

# Nghiên cứu nâng cao khả năng chống hút ẩm và khả năng chảy nước của bột chữa cháy ABC phù hợp với khí hậu Việt Nam

Nguyễn Hữu Đạt<sup>1</sup>, Hoàng Ngọc Huynh<sup>2</sup>, Nguyễn Thị Mùa<sup>2</sup>, Mai Đức Huynh<sup>1</sup>, Trần Hữu Trung<sup>1</sup>, Nguyễn Tiến Minh<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Thu Trang<sup>1</sup>, Trần Thị Mai<sup>1</sup>, Nguyễn Vũ Giang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VAST), Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup> Cục Cảnh sát Phòng cháy chữa cháy và Cứu hộ cứu nạn, Hà Nội, Việt Nam

## TỪ KHÓA

Bột chữa cháy ABC  
Bột chữa cháy  
Chống ẩm  
Biến tính  
Biến tính bề mặt

## TÓM TẮT

Bột chữa cháy ABC được sử dụng rộng rãi trong công tác phòng cháy và chữa cháy nhờ hiệu quả dập cháy nhanh, giá thành thấp. Tuy nhiên, trong điều kiện khí hậu Việt Nam, độ ẩm thường xuyên vượt quá 80 % làm giảm đáng kể hiệu quả của sản phẩm này. Để giải quyết vấn đề này, nghiên cứu này đề xuất một phương pháp biến tính bề mặt nhằm nâng cao tính chất của bột chữa cháy ABC. Nghiên cứu sử dụng chất biến tính silan để xử lý bề mặt của các hạt bột chữa cháy, mang lại những cải thiện đáng kể về khả năng chống ẩm, chống thấm nước cũng như ngăn ngừa hiện tượng đóng bánh và vón cục của bột chữa cháy ABC. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng bột chữa cháy ABC cải tiến không chỉ giữ được hiệu quả chữa cháy mà còn thể hiện khả năng chảy được nâng cao, phù hợp hơn với các điều kiện khí hậu cụ thể phổ biến ở Việt Nam.

## KEYWORDS

ABC fire extinguishing powder  
Fire extinguishing powder  
Moisture resistance  
Modification  
Surface modification

## ABSTRACT

ABC fire extinguishing powder is widely used in fire prevention and fighting due to its fast extinguishing effect and low cost. However, in Vietnam's climate conditions, humidity often exceeds 80 %, significantly reducing the effectiveness of this product. To solve this problem, this study proposes a surface modification method to improve the properties of ABC fire extinguishing powder. The study uses silane modifiers to treat the surface of fire extinguishing powder particles, resulting in significant improvements in moisture resistance, water resistance as well as prevention of caking and clumping of ABC fire extinguishing powder. The research results show that the improved ABC fire extinguishing powder not only retains its fire extinguishing effect but also exhibits improved flowability, which is more suitable for the specific climatic conditions common in Vietnam.

## 1. Giới thiệu

Việt Nam là đất nước có khí hậu nóng ẩm, nơi hàm lượng ẩm trong không khí luôn duy trì ở mức cao. Độ ẩm có thể đạt mức độ bão hòa vào tháng 2, 3 hàng năm gây khó khăn cho việc bảo quản và làm giảm tính chất các loại sản phẩm đòi hỏi yêu cầu kỹ thuật cao như bột chữa cháy. Do đó, hiệu ứng dập tắt của bột chữa cháy như vậy thấp hơn đáng kể. Độ ẩm cũng làm giảm mật độ băng của bột và do đó, cần một thể tích bột lớn hơn cho bình chữa cháy. Một nhược điểm lớn nữa của độ ẩm trong bột chữa cháy là độ ẩm làm giảm điện trở của bột, do đó làm cho bột không có tác dụng chữa cháy do điện [1].

