

VẬT LIỆU PHỦ LITI SILICÁT BẢO VỆ BỀ MẶT BÊ - TÔNG XI - MĂNG

TS. NGUYỄN KHÁNH SƠN, ThS. HUỖNH NGỌC MINH, KS. TRẦN ANH TÚ,
KS. NGUYỄN HOÀNG TUẤN

Trường ĐH Bách Khoa Tp. Hồ Chí Minh

Tóm tắt: Trong bài báo, các tác giả sẽ trình bày nghiên cứu thực nghiệm về phản ứng kết hợp giữa vật liệu phủ gốc silicát và vôi tạo thành sản phẩm phủ giúp tăng cứng, chống thấm cho bề mặt vật liệu bê-tông xi-măng. Quy trình thực nghiệm bao gồm chuẩn bị hỗn hợp dung dịch phủ liti silicát sau khi nấu thủy tinh trong phòng thí nghiệm và tiến hành áp dụng phủ lên bề mặt vật liệu bê-tông xi-măng. Cơ chế phản ứng tạo các sản phẩm C-S-H trên bề mặt bê-tông; đồng thời đóng vai trò làm lớp phủ cứng được làm rõ qua các phép phân tích đánh giá vật liệu. Kết quả đánh giá tính chất lớp phủ bao gồm: ảnh chụp vi cấu trúc SEM, thử độ cứng Rockwell, tính kháng nước bề mặt cho thấy ưu thế giúp bảo vệ bê-tông chống lại các tác động cơ-lý hóa từ môi trường.

Từ khóa: lớp phủ silicát, phủ tăng cứng bê-tông, liti silicát, tính bền bê-tông xi-măng,

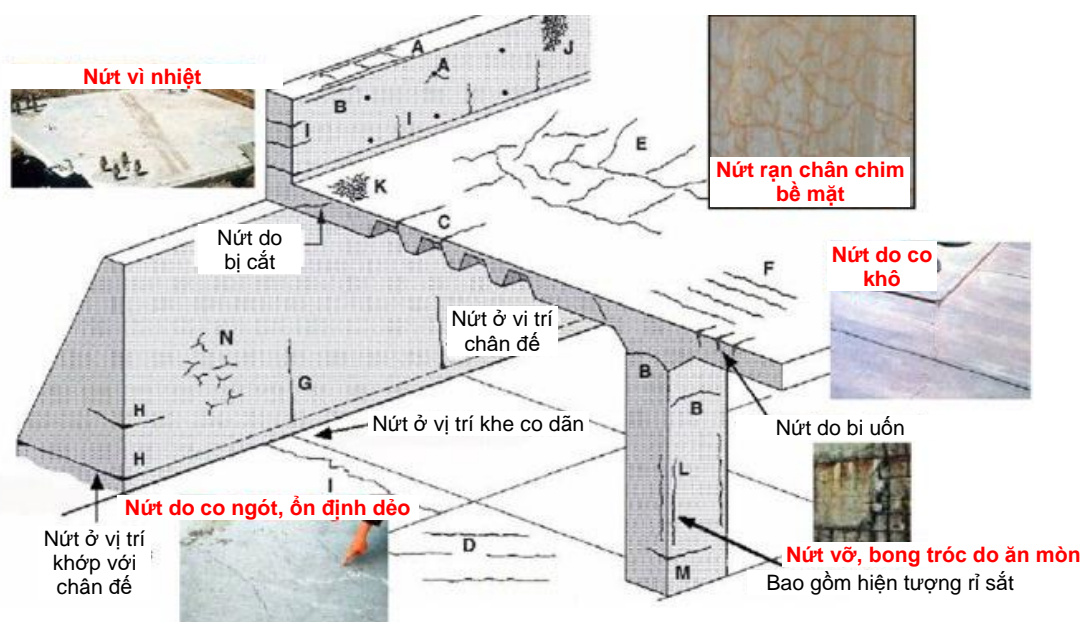
Abstract: In this paper, we studied on the combination reaction between silicate-based sealer and hydrate lime as a densifier solution of cement concrete surface treatment. The process of experiments include the first step of preparation of

lithium silicate solution in laboratory condition and the second step of surface coating of concrete specimens. We applied different technique of material analysis to characterize the reaction product of coating layer. Obtained results of hardness, water absorption and microstructure by SEM help us confirming positif effect of lithium silicate coating solution on the global concrete durability.

Key words: silicate based sealer, concrete densifier, lithium silicate, concrete durability.

1. Giới thiệu

Như chúng ta đã biết, bê-tông xi-măng là loại vật liệu xây dựng nhân tạo được dùng phổ biến nhất trên thế giới để xây dựng các công trình dân dụng, công nghiệp, giao thông, hạ tầng... Nó chịu nước khá tốt, cường độ chịu lực cao và là vật liệu dễ tạo hình kết cấu xây dựng với nhiều kiểu dáng và dạng kích thước khác nhau. Mặc dù vậy, ngay cả với các loại bê-tông chất lượng cao thì trong cấu tạo bê-tông vẫn chứa nhiều các khuyết tật bao gồm các loại lỗ rỗng hay các vết rạn, nứt tế vi trên bề mặt và bên trong cấu trúc (hình 1).



