



**TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC**

# **KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG**

**Hà Nội, 11 - 11 - 2022**

**ERSD 2022**



**NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI**

## Nghiên cứu bê tông thông minh cường độ cao có khả năng tự cảm biến sử dụng xi thép và sợi thép dưới tác dụng tải trọng nén

Lê Huy Việt<sup>1,2\*</sup>, Nguyễn Văn Mạnh<sup>1,2</sup>, Nguyễn Văn Khuê<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Mở - Địa chất

<sup>2</sup> Nhóm nghiên cứu địa kỹ thuật, vật liệu và phát triển bền vững, Trường Đại học Mở - Địa chất

<sup>3</sup> Học viên cao học trường Đại học Mở - Địa chất

### TÓM TẮT

Các thảm họa phá hủy đột ngột công trình với thiệt hại nghiêm trọng về người và tài sản đặt ra vấn đề cấp thiết trong công tác đánh giá và cảnh báo trạng thái của kết cấu công trình (Structural Health Monitoring, SHM). Các biện pháp SHM phổ biến hiện nay là sử dụng các cảm biến điện trở để đo ứng suất và biến dạng có một số nhược điểm như cảm biến có giá thành cao, tuổi thọ và độ bền thấp so với tuổi thọ của kết cấu. Gần đây, bê tông thông minh với khả năng tự cảm biến được phát triển bằng cách phân tán các vật liệu tăng cường độ dẫn điện cao vào bê tông để vượt qua các nhược điểm của sử dụng cảm biến trong SHM. Dưới tác dụng của tải trọng, mạng lưới các chất dẫn điện trong bê tông thông minh sẽ thay đổi, từ đó trạng thái ứng suất/biến dạng hoặc sự hình thành vết nứt trong vật liệu bê tông thông minh có thể được đánh giá theo thời gian thực. Trong bài báo này, khả năng tự cảm biến ứng suất của bê tông thông minh cường độ cao sử dụng sợi thép và xi thép được nghiên cứu thông qua đánh giá phản hồi điện trở dưới tác dụng tải trọng nén. Kết quả thí nghiệm chỉ ra rằng, dưới tác dụng tải trọng nén, điện trở của bê tông thông minh cường độ cao sử dụng sợi thép và xi thép giảm đáng kể khi ứng suất nén tăng. Dựa vào biểu đồ phản hồi cơ điện của bê tông thông minh, với mỗi giá trị điện trở hoặc thay đổi điện trở của bê tông thông minh, giá trị ứng suất hoặc khoảng thay đổi ứng suất của nó sẽ được xác định tương ứng. Một mô hình về sự thay đổi mạng lưới chất dẫn điện trong bê tông thông minh cường độ cao được đưa ra để giải thích phản hồi điện trở dưới tác dụng của tải trọng.

*Từ khóa:* bê tông thông minh; tự cảm biến; sợi thép; xi thép; cường độ cao.

### 1. Đặt vấn đề

Các công trình xây dựng, hạ tầng bị phá hủy đột ngột gây ra các thảm họa cho người và tài sản. Một số thảm họa phá hủy trên thế giới như sự cố phá hủy của cầu bạc (Silver bridge) Mỹ năm 1967 (46 người chết), cầu Seongsu Hàn Quốc năm 1994 (32 người chết), cầu Morandi Ý năm 2018 (35 người chết), ... Do đó, việc kiểm tra, giám sát tình trạng và an toàn của kết cấu (structural health monitoring, SHM) là hết sức cần thiết để các cơ quan quản lý sớm đưa các biện pháp duy trì, bảo dưỡng và sửa chữa tránh các thảm họa do phá hủy công trình đột ngột gây ra.