Zbigniew J Lobos [1] đã chế tạo bột chữa cháy với thành phần silicon làm chất chống ẩm sử dụng một số silicon như là dimethyldiethoxysilan, polysiloxan methylhydrogen thủy phân một phần hoặc để tạo thành organopolysiloxan. Zbigniew J Lobos [2] cũng chế tạo thành công bột chữa cháy khô sử dụng silan làm chất chống hút ẩm với hàm lượng sử dụng khoảng 0,6% dimethyldiethoxysilane. Sau khi lớp phủ silicon trùng hợp hoàn toàn, sản phẩm chống cháy có đặc tính chảy tự do tuyệt vời, chống thấm nước và chống đóng cục

cao. Sản phẩm dạng hạt khô có thể được đưa qua các vòi phun có van điều khiển mà không bị tắc nghẽn và phun vào đám cháy dưới dạng khối hạt giống như dòng chất lỏng. Một lớp phủ dày đặc của thành phần bột chảy tự do có hiệu quả làm ngạt và làm mát đám cháy, nhanh chóng dập tắt chúng. Các loại bột phủ silicon như vậy đã được phát hiện có đặc tính chữa cháy được cải thiện so với các loại bột thông thường không được phủ bằng polyme hóa silicon. Nên sử dụng silan có chứa ba nhóm chức có khả năng liên kết chéo khi trùng hợp trên các hạt rắn, nhờ đó các hạt trở nên kỵ nước.

Yanting Zhou cùng các cộng sự [3] đã nghiên cứu về các hạt nano silica kỵ nước như phụ gia tăng cường dòng chảy cho chất chữa cháy bột khô siêu mịn. Các chất chữa cháy bột khô siêu mịn gốc natri bicarbonat (UDEA) có tính hút ẩm cao và có xu hướng kết tụ, dẫn đến khả năng chảy kém và hiệu quả chữa cháy giảm, cần có giải pháp để cải thiện khả năng chữa cháy của UDEA. Việc tích hợp nano silica kỵ nước (HNS) vào bên trong bột chữa cháy UDEA đã được coi là giải pháp hiệu quả để giải quyết những thách thức này, nhưng lượng HNS tối ưu trong UDEA vẫn chưa được nghiên cứu làm rõ. Do đó, tác động của HNS như một chất phụ gia đối với khả năng chảy của natri

\*Liên hệ tác giả: vugiang.lit@gmail.com

Nhận ngày 26/07/2024, sửa xong ngày 21/08/2024, chấp nhận đăng ngày 23/08/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2024.760>

bicarbonat UDEA đã được kiểm tra kỹ lưỡng. Thông qua quá trình khuấy tốc độ cao, bề mặt của UDEA được phủ đều các hạt HNS, đạt trạng thái kỵ nước với góc tiếp xúc khoảng  $135,4^\circ$ . Đáng chú ý, công thức UDEA với 8% HNS bổ sung cho thấy độ kết dính kém nhất, giá trị hàm dòng chảy cao nhất và khả năng chống phun thấp nhất. Hơn nữa, nghiên cứu chỉ ra cơ chế dòng chảy cơ bản của natri bicarbonate UDEA chịu ảnh hưởng của chất phụ gia HNS. Các kết quả đạt được cho thấy việc kết hợp HNS vào natri bicarbonate UDEA hiệu quả nhất là 8%, xét đến cả tính chất kỵ nước và đặc điểm dòng chảy của nó.

Silica thường được kết hợp để tăng cường khả năng cháy và đặc tính kỵ nước của các chất chữa cháy dạng bột siêu mịn. Zhao et al. [4] đã kiểm tra tác động của tỷ lệ hỗn hợp POTS/OBS lên đặc tính chống dầu của bột natri bicarbonate mịn, tăng cường chúng bằng 5%  $\text{SiO}_2$  để tăng khả năng cháy của chất chữa cháy trong quá trình xử lý trước bằng  $\text{NaHCO}_3$ . Shamsutdinov [5] đã trình bày chi tiết về quá trình tổng hợp các hạt silica siêu kỵ nước hình cầu có kích thước nano và đánh giá hiệu quả của nano silica kỵ nước (HNS) như một chất phụ gia cho bột chữa cháy amoni photphat. Saenko [6] đã thăm dò ảnh hưởng của nhiều vật liệu silica xốp trung bình khác nhau làm chất bổ sung lên các đặc tính lưu biến của chất chống cháy gốc monoamoni photphat (MAP). Kondrashova [7,8] đã chứng minh rằng việc đưa oxit silic kỵ nước vào bột chữa cháy gốc amoni photphat làm tăng đặc tính lưu biến của chúng.

