, lau sạch mẫu bằng khăn mềm và để mẫu thí nghiệm ở môi trường tự nhiên trong 48 giờ, cho mẫu khô ráo, sau đó mới tiến hành cân và nén mẫu.



Hình 3.16 Mẫu bê tông Geopolymer được lấy ra khỏi dung dịch hóa chất

### 3.3.4 Cường độ chịu nén bê tông

Xác định cường độ chịu nén của bê tông Geopolymer để đánh giá Mác bê tông và chất lượng bê tông theo TCVN 3118:1993 [28]. Cường độ nén từng viên mẫu bê tông (R) được tính bằng daN/cm<sup>2</sup> (KG/cm<sup>2</sup>), theo công thức

$$R = \alpha \cdot P/F \text{ (daN/cm}^2\text{)}$$

Trong đó:

P – Tải trọng phá hoại, tính bằng daN.

F – Diện tích chịu lực nén của viên mẫu, tính bằng cm<sup>2</sup>.

$\alpha$  - Hệ số phụ thuộc chiều cao mẫu thử (mẫu trụ 100x200:  $\alpha = 1.16$ ).

Mỗi tổ mẫu được tính trung bình cộng các kết quả mẫu thử. Loại bỏ giá trị có sai lệch lớn hơn 15% so với giá trị trung bình. Kết quả cuối cùng là giá trị trung bình cộng của các giá trị hợp lệ còn lại, độ chính xác tới  $0,1\text{N/mm}^2$



Hình 3.17 Thí nghiệm nén mẫu



Hình 3.18 Mẫu được nén phá hủy

## Chương 4: KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ

### 4.1 Kiểm tra tổng thể bằng trực quan

Các cấp phối bê tông geopolymer sau khi được ngâm trong các môi trường ăn mòn đều có cùng sự biến đổi (về màu sắc, rỗ mặt, vết nứt...), nhưng khác nhau về mức độ phản ứng ăn mòn khi tiếp xúc với các hóa chất.

Nhìn chung các mẫu bê tông geopolymer còn nguyên vẹn về mặt cấu trúc và vẫn đảm bảo khả năng chịu lực đáng kể mặc dù toàn bộ bê tông đã được trung hòa bằng axit  $H_2SO_4$  và  $HCl$ .

Chọn cấp phối ngâm trong hóa chất  $H_2SO_4$  10% và  $HCl$  10% sau 120 ngày để kiểm tra trực quan.



Hình 4.1 Các mẫu bê tông geopolymer được lấy ra sau khi ngâm hóa chất sau thời gian 120 ngày

Kết quả ngâm cho thấy các mẫu bê tông geopolymer khi được ngâm trong dung dịch  $H_2SO_4$  thì mẫu không xuất hiện vết nứt, nhưng có sự thay đổi về bề mặt như bị rỗ và có một số mẫu có xuất hiện lớp phủ ngả màu hơi vàng trên mẫu. Đây chính là sản phẩm của thạch cao ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), kết quả này cũng đã được chỉ ra trong nghiên cứu của X.J.Song cùng các cộng sự. [13]



Mẫu trước khi ngâm hóa chất



Ngâm trong dung dịch  $H_2SO_4$

Hình 4.2 Mẫu bê tông geopolymer ngâm trong  $H_2SO_4$  sau 120 ngày

Một số mẫu được ngâm trong dung dịch HCl cũng có một lớp phủ màu vàng, bề mặt mẫu bị rỗ và có xuất hiện vết nứt, tuy nhiên các vết nứt trên mẫu chưa ăn sâu vào bên trong mà chỉ làm bong tróc lớp vỏ.



Mẫu trước khi ngâm hóa chất      Ngâm trong dung dịch HCl

Hình 4.3 Mẫu bê tông geopolymer ngâm trong HCl sau 120 ngày

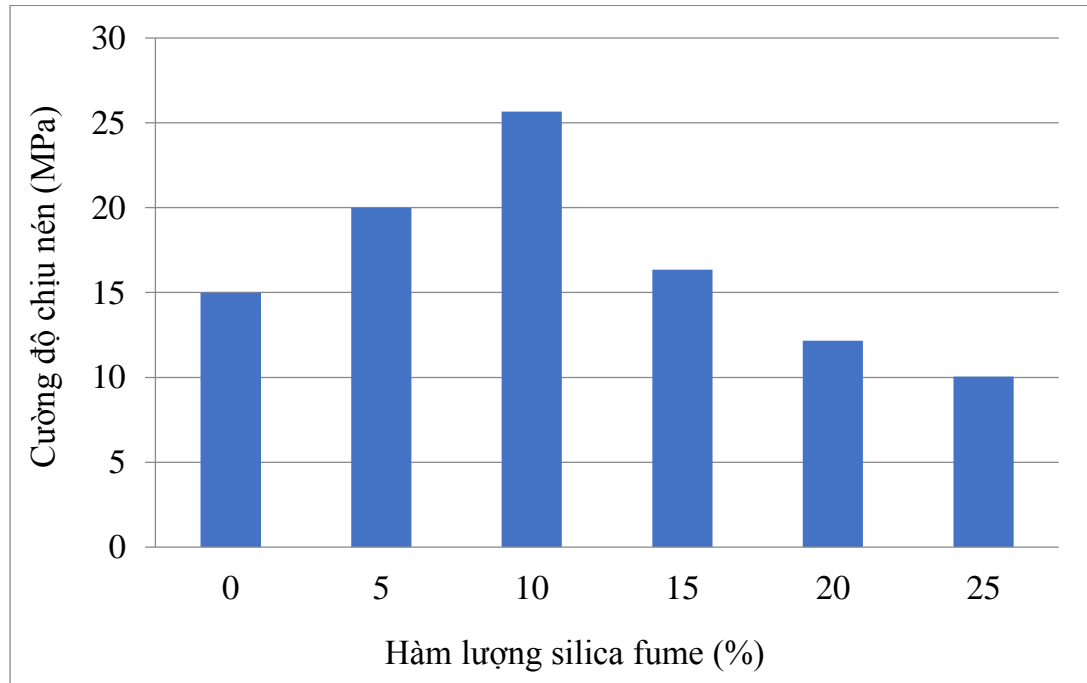
#### 4.2 Ảnh hưởng của hàm lượng silicafume đến cường độ chịu nén

Kết quả thí nghiệm về cường độ chịu nén của bê tông geopolymer có hàm lượng Silicafume thay thế tro bay tương ứng 0, 5, 10, 15, 20, 25% trước khi ngâm hóa chất, được trình bày trong Bảng 4.1.

Bảng 4.1 Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén (MPa)

Tên Cấp phối	Hàm lượng Silicafume (%)	Cường độ chịu nén (MPa)
CP1 (0%SF)	0	14.99
CP2 (5%SF)	5	19.98
CP3 (10%SF)	10	25.66
CP4 (15%SF)	15	16.34

CP5 (20%SF)	20	12.15
CP6 (25%SF)	25	10.04



Hình 4.4 Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và hàm lượng silicafume

Kết quả biểu diễn trên Hình 4.4 cho thấy sự ảnh hưởng của phụ gia khoáng silicafume đến cường độ chịu nén của bê tông với hàm lượng thay đổi từ 0 đến 25%. Cường độ chịu nén của bê tông đều có khuynh hướng tăng khi sử dụng phụ gia khoáng silicafume với hàm lượng từ 5 đến 10%. So với mẫu không có hàm lượng silicafume, mức tăng cường độ tương ứng là 33% và 71% khi thay thế tro bay bằng silicafume với hàm lượng tương ứng là 5 và 10%. Tuy nhiên khi hàm lượng silicafume tăng lên 15, 20, 25% thì cường độ chịu nén của cấp phối bê tông này lại giảm xuống tương ứng 62, 90, 104% so với cấp phối sử dụng hàm lượng silicafume 10%.