Các công cụ đánh giá trạng thái kết cấu theo thời gian thực hiện nay sử dụng chủ yếu các cảm biến (sensors) dựa trên sự thay đổi điện trở để đo ứng suất và biến dạng. Hai loại cảm biến sử dụng phổ biến là cảm biến gắn ngoài và cảm biến chôn vào trong kết cấu. Tuy nhiên, sử dụng các cảm biến này trong các kết cấu bê tông có một số nhược điểm kể đến như chi phí cảm biến cao, độ bền và tuổi thọ cảm biến so với tuổi thọ công trình thấp, việc sử dụng cảm biến chủ yếu chỉ áp dụng cho một vài điểm trên kết cấu. Bên cạnh đó, sử dụng các cảm biến chôn vào trong bê tông có thể gây ảnh hưởng đến cường độ kết cấu bê tông.

Gần đây, bê tông thông minh có khả năng tự cảm biến ứng suất hay còn gọi là bê tông tự cảm biến là loại vật liệu mới được nghiên cứu gần đây trên thế giới và còn khá mới ở Việt Nam có thể sử dụng thay thế việc sử dụng các cảm biến ứng suất hiện có cho các công tác đánh giá trạng thái kết cấu công trình xây dựng. Han và cộng sự (B. Han, Yu, and Ou 2014) định nghĩa: “bê tông thông minh có khả năng tự cảm biến còn được gọi là bê tông tự cảm biến, là vật liệu được chế tạo bằng cách cho thêm các chất chèn tính năng (sợi carbon, sợi thép, ống nano carbon, bột niken, ...) vào trong bê tông thông thường để tăng khả năng cảm ứng biến dạng, ứng suất, vết nứt hoặc hư hại bên trong chính nó trong khi duy trì hoặc cải

\* Tác giả liên hệ

Email: lehuyviet@humg.edu.vn

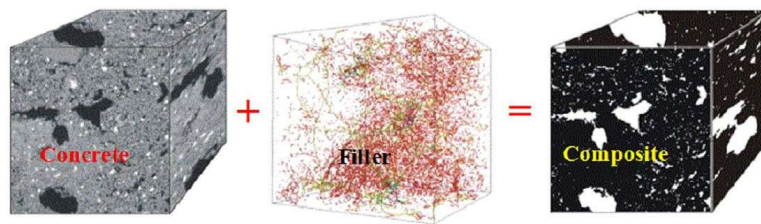
thiện các đặc trưng cơ học của bê tông. Dưới tác dụng của tải trọng, biến dạng của bê tông thay đổi dẫn đến mạng lưới chất dẫn điện bên trong bê tông thay đổi, do đó điện trở của bê tông thay đổi. Dựa vào sự thay đổi điện trở giữa các điện cực đo được dán hoặc chôn sẵn vào trong bê tông, ứng suất, biến dạng, sự hình thành vết nứt của bê tông tự cảm biến có thể được đánh giá. Một số chất dẫn điện cao thường được sử dụng cho vào bê tông tự cảm biến như bột các bon, sợi các bon, sợi thép, ống nano các bon, ...

Ở Việt Nam, nghiên cứu bê tông thông minh với khả năng tự cảm biến hiện vẫn đang là lĩnh vực mới và tiềm năng. Nhóm nghiên cứu của Nguyễn Duy Liêm và cộng sự (Nguyen et al. 2019) công bố nghiên cứu về bê tông thông minh có khả năng cảm biến vết nứt sử dụng muội than, xỉ lò cao (GGBS) và sợi thép dưới tác dụng tải trọng kéo. Nhóm nghiên cứu đã báo cáo rằng, việc sử dụng xỉ lò cao, muội than và sợi thép tăng khả năng dẫn điện của bê tông thông minh và phản hồi cơ điện (điện trở/điện trở suất) của bê tông thông minh thay đổi rõ ràng khi mẫu bê tông bị nứt do tải trọng kéo. Khi cấu kiện bê tông thông minh có vết nứt, sự dịch chuyển dòng điện trong mẫu tại vị trí vết nứt sẽ chỉ truyền thông qua các sợi thép nối giữa hai phần bê tông hai bên vết nứt dẫn đến sự thay đổi về điện trở của bê tông. Các nghiên cứu về bê tông thông minh với khả năng tự cảm biến ứng suất chưa được công bố hoặc tìm thấy tại Việt Nam.