Hình 1. Nứt vỡ, phá hoại đối với vật liệu bê-tông xi-măng và nguyên nhân
(nguồn hình trích từ Report NUREG/CR-7153, ORNL/TM-2011/545; U.S. Nuclear Regulatory Commission)

Các khuyết tật này là nguyên nhân dẫn đến quá trình bê-tông bị mài mòn, ăn mòn khi tiếp xúc với môi trường ẩm mốc, vi khuẩn, hóa chất gây ăn mòn cao,... Nhìn chung xét về kích thước, các nứt vỡ và rỗng có bề rộng thường dao động từ micromét đến milimét. Phần lỗ rỗng chủ yếu do nước bốc hơi khi đóng rắn và bọt khí bị cuốn vào trong quá trình trộn bê-tông. Những nứt vỡ tế vi chủ yếu do nguyên nhân co ngót sinh ra nội ứng suất trong quá trình hình thành và hoàn thiện vi cấu trúc. Những tác động ăn mòn từ môi trường có thể bao gồm các phản ứng kiềm cốt liệu, ăn mòn sunphát, ăn mòn cốt thép,... Từ đó nhìn chung đều dẫn đến sự suy giảm cường độ và gây ảnh hưởng xấu trực tiếp đến độ bền của kết cấu bê-tông, vốn có yêu cầu bền vững theo tuổi thọ của công trình. Những hư hỏng này không ngừng phát triển đặc biệt trong điều kiện khí hậu nóng ẩm ở nước ta, làm tăng kinh phí duy tu và sửa chữa [1].

Vật liệu phủ tăng cường gốc silicat đang được xem là giải pháp phủ mới dùng trong xử lý khuyết tật bề mặt vật liệu bê-tông xi-măng nhằm thay thế cho các vật liệu phủ gốc polime (nhựa epoxy, nhựa PV...) [2]. Có thể thấy sử dụng chất phủ epoxy sau khi phủ lên bề mặt bê-tông tạo nên lớp màng kín che phủ vật lý toàn bộ. Do đó, khi hơi ẩm thoát qua bề mặt thường bị ngăn cản bởi lớp màng kín này



Trong đó, $CaO.SiO_2.H_2O$ chính là khoáng phức hydrat mới được bồi đắp trên nền bê-tông xi-măng. Nếu vật liệu bê-tông xi-măng vốn như phân tích ở trên mang trong mình nó những khuyết tật nứt vỡ, lỗ rỗng được bổ sung thành phần khoáng C-S-H thì có thể cải thiện tính bền một cách tự nhiên. Trên thị trường hiện nay đã có một số sản phẩm thương mại chất phủ tăng cường mặt sàn bê-tông DECOsil® [9], Cemkrete tuy nhiên chủ yếu là các sản phẩm nhập ngoại, chi phí cao và hầu như chưa có những nghiên cứu công bố về bản chất phản ứng hóa học nhằm có thể thuyết phục người sử dụng về quan hệ chi phí và chất lượng so với giải pháp thông dụng phủ nhựa polime. Trong phần tiếp theo, sẽ trình bày nghiên cứu thực nghiệm quá trình nung, tổng hợp dung dịch vật liệu phủ liti silicat và thử nghiệm phủ lên bề mặt mẫu bê-tông trên qui mô thí nghiệm. Các kết quả phân tích vật liệu và đánh giá tính chất cơ-lý

làm cho hơi nước không thoát ra ngoài được, dẫn đến sau thời gian lớp epoxy bị rộp, gây bong ra khỏi bề mặt bê-tông. Trong khi đó sử dụng chất phủ vô cơ silicat, vật liệu phủ tạo liên kết với cấu trúc nền bê-tông nên hơi nước vẫn có thể thoát một chiều qua bề mặt. Nói cách khác là lớp phủ bề mặt này giúp tăng độ bền nhưng vẫn đảm bảo duy trì trạng thái thở một chiều hơi nước từ bên trong bê-tông có thể thoát ra nhưng ở trên mặt thì không thể xâm nhập xuống và không gây hiện tượng bong tróc [3]. Ngoài ra bề mặt bê-tông sau phủ vẫn duy trì được màu sắc tự nhiên thay vì đổi sang màu của nhựa epoxy. Sự hình thành liên kết bề mặt bê-tông xi-măng với chất phủ gốc silicat chủ yếu dựa trên cơ sở phản ứng hóa học với thành phần $Ca(OH)_2$ - sản phẩm thủy hóa của xi-măng - tạo thành khoáng C-S-H bền vững tương tự như các sản phẩm khoáng canxi silicat hydrat của quá trình xi-măng Poóc-lăng thủy hóa đóng rắn [4]. Bên cạnh việc tạo khoáng chính C-S-H thì theo một số công bố gần đây còn cho thấy các phản ứng khác với các khoáng thủy lực của xi-măng Poóc-lăng như C_3A , C_3S trong đó vai trò chất phủ silicat chính là tạo môi trường kiềm phản ứng trao đổi ion xảy ra [5-7]. Một cách tổng quát phản ứng giữa dung dịch phủ kiềm silicat $R_2O.SiO_2$ nói chung - với R là ion kiềm Na^+ , K^+ , Li^+ và $Ca(OH)_2$ có thể viết lại như sau [8].

nhằm giúp đưa ra những kết luận hiệu quả trong xử lý khuyết tật bề mặt mẫu bê-tông.