Điều này được chứng minh hàm lượng silicafume thay thế tro bay tăng lên, thì độ sụt của hỗn hợp bê tông giảm xuống và tổn năng lượng hơn trong việc đổ và đầm do vữa bê tông bị quánh lại. Silicafume có độ mịn rất cao nên độ hút nước nhiều hơn, làm giảm độ sụt của hỗn hợp bê tông.

Thay thế 10% silicafume với tro bay thì cường độ bê tông là tốt nhất, sau đó cường độ giảm dần khi hàm lượng silicafume tăng lên. Điều này là do thực tế phản ứng pozzoland không hết với thành phần hoạt tính  $\text{SiO}_2$  và hiệu ứng điền đầy của phụ gia silicafume chưa triệt để.

Theo I.R.I.Raj và B.Shanmugavalli [29] cấp phối sử dụng 10% silicafume sẽ cải thiện đáng kể khả năng chịu nén của bê tông do có hàm lượng pozzoland tự nhiên cao, giúp phản ứng với calcium hydroxide để hình thành thể gel calcium hydroxide hydrate tăng cường cơ tính cho bê tông.

Do đó, sự thay thế tối ưu của silicafume với tro bay trong cấp phối bê tông geopolymer là 10%. Cho nên trong đề tài chỉ tập trung nghiên cứu các cấp phối bê tông geopolymer có hàm lượng silicafume thay thế tro bay từ 0 đến 15%.

### **4.3 Ảnh hưởng của hàm lượng silicafume thay thế tro bay và thời gian ngâm mẫu đến cường độ chịu nén của mẫu**

Kết quả thí nghiệm về cường độ chịu nén theo thời gian ngâm mẫu trong các môi trường ăn mòn được trình bày trong Bảng 4.2

Bảng 4.2 Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén (MPa)

a) Ngâm trong hóa chất  $\text{H}_2\text{SO}_4$  5%

Cường độ chịu nén (MPa)					
Thời gian (ngày)	0	30	60	90	120
CP1 (0%SF)	14.99	17.66	19.06	19.49	19.03

CP2 (5%SF)	19.98	22.09	23.06	23.57	23.35
CP3 (10%SF)	25.66	27.86	30.24	32.11	31.97
CP4 (15%SF)	16.34	20.16	22.20	23.54	23.02

b) Ngâm trong hóa chất H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10%

Cường độ chịu nén (MPa)					
Thời gian (ngày)	0	30	60	90	120
CP1 (0%SF)	14.99	17.08	18.93	18.59	17.99
CP2 (5%SF)	19.98	22.00	23.00	22.99	22.54
CP3 (10%SF)	25.66	28.11	29.51	30.89	30.53
CP4 (15%SF)	16.34	19.77	21.56	21.76	20.97

c) Ngâm trong hóa chất HCl 5%

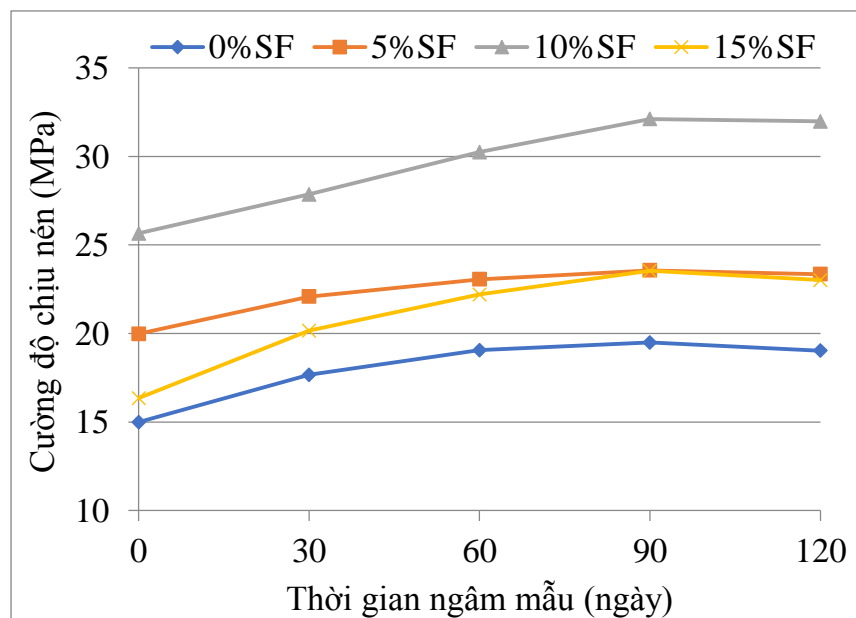
Cường độ chịu nén (MPa)					
Thời gian (ngày)	0	30	60	90	120
CP1 (0%SF)	14.99	17.60	18.84	18.98	18.64
CP2 (5%SF)	19.98	21.91	22.96	23.13	22.49
CP3 (10%SF)	25.66	28.01	29.73	31.29	30.93



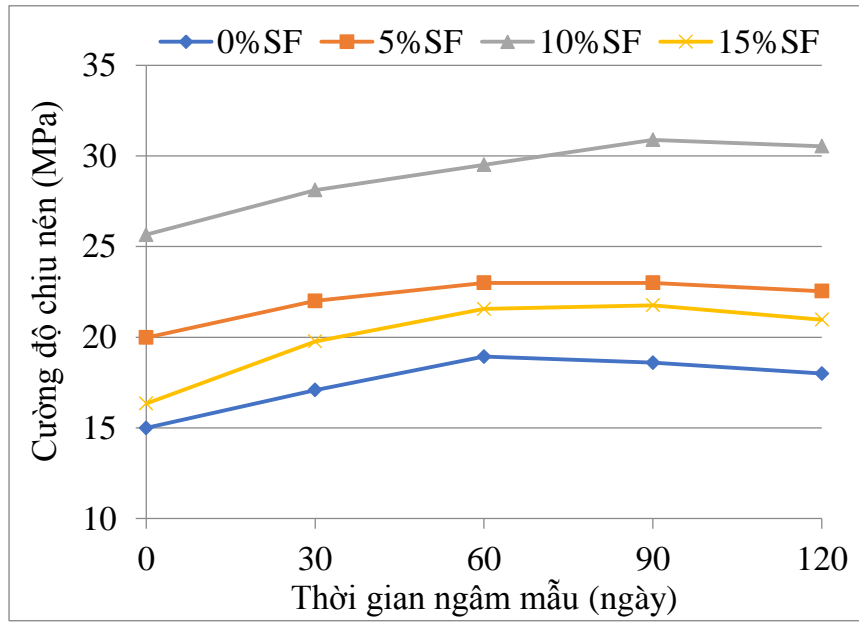
CP4 (15%SF)	16.34	19.35	21.66	22.08	21.63
-------------	-------	-------	-------	-------	-------

d) Ngâm trong hóa chất HCl 10%

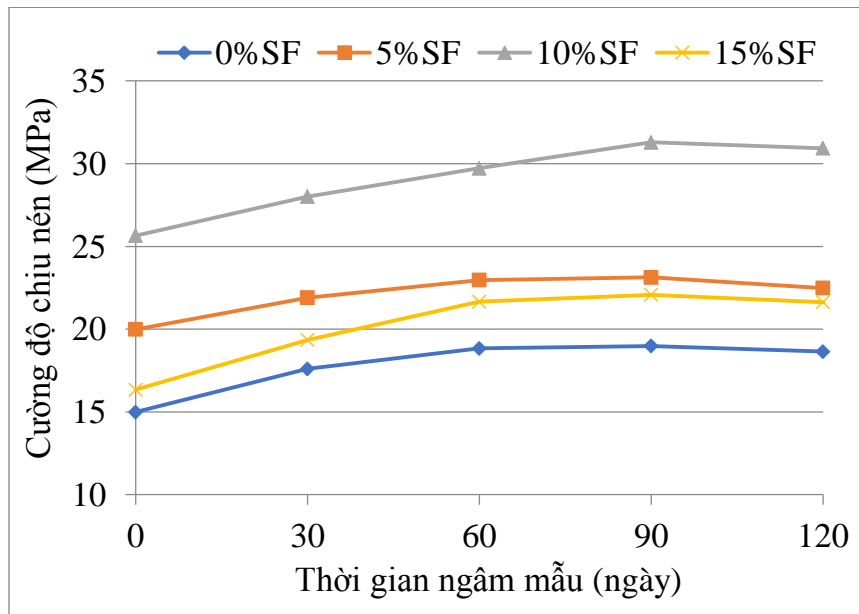
Cường độ chịu nén (MPa)					
Thời gian (ngày)	0	30	60	90	120
CP1 (0%SF)	14.99	16.53	18.36	17.96	16.81
CP2 (5%SF)	19.98	21.22	21.89	22.36	21.24
CP3 (10%SF)	25.66	27.81	28.98	30.11	29.30
CP4 (15%SF)	16.34	18.69	20.06	20.77	19.89