Xuancheng Wang và các cộng sự [9] đã nghiên cứu nghiên cứu công nghệ cải tiến chất chữa cháy dạng bột khô siêu mịn ABC. Chất chữa cháy bột khô siêu mịn có đặc điểm là hiệu quả chữa cháy cao và chi phí thấp và đã được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực chữa cháy. Tác giả mô tả về phân loại và các vấn đề hiện tại của bột khô và phân tích công nghệ hiện tại về vi mô hóa và biến tính bề mặt. Chất chữa cháy bột khô siêu mịn được cải thiện đáng kể về khả năng chống nước bằng cách sửa biến đổi bề mặt, khả năng chống nước đạt yêu cầu tiêu chuẩn và kích thước hạt D90 của chất chữa cháy bột khô sau khi biến tính là  $\leq 15 \mu\text{m}$ .

Với sự phát triển của nghiên cứu công nghệ, hầu hết các chất chữa cháy dạng bột khô hiện đại đều sử dụng phương pháp phủ hoặc ghép các hợp chất kỵ nước trên bề mặt của các hạt bột khô để tạo thành một lớp đơn lớp liên tục và đạt được tính kỵ nước của các hạt. Đặc biệt, công nghệ vi bao được phát triển trong những năm gần đây hỗ trợ kỹ thuật mạnh mẽ cho việc biến đổi bề mặt của các hạt bột khô [10]. Trong công nghệ này, xăng hoặc axeton được sử dụng làm dung môi. Khoáng sét hoạt tính, silicon dioxide, magiê cacbonat, nhôm silicat, v.v., được sử dụng làm chất xúc tác trùng hợp và bột khô siêu mịn có chứa một lượng nước nhất định được thêm vào máy trộn tốc độ cao. Dưới tác dụng của nước, dầu silicon trước hết bị thủy phân thành cồn silicon, sau đó được trùng hợp thành mạng lưới các siloxan dưới tác dụng của nhiệt sinh ra do khuấy trộn tốc độ cao và chất xúc tác. Trong phân tử polysiloxan có cấu trúc mạng lưới, liên kết Si-O có tính phân cực rõ ràng [11]. Nguyên tử oxy được hấp phụ chặt chẽ trên bề mặt của các hạt bột muối vô cơ khô có cực và nhóm alkyl với các mạch ankyt hướng ra ngoài cải thiện khả năng kỵ nước. Do đó,

polysiloxane có thể được sắp xếp theo hướng trên bề mặt của các hạt để tạo thành một lớp đơn kỵ nước, có vai trò chống ẩm, chống đóng bánh và chống ăn mòn.

Các loại dầu silicon khác nhau có tác dụng khác nhau đối với việc xử lý bề mặt bột khô amoni photphat siêu mịn [12-13]. Các nhóm hoạt động có thể bị thủy phân, oxy hóa và liên kết chéo trong điều kiện tương đối nhẹ. Màng vi nang hình thành được liên kết chắc chắn với bề mặt của các hạt bột khô thông qua liên kết Si-O [14]. Đồng thời, nhóm methyl sắp xếp phía ngoài, với khoảng cách phân tử lớn, mật độ năng lượng liên kết methyl nhỏ và khả năng chống thấm nước mạnh, giúp bột khô ammonium phosphate có khả năng chống thấm nước mạnh.

Các nghiên cứu về silan làm tăng khả năng chống hút ẩm của bột chống cháy là rất đáng chú ý. Tuy nhiên, hiện nay chưa có nhiều nghiên cứu khảo sát sử dụng silan làm chất chống ẩm cho bột ABC ở trong nước. Vì vậy, bài báo này nghiên cứu, biến tính bột chữa cháy ABC bằng silan và nanosilica để tăng khả năng chống hút ẩm và cũng như khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng silan đến một số tính chất của bột chống cháy ABC.