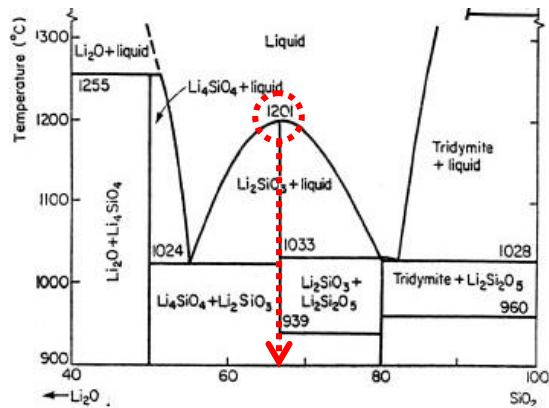
2. Nguyên liệu và chuẩn bị dung dịch phủ $Li_2O.SiO_2$

2.1 Nguyên liệu

Các nguyên liệu dùng để tạo thủy tinh liti silicat bao gồm thành phần nguyên liệu cung cấp hai thành phần oxit liti và oxit silic. Theo giản đồ pha hệ Li_2O-SiO_2 thì về mặt lý thuyết ta thấy hợp chất Li_2SiO_3 (liti meta-silicat) nóng chảy ở khoảng nhiệt độ $1201^\circ C$ ứng với tỉ lệ thành phần phối liệu theo khối lượng 67% SiO_2 và 33% Li_2O (hình 2). Trong nghiên cứu này, muối liti cacbonat đóng vai trò cung cấp thành phần Li_2O và bột silica chính là thành phần SiO_2 . Muối liti cacbonat là sản phẩm hóa chất thương mại, tuy nhiên trên thực tế vẫn có thể dùng các dạng nguyên liệu tự nhiên khác như tràng thạch liti. Bảng 1 trình bày kết quả phân tích thành phần

VẬT LIỆU XÂY DỰNG - MÔI TRƯỜNG

hóa của hai nguyên liệu, và hoàn toàn phù hợp sử dụng trong nghiên cứu.



Hình 2. Biểu đồ pha hệ Li_2O-SiO_2 [10]

Bảng 1. Thành phần nguyên liệu nấu thủy tinh liti silicat

Oxít	Li_2O	SiO_2	K_2O	Al_2O_3	MKN
Muối Li_2CO_3	40,44	-	-	-	59,56
Bột silica	-	86,21	0,04	0,46	13,22

2.2 Chuẩn bị dung dịch phủ $Li_2O.SiO_2$

Quy trình tiến hành chuẩn bị dung dịch phủ liti silicat được tóm tắt như sau: Chuẩn bị phối liệu → Nghiền mịn → nấu thủy tinh → Frit hóa → Nghiền ướt → Hấp thủy nhiệt → Lọc thu sản phẩm dung dịch phủ. Trong đó, thành phẩm thu được bao gồm bán thành phẩm frit sau khi nấu thủy tinh và làm nguội nhanh cũng như dung dịch phủ sau khi xử lý

thủy nhiệt [11] (điều kiện nhiệt độ $120^{\circ}C$, áp suất 15 kg/cm^2) để hòa tan bột thủy tinh được trình bày trong hình 3. Tiến hành một số phép phân tích vật liệu nhằm đánh giá thành phần cấu tạo gồm: phân tích thành phần khoáng dùng phổ nhiễu xạ X (XRD), phân tích thành phần liên kết dùng phổ hồng ngoại (FTIR), sử dụng chất chỉ thị theo dõi quá trình phản ứng kết hợp với $Ca(OH)_2$.



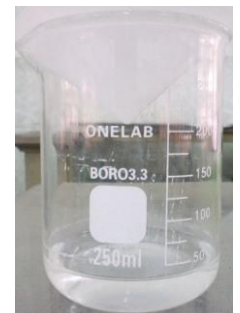
Lò nấu thủy tinh $1250^{\circ}C$, lưu nhiệt 2giờ



Bán thành phẩm hạt frit



Nghiền ướt



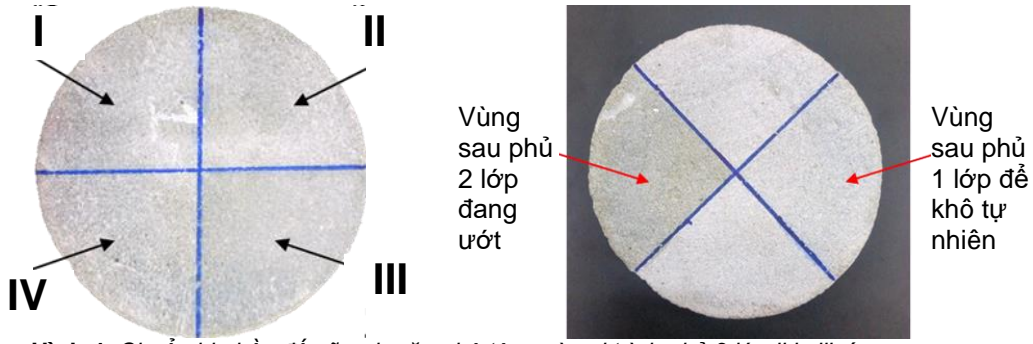
Lọc thu dung dịch phủ

Hình 3. Quá trình thí nghiệm chuẩn bị dung dịch phủ liti silicat trong phòng thí nghiệm