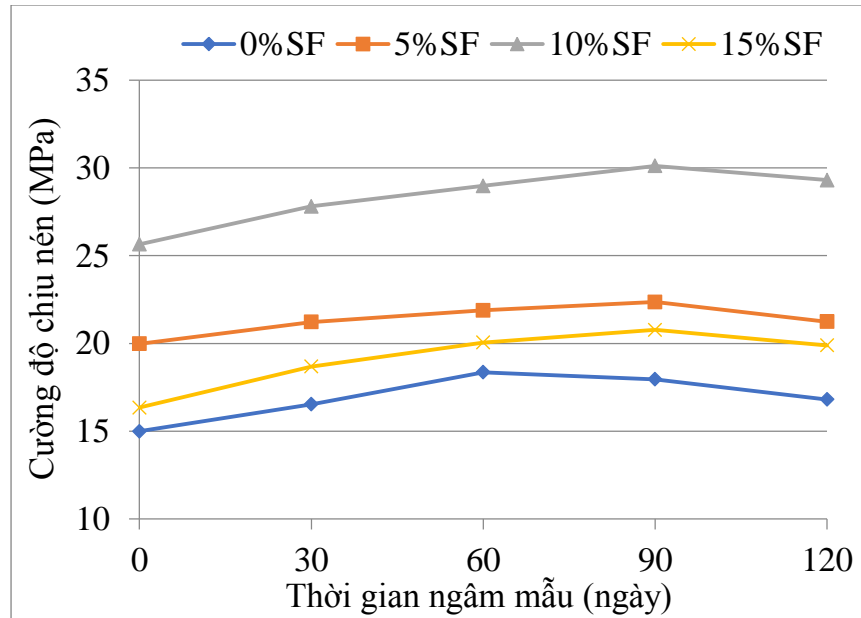
a) Cường độ chịu nén theo thời gian ngâm mẫu trong dung dịch H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5%



b) Cường độ chịu nén theo thời gian ngâm mẫu trong dung dịch H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10%



c) Cường độ chịu nén theo thời gian ngâm mẫu trong dung dịch HCl 5%



d) Cường độ chịu nén theo thời gian ngâm mẫu trong dung dịch HCl 10%

Hình 4.5 Cường độ chịu nén theo thời gian ngâm mẫu trong các dung dịch.

Cường độ chịu nén của mẫu xác định theo TCVN 3118-1993 [28]. Các mẫu không ngâm hóa chất được xác định cường độ tại mốc 0 ngày để làm đối chứng cho các mẫu ngâm hóa chất. Theo các nghiên cứu trước đây và nghiên cứu của Phan Đức Hùng và Lê Anh Tuấn “Ảnh hưởng của điều kiện gia nhiệt nguyên vật liệu đến quá trình geopolymer hóa của vữa”. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự phát triển cường độ của vữa geopolymer cần đến quá trình dưỡng hộ nhiệt, trong điều kiện dưỡng hộ nhiệt xảy ra phản ứng trùng ngưng trong những monomer, nhiệt độ càng cao thúc đẩy phản ứng trùng ngưng xảy ra càng nhanh, dẫn đến cường độ tăng theo nhiệt độ dưỡng hộ. Sau thời gian dưỡng hộ nhiệt, cường độ tăng không đáng kể (giống như bê tông xi măng thường sau 28 ngày). [30]

Kết quả thí nghiệm được biểu diễn trên Hình 4.5 cho thấy trong hai dung dịch  $H_2SO_4$  và HCl nồng độ 5%, 10% có xu hướng làm tăng cường độ trong thời gian 90 ngày đầu, sau đó giảm đều và ổn định ở 120 ngày. Riêng đối với CP1 có cường độ chịu nén thấp nhất và trong hai môi trường dung dịch  $H_2SO_4$ , HCl nồng

độ 10% cường độ chịu nén có xu hướng tăng ngắn hơn (trong 60 ngày đầu), sau đó giảm đều đến 120 ngày. Điều này cũng phù hợp với nghiên cứu của TS. Phan Đức Hùng [17] cho thấy bê tông geopolimer ngâm trong dung dịch HCl nồng độ 10% ở hai môi trường tĩnh và động đều có khuynh hướng làm tăng cường độ trong thời gian đầu.

Khác với bê tông xi măng truyền thống hình thành từ quá trình hydrat hóa xi măng, bê tông geopolimer sử dụng tro bay hình thành dựa trên quá trình geopolimer hóa tạo ra các sản phẩm khó bị tác động bởi hóa chất do không có sự hình thành gypsum hay ettringite từ quá trình thủy hóa xi măng. Kết quả này cũng đã được chỉ ra trong nghiên cứu của S.E.Wallah và B.V.Rangan. [31]

Bê tông xi măng truyền thống quá trình hydrat hóa xi măng phản ứng tạo ra các thành phần khoáng trực tiếp tác dụng với ion  $\text{SO}_4^{2-}$  hình thành gypsum hay ettringite, phá vỡ cấu trúc bê tông, làm giảm cường độ nhanh trong thời gian đầu.

Bê tông geopolimer sử dụng tro bay về cơ chế ăn mòn đã được trình bày ở mục 2.7.2, tham chiếu với phương trình phản ứng hóa học của quá trình geopolimer (Hình 2.1) cho thấy phản ứng thay thế các ion dương có trong dung dịch axit với ion ( $\text{Na}^+$  và  $\text{Ca}^{2+}$ ) vào liên kết Si-O-Al, giúp chống ăn mòn và có xu hướng làm tăng cường độ trong thời gian đầu, quá trình cứ tiếp diễn sẽ phá vỡ cấu trúc bê tông làm giảm cường độ chịu nén của bê tông geopolimer sau thời gian đầu.

Đối với bê tông geopolimer sử dụng silicafume thay thế tro bay có xu hướng tăng cường độ lâu hơn với bê tông geopolimer sử dụng tro bay vì silicafume có hàm lượng hạt mịn lớn, có cấu trúc dạng hình cầu dễ dàng bao bọc các hạt khác làm giảm tương tác giữa các hạt, ngoài ra còn có tính chất của puzolan và tính dính kết, nên đóng góp vào việc tăng cường độ và tính bền bê tông. Bê tông sử dụng silicafume khi dưỡng hộ, sản phẩm của phản ứng puzolanic chiếm đầy lỗ rỗng làm giảm tính thấm, tăng độ bền, nâng cao khả năng chống ăn mòn.

Mặt khác cấp phối bê tông sử dụng silicafume có tính công tác tốt tạo nên mẫu có độ đặc chắc cao, thời gian chống ăn mòn dài hơn bê tông không có sử dụng silicafume do tính công tác thấp hơn.

Ngoài ra độ pH trong lỗ rỗng của bê tông geopolymer sử dụng silicafume cao nên môi trường kiềm cao, chống tác nhân ăn mòn do axit.