## 2. Thực nghiệm và các phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Hóa chất

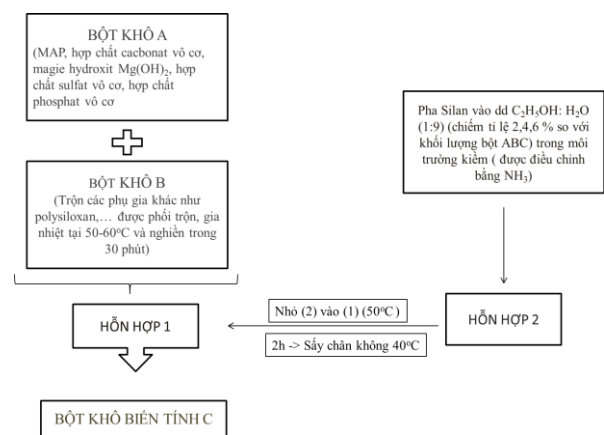
Mono amoni photphat có dạng tinh thể; amoni sunphat, tri canxi photphat, magiê cacbonat, melamine photphat, amoni polyphotphat là sản phẩm thương mại của công ty công ty Shifang Changfeng Chemical.

Silica siêu mịn (fume) dạng bột siêu mịn, có diện tích bề mặt  $200 \text{ m}^2/\text{g}$ , độ tinh khiết  $> 99,8\%$  là sản phẩm thương mại của tập đoàn Cabot.

Hạt thủy tinh vi cầu, dầu silicon là sản phẩm thương mại của Công ty 3M.

Diethyl dioxy silan có độ tinh khiết  $> 96\%$  là sản phẩm thương mại của Sigma – Aldrick.

### 2.2 Thực nghiệm



Hình 1. Sơ đồ quy trình biến tính bột chữa cháy.

Các bước cụ thể là như sau:

Bước 1: Hỗn hợp 1 gồm MAP, hợp chất cacbonat vô cơ, magie hydroxit Mg(OH)<sub>2</sub>, hợp chất sulfat vô cơ, hợp chất phosphat vô cơ được cân ở các tỷ lệ khối lượng đã lựa chọn được trộn lẫn, nghiền thu được bột khô A;

Bước 2: Trộn các phụ gia khác như polysiloxan,... được phối trộn, gia nhiệt tại 50-60 °C và nghiền trong 30 phút; thu được bột khô B;

Bước 3: Silan được phân tán trong C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH khuấy đều trong máy rung siêu âm khoảng 30 phút. Nhỏ từ từ hỗn hợp gồm silan đã được thủy phân bằng dung dịch ethanol : nước = 9 : 1, trong môi trường kiềm (được điều chỉnh bằng ammoniac) vào hỗn hợp 1 ở trên. Hệ phản ứng được thực hiện ở 50°C trong buồng trộn kín có gia nhiệt.

Sau 2 giờ, ngừng phản ứng, đổ hỗn hợp ra khay và sấy trong tủ chân không ở 40 °C đến khối lượng không đổi, nghiền mịn bằng cối mã não thu được thu được bột khô biến tính C.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp phổ hồng ngoại FT-IR

Phương pháp quang phổ hồng ngoại (FT-IR) là phương pháp được dùng phổ biến để xác định sự có mặt của nhóm chức silan với bước sóng khảo sát trong khoảng từ 400 – 4000 cm<sup>-1</sup>, độ phân giải là 4 cm<sup>-1</sup>, số lần quét 32.

2.2.2. Thử khả năng hút ẩm

Cân chính xác 10g mẫu thử lên đĩa petri, tán đều sao cho bề mặt bột trở nên mịn và bằng phẳng. Đặt đĩa petri vào tủ sấy ở 30°C, độ ẩm tương đối ở mức 60% trong 48h. Cân chính xác lượng mẫu thử (trọng lượng A).

Cân chính xác 10g mẫu thử lên đĩa petri. Tán đều sao cho bề mặt bột trở nên mịn và bằng phẳng. Đặt đĩa petri vào tủ sấy ở 30°C, độ ẩm tương đối ở mức 80% trong 48h. Cân chính xác lượng mẫu thử (trọng lượng B).

Tỷ lệ hút ẩm được tính như sau:

$$\frac{\text{Trọng lượng B (80\% độ ẩm tương đối)} - \text{Trọng lượng A (60\% độ ẩm tương đối)}}{\text{Trọng lượng A (60\% độ ẩm tương đối)}} = \text{Tỷ lệ hấp thụ ẩm (\% \frac{W}{W})}$$

2.2.3. Thử chống đóng bánh và vón cục

Cho một lượng bột đầy tràn đĩa petri, dùng dao palet gạt phẳng bằng mặt vành đĩa. Đặt đĩa petri vào bình hút ẩm ở nhiệt độ (20 ± 5)°C trong khoảng thời gian (24 ± 1) giờ, sau đó đặt đĩa petri vào tủ sấy trong khoảng thời gian (24 ± 1) giờ. Sau đó làm mát đĩa petri ở nhiệt độ (20 ± 5)°C trong khoảng thời gian (60 ± 10) phút, mở nắp và úp đĩa petri lên một tờ giấy trắng.