3. Phương pháp thí nghiệm lớp phủ

Phần đế bằng vữa xi-măng được chúng tôi chuẩn bị trong phòng thí nghiệm từ cấp phối xi-măng: cát:nước = 1:2:0,5 và đổ trong khuôn trụ $100 \times 200\text{mm}$. Sau khi trải qua quá trình bảo dưỡng phát triển cường độ 28 ngày, các mẫu trụ vữa xi-măng được cắt thành từng mẫu đĩa tròn chiều cao 20mm và sấy khô để chuẩn bị dùng làm đế phủ dung dịch liti silicat. Tiếp theo đó, phương

pháp phủ quét bằng cọ mềm được áp dụng một cách đơn giản trên bề mặt mẫu đã được làm sạch bụi bẩn. Bề mặt mẫu đĩa được chia thành 4 vùng như hình 4-trái nhằm để dễ dàng đánh giá, so sánh giữa các vùng với nhau. Tùy theo mức độ thẩm thấu của bề mặt sẽ quyết định số lượng lớp phủ ở đây để thống nhất phủ 2 lớp. Hình 4-phải là ảnh chụp mẫu sau khi dùng cọ quét lớp thứ 2 sau khi đợi lớp đầu tiên khô.



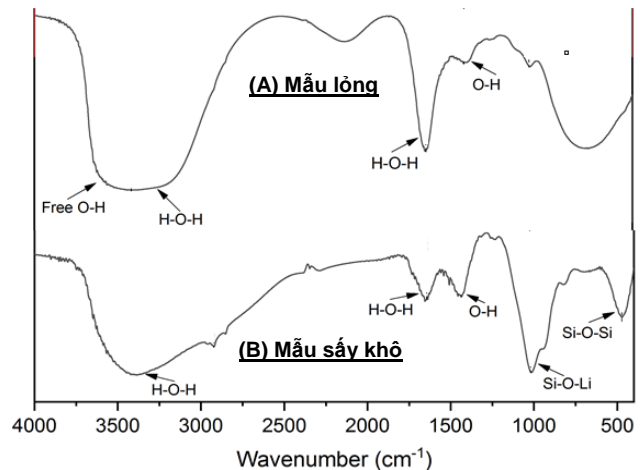
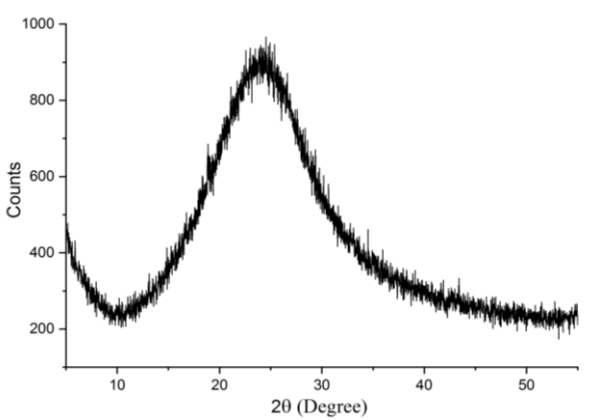
Hình 4. Chuẩn bị phần đế vữa xi-măng bê-tông và qui trình phủ 2 lớp liti silicát

Phương pháp thí nghiệm đánh giá bề mặt lớp phủ được chúng tôi tiến hành gồm đo độ cứng Rockwell, thí nghiệm đánh giá khả năng kháng nước và phân tích ảnh vi cấu trúc (SEM). Ngoài phương pháp phân tích vật liệu SEM thì hai phương pháp còn lại là các thí nghiệm phi tiêu chuẩn. Mục đích thí nghiệm nhằm đối sánh giữa trường hợp bề mặt mẫu được phủ liti silicát và bề mặt xi-măng không phủ. Trên cơ sở đó một số thảo luận sẽ được đề cập trong phần tiếp theo đây.

4. Kết quả và thảo luận

4.1 Kết quả phân tích thành phần vật liệu phủ (phổ XRD, phổ FTIR)

Hình 5-trái cho thấy phổ XRD của mẫu bột thủy tinh liti silicát với biểu hiện không có pick nổi bật đồng thời khoảng chân pick mở rộng, biểu thị cho trạng thái vô định hình của pha thủy tinh. Thủy tinh nóng chảy hoàn toàn sau quá trình nổi được nguội nhanh nên ngăn cản quá trình kết tinh tinh thể trong bán thành phẩm frit. Thực tế những hạt frit thu được có màu sáng trong rất bắt mắt (hình 3).



Hình 5. (trái) Phổ nhiễu xạ tia X của mẫu bột thủy tinh liti silicát; (phải) phổ hồng ngoại FTIR của mẫu dung dịch phủ liti silicát