Do đó, bê tông geopolymer sử dụng tro bay có xu hướng tăng cường độ trong 60 ngày đầu, còn bê tông geopolymer sử dụng silicafume thay thế tro bay có xu hướng tăng cường độ lâu hơn (90 ngày) ngâm trong hóa chất  $H_2SO_4$  và HCl nồng độ 10%. Sau thời gian đó các mẫu đều giảm theo đúng quy luật.

Theo Hình 4.5 (a) cho thấy sự ảnh hưởng của phụ gia khoáng silicafume đến cường độ chịu nén theo thời gian ngâm mẫu trong hóa chất  $H_2SO_4$  5% với hàm lượng thay đổi từ 0 đến 15%. Cường độ chịu nén của CP1 tăng lên 29.9% sau 90 ngày ngâm trong hóa chất và giảm xuống 3% sau 120 ngày ngâm trong hóa chất. Mức tăng cường độ tương ứng của CP2, CP4 tăng lên 57% sau 90 ngày ngâm trong hóa chất và giảm xuống tương ứng 1.4% và 3.4% sau 120 ngày ngâm trong hóa chất. Riêng đối với cấp phối CP3 cường độ chịu nén tăng lên 114% sau 90 ngày ngâm trong hóa chất và giảm xuống 0.9% sau 120 ngày ngâm trong hóa chất so với mẫu không có hàm lượng silicafume.

Đối với Hình 4.5 (b) cho thấy cường độ chịu nén của CP1 tăng lên 26% sau 60 ngày ngâm trong hóa chất và giảm xuống 6% sau 120 ngày ngâm trong hóa chất. Cường độ chịu nén CP3 tăng lên 106% sau 90 ngày ngâm trong hóa chất và giảm xuống 3% sau 120 ngày ngâm trong hóa chất so với CP1. Bên cạnh đó cho thấy CP1 đạt cường độ chịu nén tốt nhất sau 60 ngày, sau đó giảm dần cường độ, còn CP3 tiếp tục tăng cường độ đến 90 ngày, sau đó cường độ giảm dần đến 120 ngày.

Hình 4.5 (c) kết quả cho thấy khi ngâm trong dung dịch HCl 5% có khuynh hướng làm tăng cường độ sau 90 ngày ngâm trong hóa chất, mức tăng cường độ

tương ứng với CP1, CP2, CP3, CP4 là 26.5, 54, 108.7, 47% và giảm tương ứng là 2.2, 4.3, 2.4, 3% so với cấp phối đối chứng không có silicafume.

Kết quả biểu diễn trên Hình 4.5 (d) cho thấy CP1 đạt cường độ tốt nhất sau 60 ngày ngâm trong hóa chất, khi đó CP2, CP3, CP4 cường độ tiếp tục hình thành đến 90 ngày, sau đó giảm dần. Mức tăng cường độ tương ứng với CP1, CP2, CP3, CP4 là 22.4, 49.1, 100.8, 38.5% và giảm nhiều ở CP1 10.3% so với cấp phối đối chứng.

#### 4.4 Ảnh hưởng của hàm lượng silicafume thay thế tro bay và thời gian ngâm mẫu đến độ thay đổi khối lượng của mẫu

Phần trăm khối lượng thay đổi được xác định theo công thức sau:

$$\Delta = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

Trong đó:

$\Delta$  : Độ thay đổi khối lượng (%)

$m_1$ : Khối lượng mẫu trước khi ngâm (g)

$m_2$ : Khối lượng mẫu sau khi ngâm (g)

Kết quả thí nghiệm về độ thay đổi khối lượng (%) của các cấp phối theo thời gian ngâm mẫu trong các môi trường ăn mòn được trình bày trong Bảng 4.3

Bảng 4.3 Kết quả thí nghiệm sự thay đổi khối lượng mẫu (%)

a) Ngâm trong hóa chất H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5%

% khối lượng thay đổi				
Thời gian (ngày)	30	60	90	120
CP1 (0%SF)	-0.53	-0.70	-0.90	-1.08

CP2 (5%SF)	-0.26	-0.45	-0.64	-0.74
CP3 (10%SF)	-0.11	-0.29	-0.42	-0.44
CP4 (15%SF)	-0.23	-0.40	-0.53	-0.68

b) Ngâm trong hóa chất H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10%

% khối lượng thay đổi				
Thời gian (ngày)	30	60	90	120
CP1 (0%SF)	-0.69	-1.00	-1.43	-1.66
CP2 (5%SF)	-0.45	-0.53	-0.74	-0.90
CP3 (10%SF)	-0.13	-0.41	-0.48	-0.56
CP4 (15%SF)	-0.34	-0.45	-0.64	-0.82

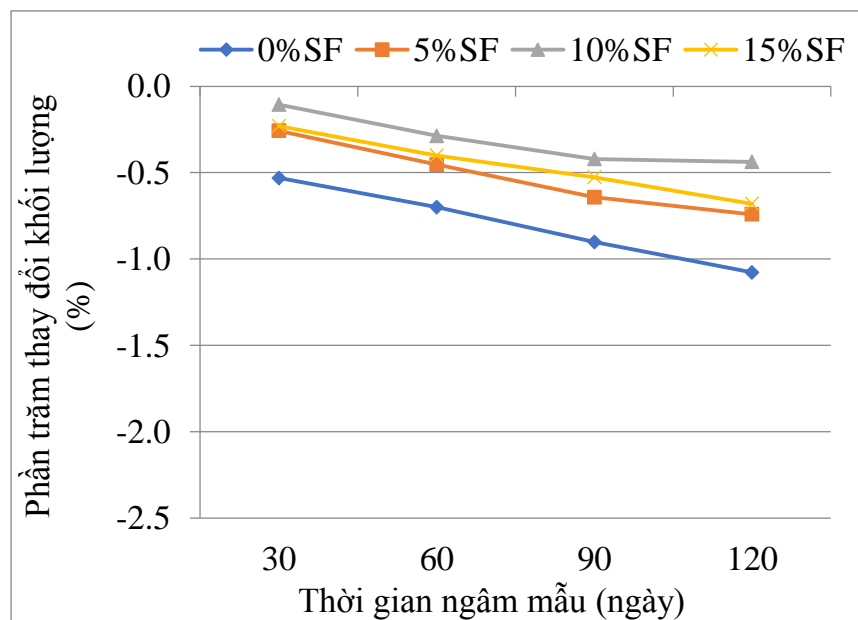
c) Ngâm trong hóa chất HCl 5%

% khối lượng thay đổi				
Thời gian (ngày)	30	60	90	120
CP1 (0%SF)	-0.81	-1.15	-1.28	-1.49
CP2 (5%SF)	-0.53	-0.67	-0.83	-1.02
CP3 (10%SF)	-0.14	-0.45	-0.52	-0.58

CP4 (15%SF)	-0.43	-0.62	-0.74	-0.93
-------------	-------	-------	-------	-------

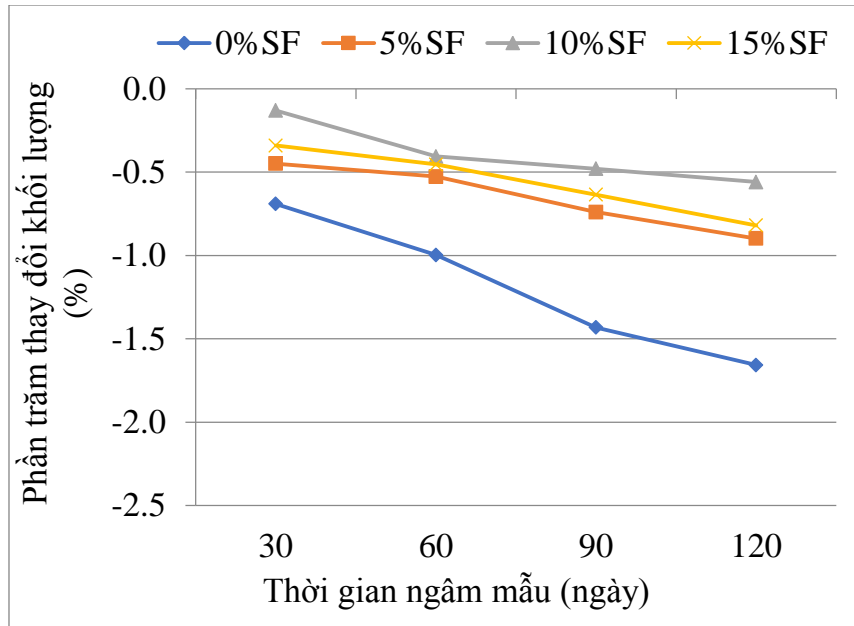
d) Ngâm trong hóa chất HCl 10%

% khối lượng thay đổi				
Thời gian (ngày)	30	60	90	120
CP1 (0%SF)	-1.62	-2.02	-2.15	-2.34
CP2 (5%SF)	-1.22	-1.51	-1.71	-1.84
CP3 (10%SF)	-0.29	-0.70	-0.93	-0.96
CP4 (15%SF)	-1.00	-1.17	-1.61	-1.69