Vì vậy, nghiên cứu bê tông thông minh cường độ cao có khả năng tự cảm biến sử dụng xỉ thép và sợi thép dưới tác dụng tải trọng nén có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao. Khả năng tự cảm biến của bê tông thông minh cường độ cao được đánh giá qua phản hồi cơ điện (sự thay đổi điện trở) của nó dưới tác dụng của tải trọng.

## 2. Đặc điểm của bê tông thông minh

Bê tông thông minh có khả năng tự cảm biến là vật liệu mà chính bản thân bê tông có khả năng làm việc như các cảm biến để đánh giá trạng thái ứng suất, biến dạng, sự hình thành vết nứt dựa trên sự thay đổi điện trở của nó dưới tác dụng tải trọng ngoài. Các điện cực đo điện trở có thể được chôn hoặc gắn ngoài bề mặt của cấu kiện bê tông. Thiết bị đo điện trở có thể sử dụng dòng điện một chiều (Direct Current, DC) hoặc xoay chiều (Alternative current, AC).



Hình 1. Cấu trúc bê tông thông minh (B. Han, Yu, and Ou 2014)

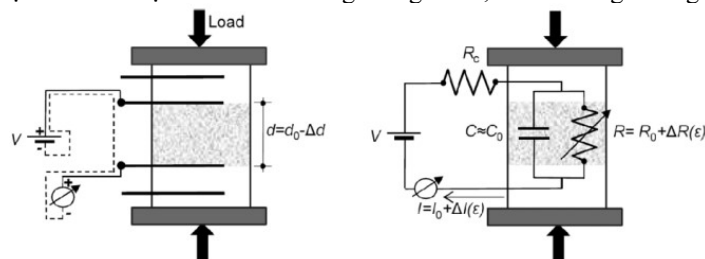
Đặc trưng cảm ứng của bê tông thông minh được đánh giá thông qua lượng thay đổi giữa điện trở hoặc điện trở suất và tải trọng ngoài hoặc ứng suất và biến dạng (fractional change in resistance, FCR).

$$FCR = \frac{\Delta R}{R_0} = \frac{\Delta \rho}{\rho_0} = f(X)$$

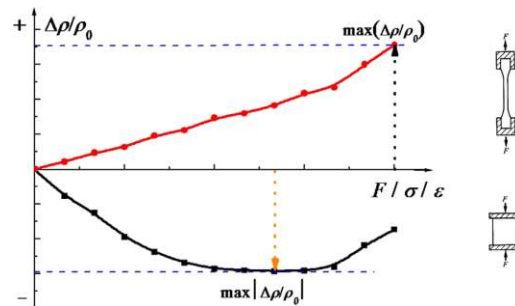
$\Delta R$ ,  $\Delta \rho$  lần lượt là sự thay đổi điện trở và điện trở suất trong khi  $R_0$  và  $\rho_0$  lần lượt là điện trở ban đầu và điện trở suất ban đầu của bê tông thông minh. Các giá trị điện trở được xác định giữa các điện cực đo khi không tải ( $R_0$ ,  $\rho_0$ ) và khi có tải. Điện trở suất  $\rho$  được xác định từ giá trị điện trở đo được giữa 2 điện cực đo theo công thức:

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

Trong đó,  $A$  là diện tích tiết diện của mẫu bê tông thông minh,  $L$  là khoảng cách giữa 2 điện cực đo.