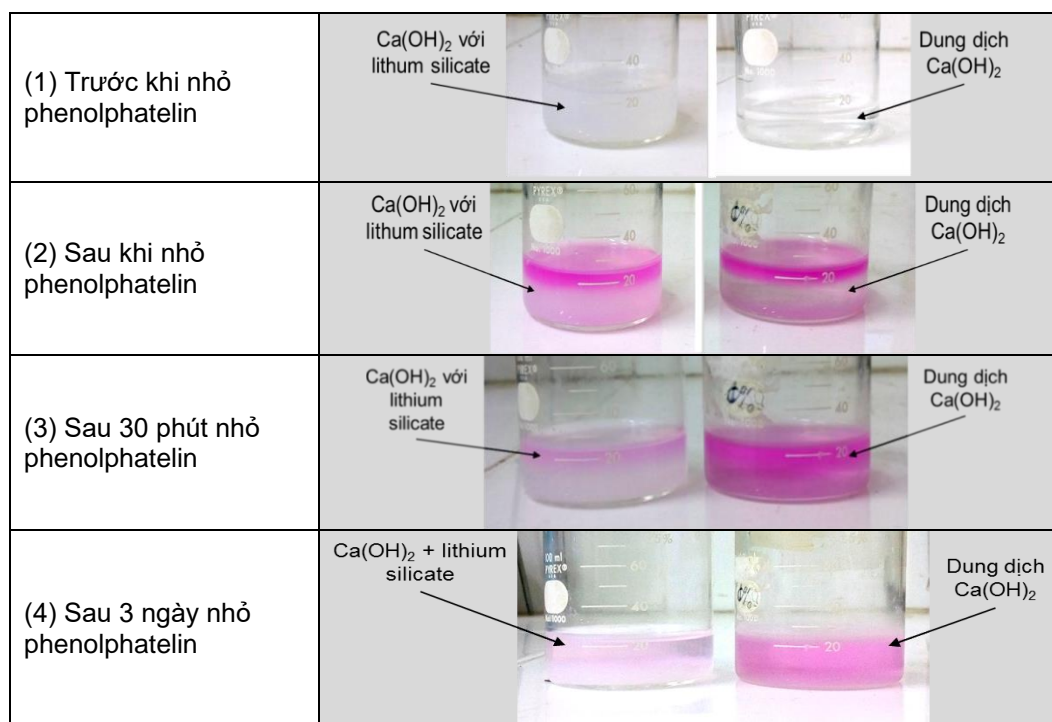
Do đặc điểm vô định hình này nên cần bổ sung chụp phổ phân tích FTIR của mẫu dung dịch liti silicát dạng lỏng và mẫu sấy khô trong khoảng bước sóng 4000-400 cm^{-1} để xem xét các liên kết đặc trưng. Trên hình 5-phải có thể kể đến: ở dãy bước sóng mở rộng từ 3650-3150 cm^{-1} là biểu hiện liên kết H-O-H và O-H tự do, cùng với đó ở bước sóng khoảng 1647 và 1421 cm^{-1} ; khoảng bước sóng 1029 cm^{-1} biểu hiện liên kết Si-O-Li; còn liên kết Si-O-Si xuất hiện ở khoảng bước sóng 457 cm^{-1} . Từ

kết quả phân tích FTIR, có thể nhận định rằng dung dịch liti silicát sau quá trình tổng hợp có xuất hiện các pic đặc trưng như Si-O-Li, Si-O-Si, H-O-H. Với mẫu dung dịch sau khi sấy khô, pic trong khoảng bước sóng trên 3000 cm^{-1} bị thu hẹp lại so với mẫu trước khi sấy, có thể được giải thích là do quá trình sấy làm bay hơi nước trong dung dịch làm cho liên kết O-H tự do bị mất dần đi. Pic đặc trưng liên kết Si-O-Li của liti silicát sau sấy xuất hiện rõ nét hơn so với mẫu dung dịch.

4.2 Kết quả sử dụng chất chỉ thị đánh giá phản ứng giữa liti silicát và $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Hình 6 trình bày quá trình thí nghiệm theo dõi quá trình phản ứng của dung dịch phủ với nước vôi trong. Ở bước 1, có thể thấy trước khi hòa trộn dung dịch liti silicát với $\text{Ca}(\text{OH})_2$ thì dung dịch $\text{Ca}(\text{OH})_2$ là chất lỏng không màu, trong suốt. Nhưng sau khi cho trộn lẫn hai dung dịch thì trong becher bị đục lại, qua quan sát thấy có xuất hiện kết tủa trắng trong cốc. Kết tủa trắng này sau một thời gian thì bị lắng xuống đáy becher. Chúng tôi cũng lưu ý qui trình thí nghiệm Becher được bịt kín bằng lớp màng nhựa thực phẩm nhằm ngăn chặn khả năng phản ứng cacbonat hóa với không khí của dung

dịch $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Để làm rõ hơn khả năng phản ứng, ở bước 2 tiếp tục cho thêm nước vôi trong vào Becher và lần lượt nhỏ hai giọt phenolphatelin vào mỗi Becher. Có thể thấy màu hồng đặc trưng của phenolphatelin khi gặp môi trường kiềm. Tuy nhiên độ đậm nhạt khác nhau, trong đó màu phenolphatelin nhạt hơn với becher chứa hỗn hợp nước vôi và liti silicát. Theo dõi tiếp tục sau đó 30 phút và 3 ngày kết quả càng cho thấy sự khác biệt rõ ràng về màu sắc của phenolphatelin. Có thể giải thích là do quá trình phản ứng với liti silicát tạo kết tủa đã làm cho tính kiềm giảm dẫn đến phenolphatelin nhạt màu so với trường hợp chỉ dung dịch $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ở Becher bên cạnh.