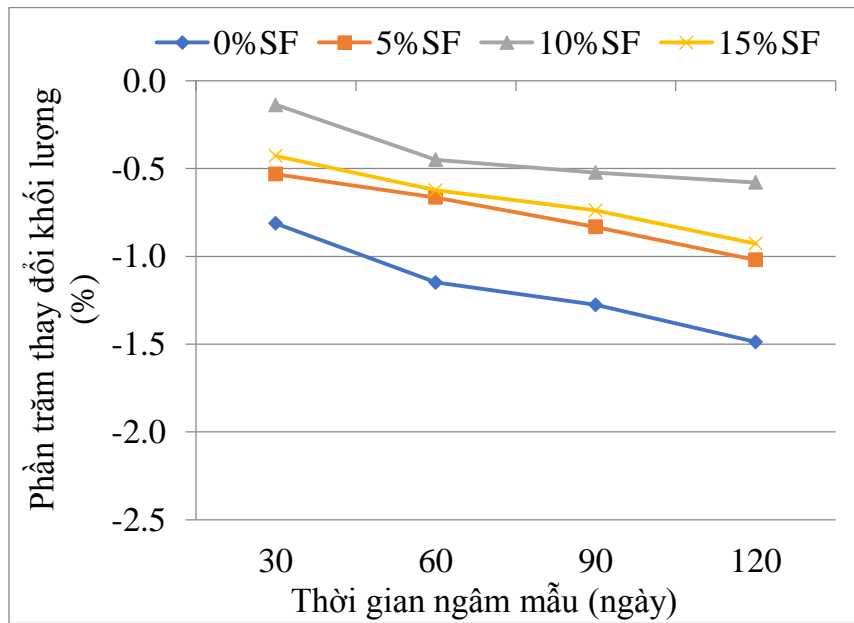


a) Sự thay đổi khối lượng theo thời gian ngâm mẫu trong dung dịch H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5%

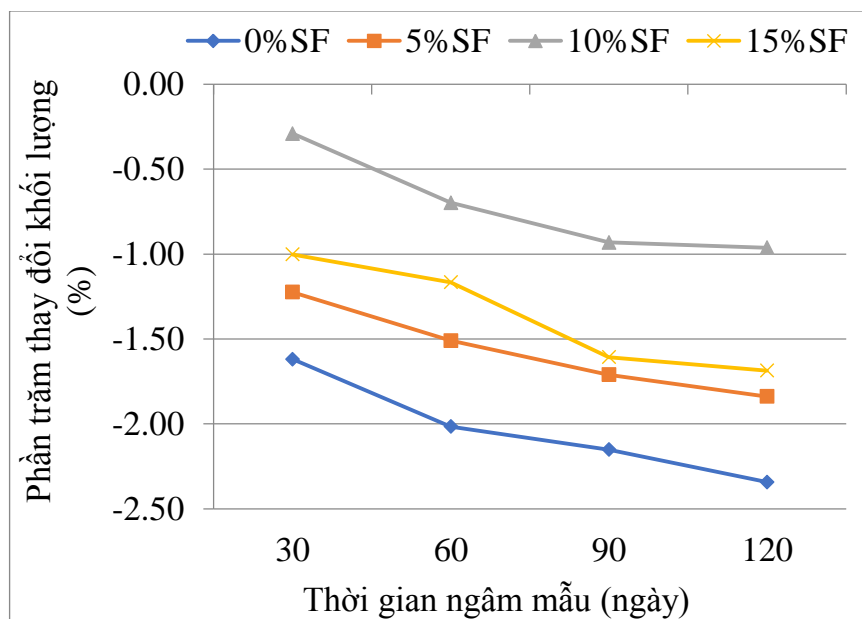




b) Sự thay đổi khối lượng theo thời gian ngâm mẫu trong dung dịch  $H_2SO_4$  10%



c) Sự thay đổi khối lượng theo thời gian ngâm mẫu trong dung dịch HCl 5%



d) Sự thay đổi khối lượng theo thời gian ngâm mẫu trong dung dịch HCl 10%

Hình 4.6 Sự thay đổi khối lượng theo thời gian ngâm mẫu trong các dung dịch

Kết quả ngâm mẫu trong các dung dịch được thể hiện ở Hình 4.6 cho thấy khi ngâm trong dung dịch H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5% các cấp phối đều giảm khối lượng. Trong đó cấp phối giảm khối lượng ít nhất sau 120 ngày ngâm mẫu là cấp phối CP3 0.44%, cấp phối giảm khối lượng nhiều nhất là cấp phối CP1 1.08%, các cấp phối CP2, CP4 có khối lượng giảm tương ứng là 0.74, 0.68% sau 120 ngày ngâm trong hóa chất.

Đối với cấp phối ngâm trong dung dịch H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10% Hình 4.6 (b), thì khối lượng tiếp tục giảm ở CP1 sau 120 ngày ngâm mẫu 1.66%, các cấp phối có hàm lượng silicafume thay thế tro bay 5, 15% sau 120 ngày ngâm hóa chất có khối lượng giảm ít hơn khoảng 0.9%. Riêng cấp phối có 10% silicafume thay thế tro bay (CP3) giảm 0.56%.

Hình 4.6 (c) kết quả cho thấy khi ngâm trong dung dịch HCl 5% sau 120 ngày thì cấp phối CP1 có khối lượng giảm 1.49%, cấp phối CP2, CP3, CP4 có khối lượng giảm tương ứng 1.02, 0.58, 0.93%.

Sự thay đổi khối lượng theo thời gian được thể hiện rõ hơn ở Hình 4.6 (d) kết quả cho thấy khi ngâm trong dung dịch HCl 10% sau 120 ngày thì cấp phối CP1 có khối lượng giảm nhiều hơn tương ứng 2.34%, cấp phối CP2, CP3, CP4 có khối lượng giảm ít hơn tương ứng 1.84, 0.96, 1.69%. Tuy nhiên mẫu ngâm trong thời gian dài thì phần trăm giảm khối lượng mẫu lại có xu hướng giảm bớt theo thời gian. Kết quả này có thể giải thích sau thời gian đầu có sự tác động mạnh của dung dịch ngâm mẫu thì lại xảy ra hiện tượng hấp thụ dung dịch vào trong mẫu. Điều này cũng được chỉ ra trong nghiên cứu của TS. Phan Đức Hùng [17].