Hình 2. Thí nghiệm xác định thay đổi điện trở của bê tông thông minh dưới tác dụng tải trọng và phản ứng cơ điện điển hình của bê tông thông minh (Gao, Sturm, and Mo 2009; B. G. Han, Han, and Ou 2009; B. Han, Yu, and Ou 2014; Li, Xiao, and Ou 2004)

Các vật liệu phân tán có độ dẫn điện cao được phân tán vào trong bê tông để tạo ra mạng lưới dẫn điện trong bê tông. Dưới tác dụng của tải trọng, vật liệu bê tông thông minh bị biến dạng hoặc hình thành vết nứt dẫn đến mạng lưới và cấu trúc dẫn điện bên trong bản thân vật liệu bê tông thông minh thay đổi từ đó dẫn tới sự thay đổi điện trở đo được.

Hình 2 biểu diễn mối quan hệ đặc trưng giữa FCR và ứng suất nén của bê tông thông minh, có thể chia thành 3 giai đoạn gồm giảm nhanh, giảm nhẹ hoặc đi ngang và tăng dần. Giai đoạn 1, FCR giảm tuyến tính với sự tăng của ứng suất nén khi bê tông đang làm việc trong giới hạn đàn hồi. Trong giai đoạn này, dưới tác dụng ứng suất nén, các chất tăng cường gắn lại với nhau từ đó cải thiện mạng lưới dẫn điện trong bê tông thông minh dẫn đến giá trị điện trở giảm. Giai đoạn 2, FCR giảm nhẹ phi tuyến hoặc gần như không đổi khi bê tông thông minh bắt đầu hình thành vết nứt. Ở giai đoạn này, sự hình thành các vết nứt ở kích thước micro mét dẫn đến tăng điện trở ở các vị trí vết nứt trong khi đó biến dạng nén và ứng suất nén vẫn tăng dẫn đến khoảng cách và kết nối của các chất tăng cường FF vẫn tăng. Do đó, với sự tăng dần và phát triển của các vết nứt ở kích thước micro mét, xu hướng giảm của FCR chậm dần và có thể đi ngang. Giai đoạn 3, FCR tăng phi tuyến với sự tăng của ứng suất khi các vết nứt trong bê tông hình thành nhiều và phát triển mở rộng. Ở giai đoạn này, khi các vết nứt bắt đầu mở rộng, kích thước vết nứt trở nên rõ ràng dẫn đến sự tăng điện trở chiếm vai trò chủ đạo và kết quả là điện trở của bê tông thông minh tăng dần.

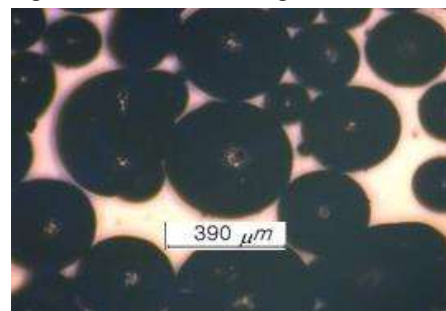
### 3. Vật liệu và thí nghiệm

#### 3.1. Vật liệu

Trong nghiên cứu này, cấp phối cho bê tông thông minh được trình bày trong Bảng 2.1. Hai loại mẫu bê tông thông minh cường độ cao được chuẩn bị gồm mẫu có chất tăng cường là sợi thép (F1S0) và mẫu có chất tăng cường là cả sợi thép và xi thép (F1S1). Xi măng sử dụng xi măng loại 1 theo tiêu chuẩn ASTM, cát hạt mịn đường kính hạt trung bình 0.6 mm. Muội silic (silica fume) chứa trên 90% SiO<sub>2</sub>, đường kính hạt. Bột silicat (silica powder) đường kính trung bình 0.1 mm. Phụ gia siêu dẻo (superplasticizer) gốc carbonpolyxilate chứa 30% rắn và 70% nước. Xi thép sử dụng là PS Ball, hình cầu, sản xuất theo công nghệ SAT, đường kính trung bình 0.39 mm. Thành phần hóa học của xi thép (steel slag aggregates, SSAs) gồm 24.1 % CaO, 38.3% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 13.1% SiO<sub>2</sub>, 6.31% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3.68% MgO, 14.01% thành phần khác và <0.2% CaO tự do, trọng lượng riêng 3.45 g/cm<sup>3</sup>. Xi thép sản xuất theo công nghệ SAT đặc điểm ít Cao và MgO tự do nên không gây ra hiện tượng thay đổi thể tích của bê tông (do CaO và MgO phản ứng thành phần trong quá trình thủy hóa của bê tông gây ra hiện tượng nứt, vỡ mẫu do biến dạng thể tích). Sợi thép sử dụng đường kính 0.2 mm, chiều dài 6 mm. Hình ảnh sợi thép và xi thép được biểu diễn trên Hình 3. Lưới đồng kích thước 50x70 mm với khoảng cách mắt lưới là 10x10 mm dùng làm điện cực đo cho bê tông thông minh. Khoảng cách giữa 2 điện cực đo trong mỗi mẫu là 20 mm.