Đề bột trượt vào rây sao cho cục vón không bị vỡ. Lắc rây quay vòng theo hướng ngang để tách các cục vón khỏi bột sao cho các cục vón không bị vỡ. Dùng thìa để xúc các cục vón rồi thả từ độ cao

(200 ± 10) mm lên tờ giấy sạch đặt trên bề mặt cứng. Để bột trượt vào rây một lần nữa rồi lắc quay vòng theo chiều ngang để tách cục vón bột giống như mô tả trước. Sau bước này không còn cục vón nào trên rây.

2.2.4. Phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX)

Phổ tán xạ năng lượng tia X để xác định sự có xuất hiện và hàm lượng của Si trên bề mặt vật liệu sau khi biến tính được tiến hành trên đầu dò tán xạ năng lượng tia X, Oxford Instruments – Anh tại Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

2.2.5. Phân tích hình thái cấu trúc SEM

Phương pháp hiển vi điện tử quét (SEM) được tiến hành trên Kính hiển vi điện tử quét (SEM) JMS-6510LV hãng Jeol – Nhật Bản tại Viện Kỹ thuật nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả phổ hồng ngoại FT-IR

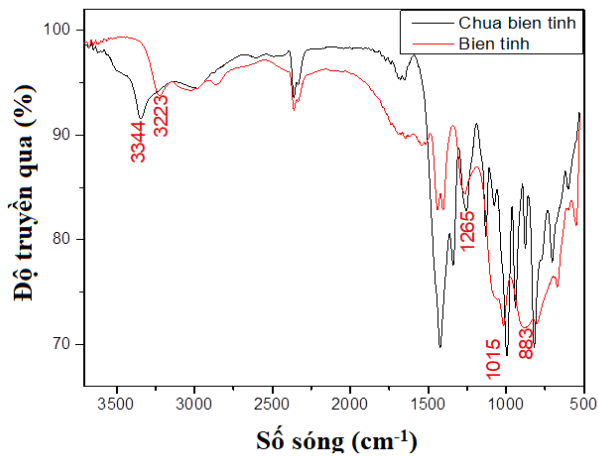
Phổ hồng ngoại mẫu bột chữa cháy ban đầu và mẫu bột chữa cháy biến tính được biểu diễn trên Hình 2. Trên phổ hồng ngoại mẫu bột ABC biến tính sau rửa cho thấy xuất hiện các pic đặc trưng mới dải hấp thụ rộng ở khoảng 3223 cm<sup>-1</sup> đến 3344 cm<sup>-1</sup> bắt nguồn từ nhóm hydroxyl (-OH) của nước ẩm trên bề mặt của bột chữa cháy; Dao động trong khoảng từ 2991 cm<sup>-1</sup> đến 2856 cm<sup>-1</sup> liên quan đến dao động hóa trị của C-H của nhóm alkyl trong dietyl dietoxy silan. Các pic tại số sóng 1384 cm<sup>-1</sup> và 1176 cm<sup>-1</sup> liên quan đến dao động của liên kết C-CO-C trong nhóm chức của silan. Bên cạnh đó, dao động tại 1013 cm<sup>-1</sup> đến 1176 cm<sup>-1</sup>, 1718 cm<sup>-1</sup> và 1636 cm<sup>-1</sup> là các dao động của nhóm Si-O-C, C=O và C=C [29].

Bảng 1. Số sóng đặc trưng của từng nhóm.