Kết quả Hình 4.6 cho thấy mẫu bê tông geopolymer không có hàm lượng silicafume đều bị ăn mòn nhiều hơn các mẫu có hàm lượng silicafume thay thế từ 5 đến 15% trong hai môi trường axit. Trong đó mẫu CP3 có hàm lượng silicafume thay thế tro bay 10% có độ sụt giảm khối lượng ít hơn khoảng 0.8% trong dung dịch  $H_2SO_4$  và 1.69% trong dung dịch HCl. Do đó cấp phối CP3 có độ đặc chắc tốt hơn nên khả năng chống xâm thực của hóa chất cũng tốt hơn, bảo vệ cho bê tông geopolymer chống xâm thực cao. Cấp phối CP1 có độ đặc chắc kém hơn nên khả năng chống lại sự xâm nhập của hóa chất cũng yếu hơn. Kết quả này giống với nghiên cứu của X.J.Song và cộng sự [13] khi mẫu có vết nứt hay độ đặc chắc kém, các ion gốc sunfat  $SO_4^{2-}$  từ dung dịch axit sẽ khuếch tán vào các lỗ rỗng và phản ứng với các ion Canxi  $Ca^{2+}$  của vật liệu, dẫn đến sự lắng đọng tinh thể thạch cao ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ). Những tinh thể thạch cao gây ăn mòn một phần bề mặt vật liệu geopolymer nhưng cũng trở thành lớp phủ bảo vệ, gây ức chế quá trình thâm nhập vào sâu hơn của ion sunfat, hạn chế được ăn mòn.

#### **4.5 Cường độ chịu nén của cấp phối CP1, CP3 theo thời gian ngâm trong môi trường dung dịch $H_2SO_4$ và HCl 10%**

Kết quả thí nghiệm về cường độ chịu nén của cấp phối CP1, CP3 theo thời gian ngâm trong môi trường dung dịch  $H_2SO_4$  và HCl 10% được trình bày trong Bảng 4.4.

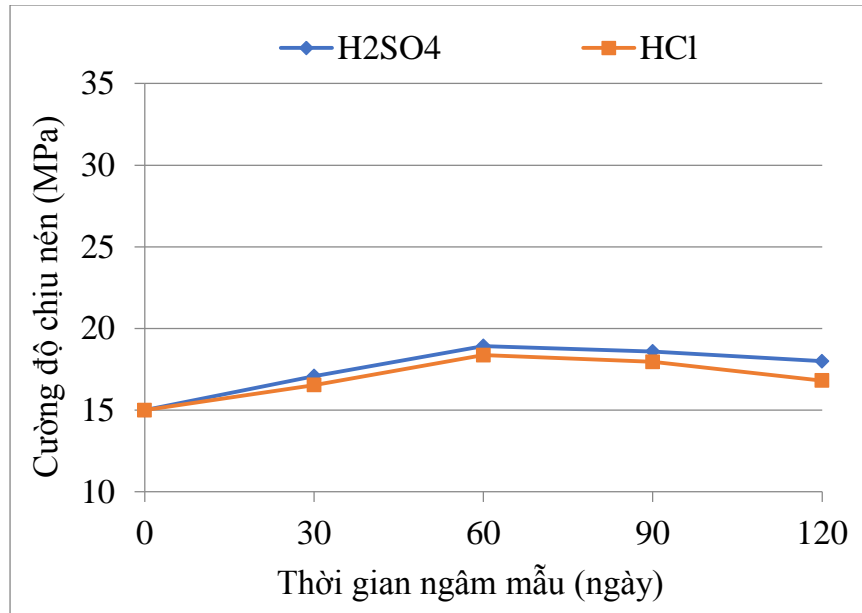
Bảng 4.4 Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén (MPa)

a) Cấp phối CP1 (0%SF cấp phối đối chứng)

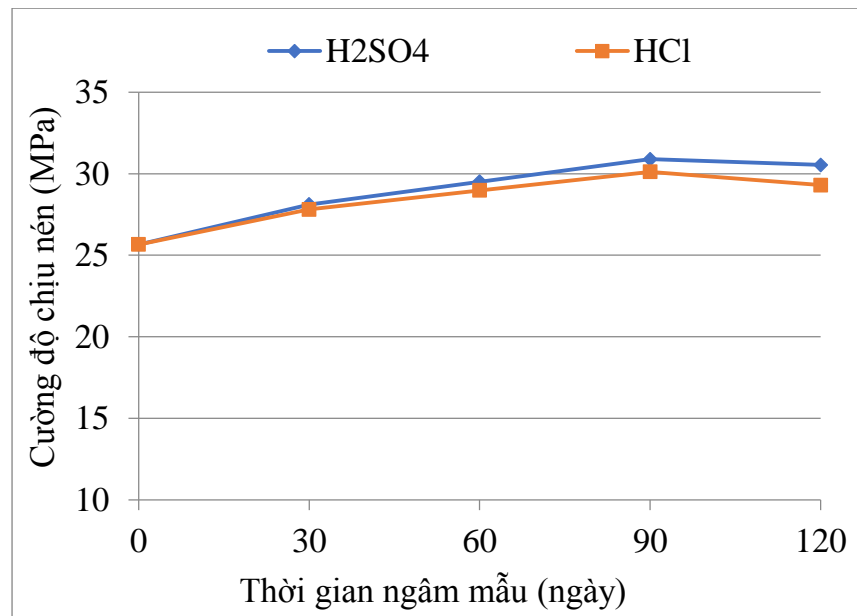
Cường độ chịu nén (MPa)					
Thời gian (ngày)	0	30	60	90	120
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	14.99	17.08	18.93	18.59	17.99
HCL 10%	14.99	16.53	18.36	17.96	16.81

b) Cấp phối CP3 (10%SF)

Cường độ chịu nén (MPa)					
Thời gian (ngày)	0	30	60	90	120
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	25.66	28.11	29.51	30.89	30.53
HCL 10%	25.66	27.81	28.98	30.11	29.30



Hình 4.7 Cường độ chịu nén của cấp phối CP1 (0%SF) theo thời gian ngâm trong môi trường dung dịch H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> và HCl 10%



Hình 4.8 Cường độ chịu nén của cấp phối CP3 (10%SF) theo thời gian ngâm trong môi trường dung dịch H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> và HCl 10%

Kết quả thí nghiệm cho thấy CP1 có cường độ chịu nén tăng dần sau 60 ngày ngâm mẫu trong hai môi trường axit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> và HCl, mức tăng tương ứng 26.2% và 22.4%, sau đó giảm dần cường độ đến 120 ngày, mức giảm tương ứng 6.2% và 10.3% so với mẫu tại thời điểm 60 ngày. Cường độ chịu nén của cấp phối sử dụng 10% silicafume (CP3) tiếp tục phát triển cường độ chịu nén đến thời điểm 90 ngày theo kết quả thí nghiệm, mức tăng tương ứng 106 và 100.87% so với mẫu đối chứng. Tuy nhiên khi tăng thời gian ngâm mẫu lên 120 ngày thì cường độ chịu nén giảm xuống tương ứng 2.37 và 5.42% so với thời điểm 90 ngày.

#### **4.6 Độ thay đổi khối lượng của cấp phối CP1 (0%SF), CP3 (10%SF) theo thời gian ngâm trong môi trường dung dịch H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> và HCl 10%**

Kết quả thí nghiệm về độ thay đổi khối lượng của cấp phối CP1, CP3 theo thời gian ngâm trong môi trường dung dịch H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> và HCl 10% được trình bày trong Bảng 4.5.