a) Sợi thép



b) Xi thép

Hình 3. Hình ảnh sợi thép và xi thép

*Bảng 2.1. Thành phần vật liệu theo tỷ lệ % khối lượng trong cấp phối bê tông thông minh*

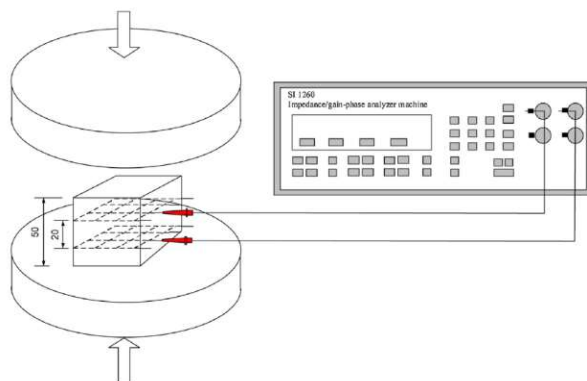
Ký hiệu	Xi măng	Cát	Bột silicat (silica powder)	Muội silic (silica fume)	Nước	Phụ gia siêu dẻo	Xi thép	Sợi thép (vol%)	Cường độ nén (MPa)	Độ chảy xòe (mm)
F1S0	1	1	0.3	0.25	0.2	0.006	-	1	178	245
F1S1	1	-	0.3	0.25	0.2	0.0045	1	1	182	260

### 3.2. Chuẩn bị mẫu thí nghiệm

Máy trộn Horbat dung tích 20 lít được sử dụng để tiến hành trộn mẫu bê tông thông minh. Xi măng, silica fume, silica powder, cát hoặc xi thép được trộn khô trong 5 phút đảm bảo các vật liệu được trộn đều với nhau. Sau đó, nước được cho từ từ vào cối trộn trong khoảng 2 phút. Phụ gia siêu dẻo được cho vào cối trộn trong khoảng 3 phút, máy trộn tiếp tục quay đến khi hỗn hợp vừa bê tông đảm bảo độ quánh và độ chảy dẻo (xác định định lượng theo thí nghiệm xác định độ chảy xòe sử dụng côn mini có giá trị dao động trong khoảng 250 đến 260 mm). Sợi thép sẽ được cho vào cối trộn cẩn thận bằng tay đảm bảo sợi thép phân tán đều trong hỗn hợp vừa. Hỗn hợp vừa gồm sợi thép được rót vào các mẫu lập phương kích thước 50x50x50 mm<sup>3</sup>. Các mẫu được tháo ván khuôn sau 2 ngày bảo dưỡng ở nhiệt độ phòng, sau đó tất cả các mẫu được cho vào bể dưỡng hộ có nước được điều chỉnh ở nhiệt độ 90 °C trong 3 ngày. Mẫu sau khi được bảo dưỡng vớt ra để ở điều kiện phòng 1 ngày trước khi tiến hành thí nghiệm.