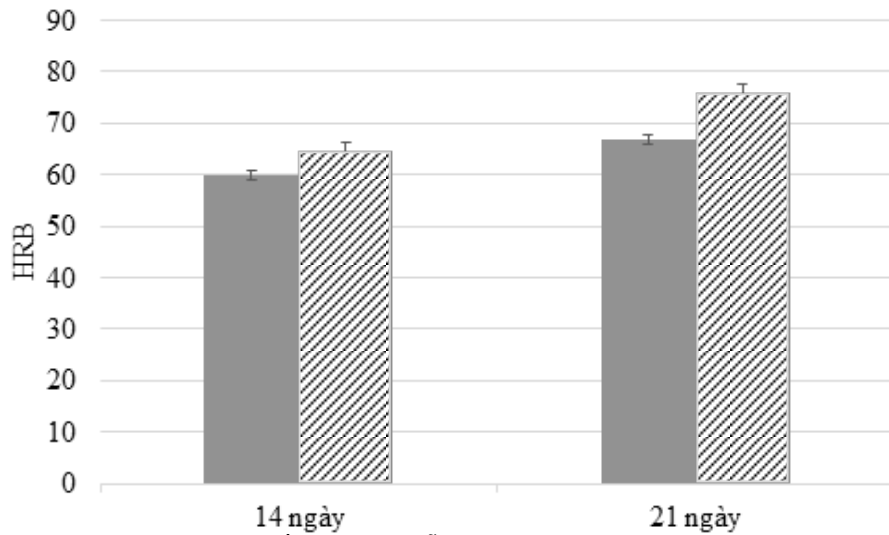


Hình 6. Kết quả theo dõi quá trình phản ứng giữa dung dịch phủ liti silicát và $\text{Ca}(\text{OH})_2$

4.3 Kết quả đo độ cứng bề mặt

Hình 7 cho thấy biểu đồ độ cứng bề mặt của mẫu vữa bê-tông sau thời gian phủ và bảo dưỡng ở 2 và 3 tuần. Độ cứng bề mặt ở các vùng mẫu được đánh giá theo thang đo HRB với cùng tải trọng lực đo. Có thể dễ dàng nhận thấy độ cứng của vùng bê-tông không phủ ở mốc 14, 21 ngày đều thấp hơn so với vùng đã qua phủ dung dịch liti silicát. Cụ thể sau 14 ngày, độ cứng vùng không phủ đạt giá trị HRB $59,8 \pm 0,9$ so với vùng phủ liti silicát đạt HRB

$64,8 \pm 1,5$ và với mẫu sau 21 ngày, độ cứng vùng có phủ liti silicát cao hơn so với vùng không phủ khoảng 10 đơn vị lần lượt đạt HRB $75,9 \pm 1,6$ và HRB $66,8 \pm 1$. Qua đó có thể thấy, mẫu được phủ cứng bề mặt bằng chất phủ liti silicát đã cải thiện độ cứng so với mẫu bê-tông cùng loại không được xử lý. Theo thời gian thì độ cứng bề mặt càng tăng điều này cũng đồng nghĩa với quá trình phản ứng tạo khoáng tăng độ đặc chắc cũng như độ cứng bề mặt nói chung.

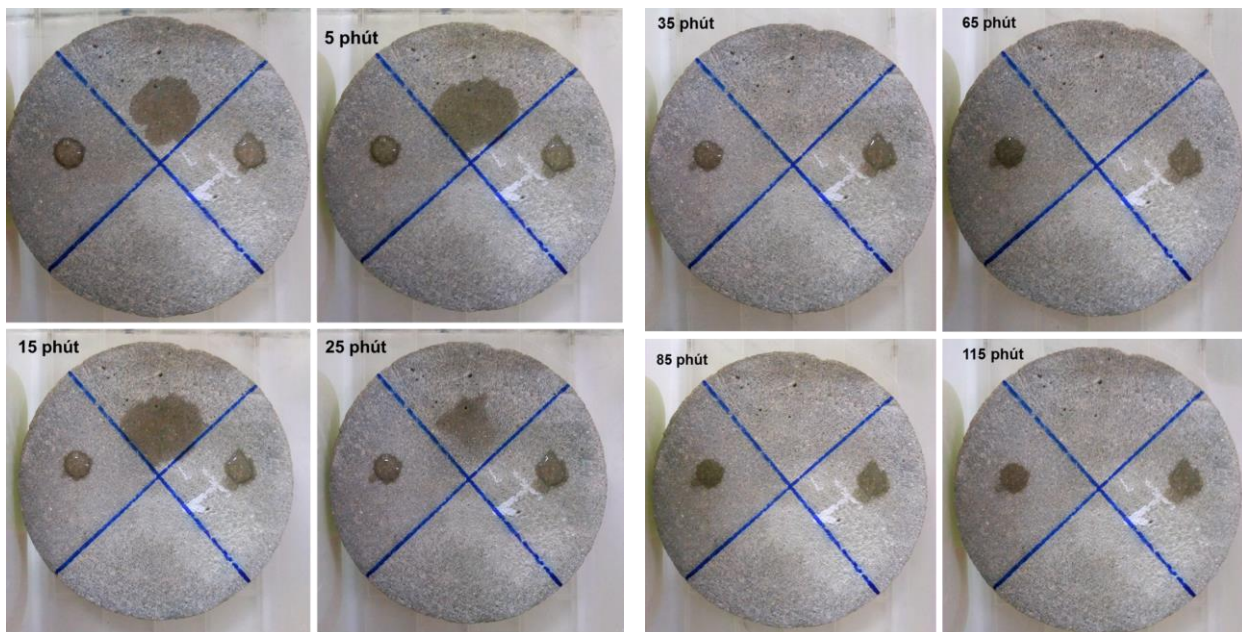


Hình 7. So sánh độ cứng bề mặt HRB mẫu không phủ (tô đậm) và có phủ liti silicát (kẻ sọc) sau 2 và 3 tuần bảo dưỡng