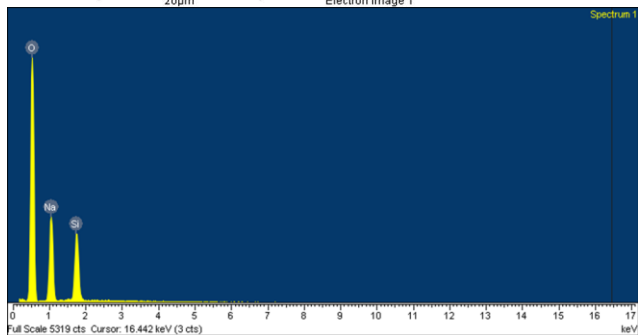
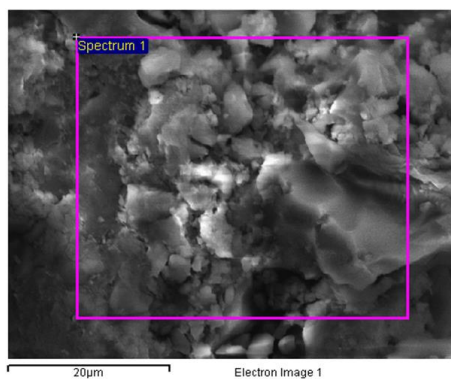
Các nhóm đặc trưng	Tần số sóng (cm <sup>-1</sup> )	
	Bột chữa cháy ban đầu	Bột chữa cháy biến tính
OH	3344 cm <sup>-1</sup>	3223 cm <sup>-1</sup>
C-H		2991 đến 2897 cm <sup>-1</sup>
C-CO-C	1384 cm <sup>-1</sup>	1384 cm <sup>-1</sup> và 1176 cm <sup>-1</sup>
Si-O-C		1059 cm <sup>-1</sup> đến 1176 cm <sup>-1</sup>
C=O		1718 cm <sup>-1</sup>
C=C	1635 cm <sup>-1</sup>	1635 cm <sup>-1</sup>

Bên cạnh đó, thông qua việc phân tích EDX các nguyên tố có trong mẫu bột chữa cháy ABC biến tính cũng cho thấy xuất hiện thành phần Si tương ứng.

Các kết quả phân tích phổ hồng ngoại FT-IR và EDX cho thấy bột chữa cháy ABC đã được biến tính thành công với dietyl dietoxy silan.



**Hình 2.** Phổ FT-IR của các mẫu bột chữa cháy ban đầu và bột chữa cháy biến tính bằng silan.



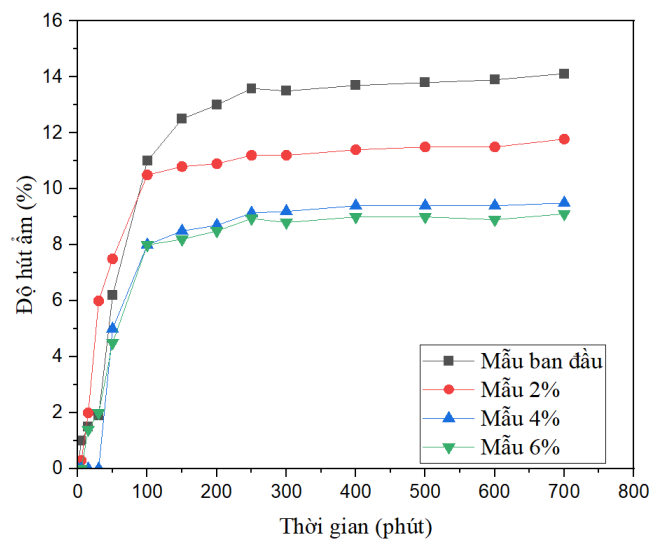
**Hình 3.** Ảnh SEM và phổ EDX của mẫu bột chữa cháy biến tính silan tại vị trí tương ứng.

### 3.2. Tính chất hút ẩm và kỵ nước của bột chữa cháy ABC

Trên Hình 4 thể hiện kết quả khả năng hút nước (%) của bột chữa cháy ABC theo thời gian (phút) được biến tính bề mặt bằng diethyl dietoxy silan tại hàm lượng 0,5 % khối lượng so với bột chữa cháy ABC và ba hàm lượng nano silica khác nhau: Ban đầu (0 %), 2 %, 4 %, và 6 %. Trục hoành biểu thị thời gian tính bằng phút, còn trục tung biểu thị khả năng hút nước của các mẫu.