### 3.3. Thiết lập thí nghiệm

Hình 4 biểu diễn thí nghiệm xác định phản hồi cơ điện của bê tông thông minh. Lực nén tác dụng lên mẫu bê tông thông minh sử dụng máy thí nghiệm Universal testing machine (UTM) với lực nén tối đa 300 tấn với tốc độ gia tải 1 mm/phút. Phản hồi cơ điện của mẫu bê tông thông minh được đo đồng thời trong quá trình gia tải thông qua máy đo điện trở xoay chiều SI1260 Impedance analyzer machine. Sử dụng đo điện trở bằng máy đo điện trở xoay chiều (AC machine) có ưu điểm không gây ra quá trình phân cực trong mẫu bê tông thông minh và có thể tiến hành được ngay không cần tốn thời gian chờ quá trình phân cực kết thúc như sử dụng máy đo điện trở dòng điện một chiều (DC multimeter) (Kim, Le, and Kim 2021; Le et al. 2021).



*Hình 4. Hình ảnh thí nghiệm xác định phản hồi cơ điện của bê tông thông minh dưới tác dụng tải trọng nén*

## 4. Kết quả và thảo luận

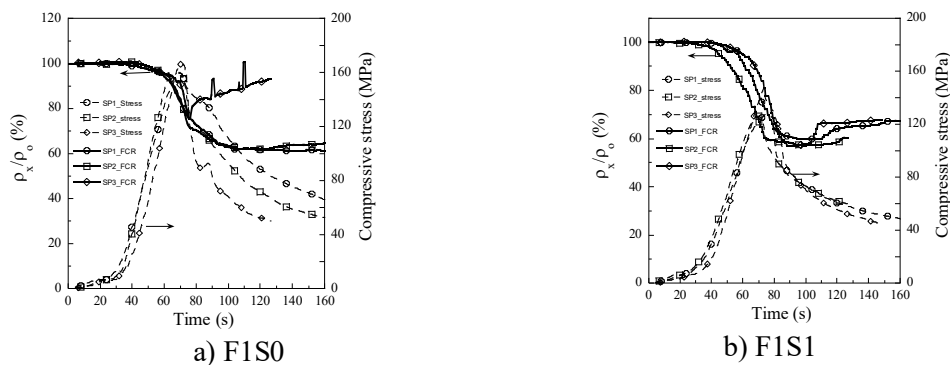
Mẫu bê tông sử dụng sợi thép kết hợp xi thép (F1S1) có cường độ nén và độ chảy xòe tăng nhẹ so với mẫu bê tông chỉ sử dụng sợi thép (F1S0). Như tổng hợp trong bảng 1, cường độ và độ chảy xòe của mẫu F1S1 là 182 MPa và 260 mm lần lượt trong khi của mẫu F1S0 là 178 MPa và 245 mm lần lượt. Như vậy, xi thép sử dụng thay thế cát trong bê tông làm tăng nhẹ độ chảy xòe cũng như cường độ nén của bê tông.

Hình 5 biểu diễn mối quan hệ giữa ứng suất nén và sự thay đổi điện trở suất theo thời gian trong quá trình gia tải nén. Ban đầu, khi ứng suất nén thấp (dưới 20 MPa), thay đổi điện trở ít (gần như đi ngang). Sau đó, điện trở giảm rõ ràng với sự tăng của ứng suất nén tới khi ứng suất nén đạt ứng suất nén lớn nhất. Sau khi ứng suất nén giảm, điện trở mẫu bê tông thông minh tiếp tục giảm chậm dần, sau đó gần như đi ngang. Dựa vào biểu đồ phản hồi cơ điện trên hình 5, ứng với mỗi giá trị điện trở hoặc sự thay đổi điện trở của bê tông thông minh, giá trị ứng suất hoặc sự thay đổi ứng suất của nó có thể được xác định tương

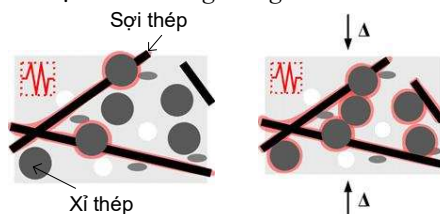
ứng. Như vậy, khả năng tự cảm biến ứng suất của các mẫu bê tông thông minh trong nghiên cứu này là rõ ràng.