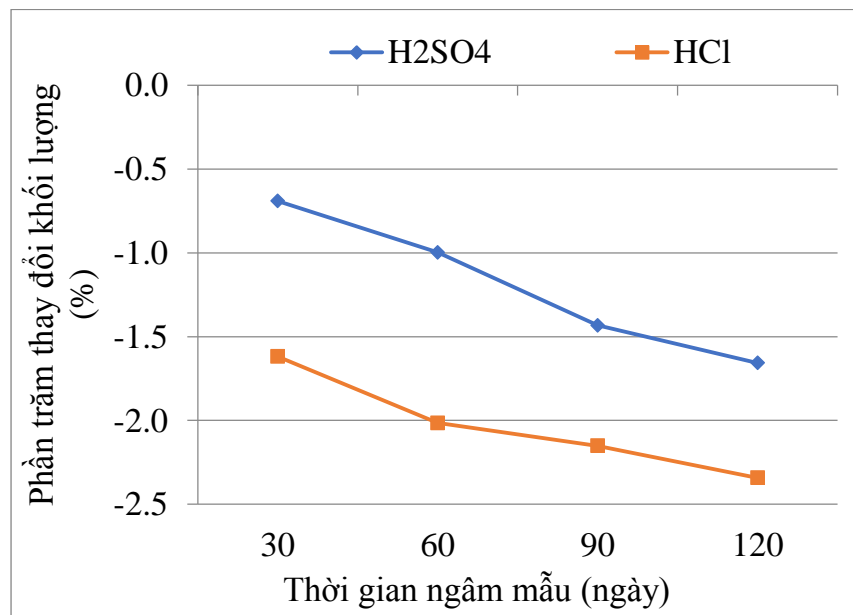
Bảng 4.5 Độ thay đổi khối lượng của CP1, CP3 (%)

a) Cấp phối CP1 (0%SF: cấp phối đối chứng)

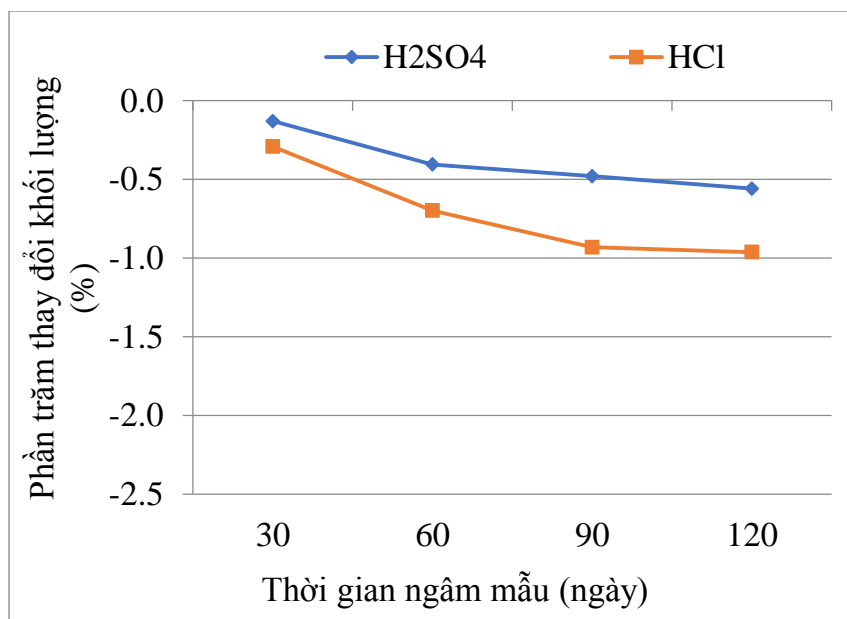
% khối lượng thay đổi				
Thời gian (ngày)	30	60	90	120
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	-0.69	-1.00	-1.43	-1.66
HCL 10%	-1.62	-2.02	-2.15	-2.34

b) Cấp phối CP3 (10%SF)

% khối lượng thay đổi				
Thời gian (ngày)	30	60	90	120
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10%	-0.13	-0.41	-0.48	-0.56
HCL 10%	-0.29	-0.70	-0.93	-0.96



Hình 4.9 Độ thay đổi khối lượng của cấp phối CP1 (0%SF) theo thời gian ngâm trong môi trường dung dịch H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> và HCl 10%



Hình 4.10 Độ thay đổi khối lượng của cấp phối CP3 (10%SF) theo thời gian ngâm trong môi trường dung dịch H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> và HCl 10%

Độ thay đổi khối lượng ở cấp phối CP1, CP3 đều có xu hướng giảm dần. Trong hai loại dung dịch axit dùng để ngâm mẫu thì dung dịch HCl 10% có tốc độ giảm khối lượng nhiều hơn 0.96% sau 120 ngày ngâm mẫu cho CP3. Điều này cho thấy có sự phản ứng mạng của dung dịch ngâm mẫu lên khối lượng của mẫu bê tông geopolymer. Tuy nhiên, so với mẫu đối chứng (CP1) thì sự giảm khối lượng của cấp phối CP3 tồn tại trong môi trường axit vẫn bé hơn, mẫu bê tông đối chứng giảm khối lượng lên đến 2.34% sau 120 ngày. Đây cũng chính là nhận định của X.J.Song và cộng sự [13], bê tông geopolymer ngâm trong dung dịch axit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10%, sau 56 ngày cho thấy tổn thất khối lượng của bê tông là ít hơn 3% và khối geopolymer còn nguyên vẹn về mặt cấu trúc và vẫn có khả năng chịu tải đáng kể mặc dù toàn bộ đã trung hòa bởi axit.



# Chương 5: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN CỦA ĐỀ TÀI

## 5.1 Kết luận

Đề tài nghiên cứu thực nghiệm nhằm bảo vệ môi trường, bảo vệ nguồn tài nguyên thiên nhiên và tận dụng các nguồn nguyên vật liệu phụ phẩm, phế phẩm để chế tạo ra bê tông geopolymer sử dụng silicafume thay thế tro bay khi ngâm trong môi trường axit nhằm đánh giá độ bền và khả năng chống ăn mòn của loại bê tông này trong điều kiện môi trường làm việc khắc nghiệt. Từ đó, đề tài hướng đến phát triển các sản phẩm mang tính thân thiện với môi trường và bền vững theo thời gian nhằm phục vụ cho nhu cầu ngày càng cao của con người.

Một số nhận xét và kết luận được rút ra như sau:

- Bê tông geopolymer sử dụng silicafume thay thế tro bay sau một thời gian ngâm trong môi trường axit có cường độ chịu nén tương đối ổn định. Điều này cho thấy khả năng làm việc của bê tông geopolymer sử dụng silicafume thay thế tro bay trong môi trường xâm thực.
- Khả năng chịu nén của bê tông geopolymer đối với các loại hóa chất cũng thể hiện rõ rệt khi tăng hàm lượng silicafume. Đối với cấp phối sử dụng hàm lượng 5% đến 10% silicafume thay thế tro bay sau thời gian 120 ngày ngâm trong các môi trường axit có nồng độ lần lượt  $H_2SO_4$  5%,  $H_2SO_4$  10%, HCl 5%, HCl 10% thì đạt cường độ tốt hơn. So với mẫu đối chứng, mức tăng cường độ tương ứng với hàm lượng 5% silicafume là 55.72, 50.33, 49.98, 41.65%, với hàm lượng 10% silicafume là 113.26, 103.67, 106.31, 95.45%. Tuy nhiên khi hàm lượng silicafume tăng lên 15% thì cường độ chịu nén của cấp phối bê tông này giảm xuống tương ứng 59.71, 63.81, 62.04, 62.76% so với cấp phối sử dụng hàm lượng silicafume 10%.

- Khả năng chống ăn mòn đối với các loại hóa chất cũng thể hiện rõ rệt khi tăng hàm lượng silicafume. Đối với cấp phối sử dụng hàm lượng 5% đến 10% silicafume thay thế tro bay sau thời gian 120 ngày ngâm trong môi trường axit có nồng độ lần lượt  $H_2SO_4$  5%,  $H_2SO_4$  10%, HCl 5%, HCl 10% có tổn thất khối lượng thấp nhất, mức giảm khối lượng tương ứng với hàm lượng 5% silicafume là 0.74, 0.9, 1.02, 1.84% với hàm lượng 10% silicafume là 0.44, 0.56, 0.58, 0.96%. Tuy nhiên khi hàm lượng silicafume tăng lên 15% thì mức giảm khối lượng nhiều hơn tương ứng là 0.24, 0.26, 0.34, 0.73%, so với mức giảm khối lượng của bê tông có hàm lượng 10% silicafume. Trong khi cấp phối bê tông đối chứng có mức giảm khối lượng lớn tương ứng là 1.08, 1.66, 1.49, 2.34%.
- Cấp phối bê tông geopolymer sử dụng hàm lượng 10% silicafume thay thế tro bay sau thời gian 120 ngày ngâm trong môi trường axit có nồng độ tương ứng  $H_2SO_4$  và HCl 10% đạt cường độ chịu nén cao hơn 83% so với cấp phối bê tông geopolymer đối chứng và mất khối lượng là 0.96%. Trong khi cấp phối bê tông geopolymer đối chứng (cấp phối không có silicafume) cường độ chịu nén tăng đến 20% và mất khối lượng lên đến 2.34% sau 120 ngày tiếp xúc với axit  $H_2SO_4$  và HCl nồng độ 10%.