4.4 Kết quả đo tính kháng nước bề mặt

Thí nghiệm đánh giá khả năng kháng nước được tiến hành đơn giản và có tính phi tiêu chuẩn như sau đối với mẫu đã qua 14 ngày bảo dưỡng sau phủ. Hình 8 thể hiện hình ảnh giọt nước trên bề mặt mẫu sau khi nhỏ lên bề mặt mẫu vừa bê-tông không phủ và có phủ liti silicát. Có thể thấy sau khi nhỏ giọt nước lên bề mặt mẫu bê-tông, ở vùng không phủ giọt nước vừa nhỏ lên bề mặt đã bị lan ra mở rộng đường kính và sau đó nhanh chóng thấm thấu vào đế bên dưới. Ngược lại, đối

với bề mặt mẫu bê-tông ở vùng phủ liti silicát, giọt nước sau khi nhỏ lên bề mặt có hình dạng bán cầu. Các ảnh chụp tiếp theo tiếp tục quan sát giọt nước trên bề mặt mẫu ở các mốc ứng với thời gian 5-15-25-35-65-85-115 phút để yên mẫu ở nơi tránh các tác nhân gây ảnh hưởng đến quá trình thẩm thấu nhanh của giọt nước như không khí đối lưu do gió, quạt. Rõ ràng có hiện tượng mở rộng dần dần bán kính giọt nước và sau 85 và 115 phút thì giọt nước gần như bị thấm hút hết vào đế bê-tông.



Hình 8. Thí nghiệm theo dõi giọt nước trên bề mặt mẫu vừa xi-măng bê-tông ở các mốc thời gian 0-5-15-25-35-65-85-115 phút

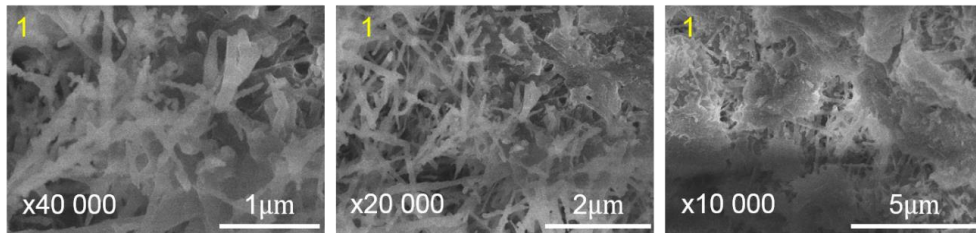
qua đó, cũng phần nào nhận thấy đối với vùng được phủ chất liti silicát thì khả năng kháng nước

của bề mặt tốt hơn so với vùng không được phủ thông qua thời gian thẩm của giọt nước được kéo

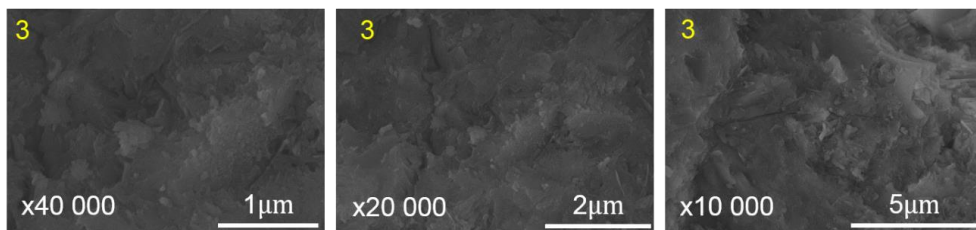
dài hơn. Nguyên nhân do bản chất quá trình phủ thủy tinh tạo lớp màng phẳng và che lấp các lỗ rỗng

cũng như khuyết tật bề mặt giống như lớp gương trên bề mặt bê-tông.

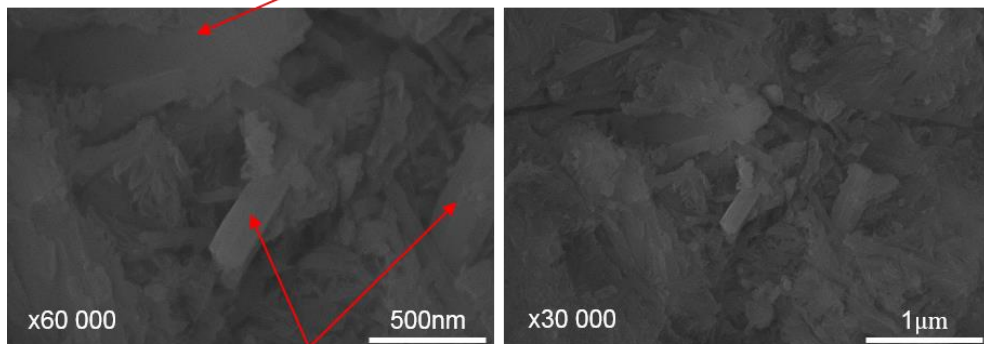
4.5 Kết quả chụp ảnh vi cấu trúc bề mặt phủ (ảnh SEM)



Hình 9. Ảnh chụp SEM bề mặt mẫu vữa xi-măng bê-tông không phủ (từ trái sang phải độ phóng đại 40.000 – 20.000 – 10.000 lần)



Ca(OH)₂



C-S-H

Hình 10. Ảnh chụp SEM bề mặt mẫu vữa xi-măng bê-tông có phủ liti silicat (từ trái sang phải, từ trên xuống dưới: độ phóng đại 40.000 – 20.000 – 10.000 lần và 60.000 – 30.000 lần)