Bảng 2 tổng hợp kết quả đánh giá phản hồi cơ điện của 2 loại bê tông thông minh. Điện trở suất ban đầu của mẫu bê tông thông minh F1S1 bao gồm cả sợi thép và xi thép rõ ràng nhỏ hơn của mẫu bê tông thông minh F1S0 chỉ bao gồm sợi thép. Sự có mặt đồng thời của cả sợi thép dạng sợi và xi thép dạng hạt phân tán đều trong bê tông đã cải thiện mạng lưới dẫn điện trong bê tông dẫn đến điện trở suất của mẫu bê tông thông minh F1S1 giảm rõ ràng.

Phần trăm thay đổi điện trở suất của mẫu F1S1 (26.7%) lớn hơn mẫu F1S0 (13.7%). Dưới tác dụng của tải trọng nén, biến dạng nén của mẫu bê tông tăng lên, khoảng cách các chất dẫn điện có xu hướng gần lại với nhau, đồng thời các kết nối giữa các chất dẫn điện với nhau (sợi thép với sợi thép, sợi thép với xi thép và xi thép với xi thép) có xu hướng tăng lên làm cho điện trở của mẫu bê tông thông minh giảm. Sự kết hợp đồng thời của sợi thép và xi thép (mẫu F1S1) rõ ràng cải thiện mạng lưới dẫn điện trong bê tông và làm mạng lưới dẫn điện của bê tông dễ dàng thay đổi hơn dưới tác dụng của tải trọng nén (tăng của biến dạng nén), do đó làm tăng FCR của bê tông thông minh so với sử dụng chỉ có sợi thép (mẫu F1S0). Như vậy, ứng với sự thay đổi ứng suất, sự thay đổi điện trở của mẫu F1S1 là lớn hơn, hay khả năng tự cảm biến ứng suất của mẫu F1S1 là tốt hơn mẫu F1S0. Mô hình sự thay đổi mạng lưới dẫn điện của bê tông thông minh gồm sợi thép và xi thép dưới tác dụng ứng suất nén được biểu diễn trên Hình 6.



Hình 5. Phản hồi cơ điện của bê tông thông minh dưới tác dụng tải trọng nén



Hình 6. Mô hình sự thay đổi mạng lưới dẫn điện của bê tông thông minh gồm sợi thép và xi thép dưới tác dụng của tải trọng nén

Bảng 2 – Kết quả phản hồi cơ điện của bê tông thông minh dưới tác dụng tải trọng nén

Ký hiệu mẫu	Điện trở suất ban đầu, $\rho_o$ (k $\Omega$ -cm)	Điện trở suất ở ứng suất max, $\rho_{max}$ (k $\Omega$ -cm)	FCR (%)
F1S0	331.9 (26.1)	286.4 (23.1)	13.7 (3.5)
F1S1	235.6 (50.7)	172.6 (46.2)	26.7 (5.3)

## 5. Kết luận

Một số kết luận từ kết quả nghiên cứu có thể được rút ra như sau:

Sử dụng xi thép (PS ball) thay thế cát làm tăng nhẹ cường độ nén và độ chảy xèo của bê tông.

Sử dụng kết hợp sợi thép và xi thép làm giảm điện trở ban đầu của bê tông thông minh.

Sử dụng kết hợp sợi thép và xi thép giúp tăng khả năng cảm biến ứng suất của bê tông thông minh. FCR của mẫu F1S0 và F1S1 lần lượt là 13.7% và 26.7%.