## 5.2 Hướng phát triển đề tài

Kết quả của nghiên cứu có thể phát triển rộng hơn, đánh giá toàn bộ các yếu tố, không chỉ dừng lại ở bài toán cường độ và khối lượng ăn mòn thực nghiệm trên mẫu thử. Có thể mở rộng ra cho các cấu kiện công trình, nghiên cứu các hệ số liên quan đến chất lượng bê tông như mô đun đàn hồi, hệ số poisson,... góp phần hoàn thiện lý thuyết tính toán, cơ sở khoa học cho một vật liệu mới thân thiện với môi trường nhằm đưa bê tông geopolymer vào sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực xây dựng.

Đồng thời để có thể dự đoán nghiên cứu sâu hơn về những khả năng chống chọi trước nhiều yếu tố tác động từ môi trường khác nhau và tiếp tục phát triển thêm lĩnh vực mô phỏng ăn mòn ở nhiều loại hóa chất gây ăn mòn khác.

Ngoài ra còn có thể áp dụng silicafume thay thế tro bay để tăng cường khả năng chống ăn mòn cho bê tông geopolymer sử dụng các vật liệu nhẹ...

## DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] <https://vov.vn/tin-24h/khoi-bui-tu-nha-may-xi-mang-van-ninh-o-quang-binh-gay-o-nhiem-nang-720085.vov>.
- [2] <https://laodong.vn/kinh-te/van-con-nhieu-nha-may-nhiet-dien-gay-o-nhiem-moi-truong-515514.ldo>.
- [3] <http://www.vusta.vn/vi/news/Thong-tin-Su-kien-Thanh-tuu-KH-CN/Su-an-mon-pha-hoi-xi-mang-Portland-trong-moi-truong-nuoc-thai-15349.html>.
- [4] <https://vatlieuxaydung.org.vn/vlxd-ket-cau/be-tong/su-an-mon-ket-cau-be-tong-cot-thep-nguyen-nhan-va-cach-phong-tranh-3838.htm>.
- [5] <http://vikhanh.com.vn/phu-gia-be-tong-grace/phu-gia-ben-sunfat-khang-axit-chong-an-mon-clorua>.
- [6] J.Davidovits, Geopolymers – Inorganic polymeric new materials, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 1991.
- [7] B.V.Rangan và D.Hardjito, Development and Properties of Low-calcium fly ash based Geopolymer concrete, in Research report GC 1 Faculty of Engineering Curtin University of Technology Perth, Australia. p. 103, 2005.
- [8] H.Kamarudin, A.M.Mustafa Al Bakri, M.Bnhussain, I.K.Nuzar, A.R.Rafiza và Y.Zarina, Mechanism and chemical reaction of Fly ash Geopolymer cement, Journal of Asian Scientific Research, Vol.1, pp.247-253, 2011.
- [9] L.Krishnan, S.Karthikeyan, S.Nathiya, K.Suganya, Geopolymer concrete an eco-friendly construction material, International Journal of Research in Engineering and Technology, Vol.3, pp.164-167, 2014.
- [10] B.V.Rangan, Geopolymer concrete for environment protection, The Indian Concrete Journal, pp.41-59, 2014.
- [11] D.Hardjito, Studies of fly ash-based geopolymer concrete, Proceedings of the World Congress Geopolymer, 2005.

- [12] A.Allahverdi và F.Skvara, Sulfuric acid attack on hardened, Department of Glass and Ceramics, Institute of Chemical Technology Prague Technicka 5, Czech Republic, 2005.
- [13] X.J.Song, M.Marosszeky, M.Brungs, R.Munn, Durability of fly ash based Geopolymer concrete against sulphuric acid attack, in Durability of Building Materials and Components LYON, France, 2005.
- [14] Nguyễn Văn Dũng, Nghiên cứu chế tạo bê tông Geopolymer từ tro bay, Tạp chí KH-CN - Đại học Đà Nẵng, số 5, tr. 78-85, 2014.
- [15] Phan Đức Hùng và Lê Anh Tuấn, Nghiên cứu cường độ chịu nén của bê tông sử dụng sợi polypropylene và silica fume, Tạp chí KH-CN Xây dựng, số 01, 2016.
- [16] Đinh Anh Tuấn và Nguyễn Mạnh Trường, Nghiên cứu thực trạng ăn mòn và phá hủy các công trình bê tông cốt thép bảo vệ bờ biển ở Việt Nam, Tạp chí KH-CN Thủy lợi, số 14, 2013.
- [17] Phan Đức Hùng, Nghiên cứu độ bền của bê tông geopolymer trong các môi trường xâm thực, Tạp chí Người xây dựng, số tháng 11&12, 2015.
- [18] ASTM C618-94a, Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan Use as Aminerall Admixture in Portland Cement Concrete, ASTM International, 1994.
- [19] TCVN 4506:2012, Nước trộn bê tông và vữa – yêu cầu kỹ thuật, Nhà xuất bản xây dựng Hà Nội, 2012.
- [20] A.Palomo, M.W.Grutzeck và M.T.Blanco, Alkali-activated fly ash cement for the furthure, Cement and Concrete Research, Vol.29, pp.1323-1329, 1999.
- [21] V.D.Glukhovshy, High strength slag alkaline cements, Proceedings of the seventh international congress on the chemistry of cement, Vol.3, pp.164-168, 1980.
- [22] A.C.Institution, State of the art of high strength concrete, in ACI Committee 363, 1993.

- [23] Nguyễn Mạnh Phát, Lý thuyết ăn mòn và chống ăn mòn bê tông – Bê tông cốt thép trong xây dựng, Nhà xuất bản Xây dựng, 2007.
- [24] Phạm Hữu Hanh, Lê Trung Thành và Nguyễn Văn Tuấn, Bê tông cho công trình biển, Nhà xuất bản Xây dựng, 2013.
- [25] Nguyễn Thanh Bằng và Phạm Đức Trung, Ảnh hưởng của phụ gia khoáng hoạt tính silicafume đến các tính chất của bê tông, Tuyển tập khoa học công nghệ 50 năm xây dựng và phát triển, tập II, Nhà xuất bản nông nghiệp, 2010.
- [26] TCVN 7572:2006, Cốt liệu cho bê tông và vữa, Nhà xuất bản xây dựng Hà Nội, 2006.
- [27] TCVN 8827:2011, Phụ gia khoáng hoạt tính cao dùng cho bê tông và vữa – Silicafume và tro trấu nghiền mịn, Nhà xuất bản xây dựng Hà Nội, 2011.
- [28] TCVN 3118:1993, Bê tông nặng – Phương pháp xác định cường độ nén, Nhà xuất bản xây dựng Hà Nội, 1993.
- [29] I.R.I.Raj và B.Shanmugavalli, A study on the effect of silica fume on the properties of recycled aggregate concrete, Journal of Mechanical And Civil Engineering, Vol. 2, pp.5-15, 2015.
- [30] Phan Đức Hùng và Lê Anh Tuấn, Ảnh hưởng của điều kiện gia nhiệt nguyên vật liệu đến quá trình Geopolymer hóa của vữa, Tạp chí xây dựng, số tháng 3, 2015.
- [31] S.Wallah và B.V.Rangan, Low-calcium fly ash-based geopolymer concrete: Long-term properties, Curtin University of Technology, Perth, Australia, 2006.