Lần lượt trên hình 9,10, có thể thấy bề mặt của vùng mẫu chưa qua phủ có khoáng C-S-H dạng thanh xếp đan xen vào nhau nhưng mật độ hình thành khoáng C-S-H cũng như sự sắp xếp giữa các thanh C-S-H vẫn chưa đặc khít, dẫn đến có thể thấy vẫn còn tồn tại nhiều lỗ xốp trong vi cấu trúc. Đối với bề mặt phủ liti silicat, bề mặt phủ có màu sẫm, liên tục hơn có thể do hiệu ứng gương của lớp phủ thủy tinh. Có thể thấy rõ hơn hình dạng khoáng C-S-H trên bề mặt mẫu sau phủ, quan sát ảnh SEM bề mặt mẫu ở độ phóng đại lớn hơn, cụ thể ở độ phóng đại x60.000 và x30.000 ở mốc thời gian 14 ngày. Bên cạnh đó, dự đoán sự có mặt của khoáng Ca(OH)₂ trên nền bê-tông với hình dạng tấm lục giác. Ở độ phóng đại x30.000, có thể thấy chất phủ tăng cường tạo liên kết với bề mặt mẫu tạo nên cấu trúc dày đặc hơn giúp làm giảm và lấp kín lỗ xốp có trên bề mặt.

5. Kết luận

Như vậy, có thể rút ra một số kết luận sau:

- Phân tích vật liệu phủ thông qua phổ XRD và FTIR cho thấy chủ yếu pha thủy tinh ở trạng thái vô định hình, đồng thời có các liên kết Si-O-Li, Si-O-Si, H-O-H đặc trưng của Li₂O.SiO₂ trong dung dịch liti silicat tổng hợp;
- Khi trộn dung dịch Ca(OH)₂ với dung dịch liti silicat cho thấy xuất hiện kết tủa trắng và chuyển màu nhạt dần của phenolphatelin theo thời gian;
- Độ cứng của mẫu bê-tông sau phủ liti silicat tăng so với mẫu không phủ ở mốc thời gian 14 và 21 ngày. Điều đó cho thấy chất phủ giúp cải thiện độ cứng bề mặt bê-tông xi-măng và có xu hướng tăng dần theo thời gian bảo dưỡng;

- Giọt nước nhỏ trên bề mặt của mẫu cao hơn so với mẫu không được phủ chất tăng cường cho thấy thời gian thẩm thấu nước kéo dài hay khả năng kháng nước của mẫu bê-tông sau khi qua xử lý bằng dung dịch liti silicat;
- Ảnh chụp SEM cấu trúc bề mặt mẫu không phủ và có phủ liti silicat cho thấy sự khác biệt khá rõ, bề mặt mẫu trở nên dày đặc hơn so với mẫu không phủ. Lớp phủ liên kết với bề mặt bê tông hình thành nên nền liên tục với sự có mặt của khoáng C-S-H giúp che lấp và giảm các lỗ xốp hình thành trong cấu trúc qua đó cải thiện độ cứng và giúp tăng khả năng kháng nước, nhờ đó có tác dụng kháng ăn mòn cho vật liệu bê-tông xi-măng nói chung.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Tấn Quý và Nguyễn Thế Tuệ (2003), *Giáo trình công nghệ bê-tông xi-măng (tái bản lần 2)*, NXB Giáo dục.
2. X. Pan, Z. Shi, C. Shi, T.-C. Ling, and N. Li (2017), "A review on concrete surface treatment Part I: Types and mechanisms", *Construction and Building Materials*, vol. 132, pp. 578–590.
3. CEMKRETE (2018), "The world of cemcrete engineered polymer product", *Trình bày tại hội thảo The Latest development in Asian - the application in Vietnam and beyond, Ramana Hotel, Ho Chi Minh City, Viet Nam*.
4. J. Kim and R. Kitagaki (2016), "The chemical changes of cement paste with silicate-based surface penetrants", *Proceeding of the 7th international conference of Asian Concrete Federation, Ha Noi, Viet Nam*.
5. Y. Kato and N. Someya (2014), "Effect of silicate-based surface penetrant on concrete durability", in *Concrete Solutions, London: Taylor & Francis Group*, pp. 393–397.
6. H. Hazehara, M. Soeda, and S. Hashimoto (2015), "Fundamental study on characteristics of silicate based surface penetrants and effects of improvement on concrete structures", in *Life-Cycle of Structural Systems, London: Taylor & Francis Group*, p. 971.
7. K. Takewada (2012), "Toward Establishing Recommendations for Silicate-based Surface Impregnation Method for Concrete Structures", *Concrete Journal*, vol. 50, no. 10, pp. 889–895.
8. L. P. John and S. J. van D. Jannie (2014), *Alkali Activated Materials. Pringer Dordrecht Heidelberg New York London*.
9. DECO CRETE (2017), "Chất tăng cường DECOsil", <http://decocrete.eu/vn/product-list/decosil-vn/>, 11-Jul.
10. D. E. Clark, C. Suchicital, D. Viehland, G. R. Pickrell, and G.-Q. Lu (2007), *Crystallization of Lithium Disilicate Glass Using Variable Frequency Microwave Processing. Blacksburg, Virginia: Morsi Mohamed Mahmoud*.
11. M. A. Matveev and V. V. Velya (1960), "A study of the hydration of simple lithium glasses and their solubility in the hydrated state", *Glass and Ceramics*, vol. 17, no. 3, pp. 130–132, 1960.

Ngày nhận bài: 05/3/2020.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 22/3/2020.