Khả năng cảm biến của bê tông thông minh phụ thuộc vào mạng lưới chất dẫn điện bị ảnh hưởng bởi hàm lượng, kích thước của chất dẫn điện. Do đó, hàm lượng, kích thước sợi thép và xi thép có thể được

nghiên cứu thêm để tìm ra hàm lượng và kích thước phù hợp để tối ưu khả năng cảm biến của bê tông thông minh.

#### Lời cảm ơn

Nghiên cứu được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài khoa học công nghệ cấp bộ B2022-MDA-05.

#### Tài liệu tham khảo

- Gao, Di, Mariel Sturm, and Y L Mo. 2009. "Electrical Resistance of Carbon-Nanofiber Concrete." *Smart Materials and Structures* 18: 095039.
- Han, B G, B Z Han, and J P Ou. 2009. "Novel Piezoresistive Composite with High Sensitivity to Stress Strain." *Materials Science and Technology* (June).
- Han, Baoguo, Xun Yu, and Jinping Ou. 2014. *Self-Sensing Concrete in Smart Structures Self-Sensing Concrete in Smart Structures*. Kidlington: Butterworth Heinemann, Elsevier.
- Kim, Min Kyoung, Huy Viet Le, and Dong Joo Kim. 2021. "Electromechanical Response of Smart Ultra-High Performance Concrete under External Loads Corresponding to Different Electrical Measurements." *Sensors (Switzerland)* 21(4): 1–19.
- Le, Huy Viet, Min Kyoung Kim, Dong Joo Kim, and Jongwoong Park. 2021. "Electrical Properties of Smart Ultra-High Performance Concrete under Various Temperatures , Humidities , and Age of Concrete." *Cement and Concrete Composites* 118(September 2020): 103979. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.103979>.
- Li, Hui, Hui-gang Xiao, and Jin-ping Ou. 2004. "A Study on Mechanical and Pressure-Sensitive Properties of Cement Mortar with Nanophase Materials." *Cement and Concrete Research* 34: 435–38.
- Nguyen, Duy Liem, Vu Thi Bich Nga, Do Xuan Son, and Minh Phung Tran. 2019. "Nghiên Cứu Dùng Muối than Đen và Xi Lò Cao Nghiên Mịn Trong Việc Cải Thiện Khả Năng Tự Cảm Biến Của Bê Tông Tính Năng Cao." *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng NUCE* 13: 151–58.

### ABSTRACT

#### (Investigating the self-sensing ability of the high performance concrete containing steel fibers and steel slag aggregates under compression)

Viet Huy Le<sup>1,2\*</sup>, Manh Van Nguyen<sup>1,2</sup>, Khuay Van Nguyen<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Civil engineering, Hanoi University of Mining and Geology

<sup>2</sup> Geotechnical Engineering, Construction Materials and Sustainability research group, Hanoi University of Mining and Geology

<sup>3</sup> Master student of Hanoi University of Mining and Geology

Structural health monitoring (SHM) system has been significantly interested owing to the increasing sudden catastrophic collapses of civil infrastructures, which leads to human death and property damages. Current SHM system used attached or embedded sensors, which have high cost and low durability in comparison with structure life, to detect and inspect damages and cracks in the structures. Recently, smart concretes with self-sensing ability have been studied to overcome the disadvantages of sensors in SHM systems by adding electrically conductive functional fillers (FFs). In this paper, the self-stress sensing ability of smart high performance concrete containing steel fibers and steel slag aggregates as FFs were investigated. The results indicated that as the compressive stress increased, the electrical resistivity of smart high performance concrete clearly decreased because of decreasing distance between FFs and increasing FF connections. The addition of both steel fibers and steel slag aggregate enhanced the self-stress sensing ability of smart concrete. A model was proposed to explain the electrical resistivity response of smart concrete under compression.

**Keywords:** smart concrete; self-stress sensing; steel fiber; steel slag aggregate; high strength.