Mẫu ban đầu là bột chữa cháy ABC chưa biến tính và hàm lượng nano silica bằng 0. Từ đồ thị cho thấy khả năng hút nước mẫu ban đầu

tăng nhanh trong khoảng thời gian đầu và có khả năng hút ẩm cao nhất đạt được 14,12 % kl. Sau quá trình biến tính bề mặt và bổ sung thêm nano silica cho khả năng hút ẩm của bột chữa cháy giảm đáng kể 9,11 % với mẫu sử dụng 6 % nano silica và 9,78 % với mẫu 4 % nano silica. Điều đó cho thấy khả năng chống hút ẩm của bột chữa cháy được cải thiện rõ rệt ở hàm lượng nanosilica lớn hơn 4 % và hàm lượng silan là 0,5 %. Khả năng kỵ nước cũng như khả năng chống hút ẩm của bột chữa cháy đã được cải thiện một cách rõ ràng bằng việc xử lý bằng silan. Độ hút ẩm của các mẫu đạt tối đa sau 200 phút thử nghiệm: Mẫu ban đầu là 13,59 %; mẫu biến tính 2 % là 11,47 %; Mẫu biến tính 4 % là 8,94 %; Mẫu biến tính 6 % là 9,41 %. Kết thúc quá trình thử nghiệm, độ hút ẩm của các mẫu tăng lên nhưng không đáng kể: Mẫu ban đầu là 14,12 %; mẫu 2 % là 11,78 %; mẫu 4 % là 9,11 %; Mẫu 6 % là 9,78 %. Vậy mẫu xử lý bằng 4 % silan cho kết quả chống hút ẩm tốt nhất.



**Hình 4.** Khả năng hút ẩm của bột chữa xử lý và bột đã xử lý ở các tỉ lệ khác nhau.

Để nghiên cứu sâu hơn về tác động của silan và nanosilica đối với tính kỵ nước của bột chữa cháy ABC, sự thay đổi góc tiếp xúc của các giọt nước theo thời gian trên bề mặt lớp bột chữa cháy đã được nghiên cứu. Như thể hiện trong Hình 5, cho thấy, góc tiếp xúc ban đầu của mẫu chưa biến tính là xấp xỉ 30° (trạng thái ưu nước), sau khi biến tính bề mặt chuyển sang trạng thái kỵ nước với góc tiếp xúc lớn hơn 90°. Đánh giá thời gian giọt nước tồn tại trên bề mặt bột chữa biến tính cho thấy, giọt nước dần dần được hấp thụ vào lớp bột giảm xuống còn 16" trong 30 giây. Ngược lại, các giọt nước trên bề mặt bột chữa cháy ABC được biến tính bề mặt bằng silan có tốc độ suy giảm góc tiếp xúc thấp hơn đáng kể và góc tiếp xúc cao hơn. Trong nghiên cứu cho thấy, khi gia tăng hàm lượng của silan thì giọt nước tồn tại trên bề mặt bột chữa cháy càng ổn định.

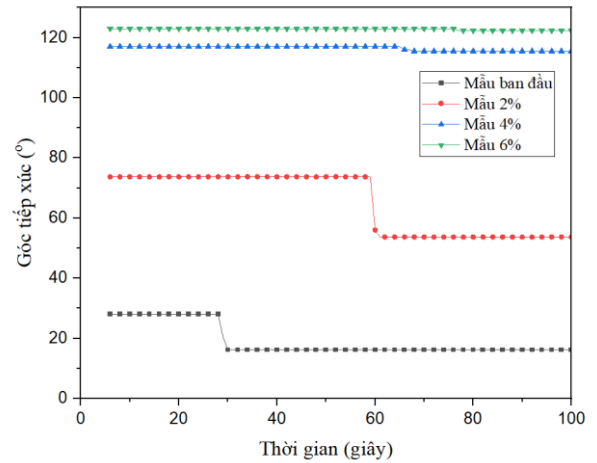
Biểu đồ này minh họa rõ ràng sự ưu việt của bột chữa cháy có silan so với bột chữa cháy ban đầu trong việc duy trì góc tiếp xúc. Góc tiếp xúc của bột có silan ổn định ở mức cao (khoảng 120 độ) trong suốt 100 giây, cho thấy khả năng duy trì đặc tính kỵ nước mạnh mẽ.

Điều này có thể giúp tạo ra một lớp chắn hiệu quả hơn ngăn không cho lửa lan rộng. Trái lại, bột chữa cháy ban đầu chỉ duy trì góc tiếp xúc khoảng 80 độ trong 30 giây đầu, sau đó giảm nhanh chóng xuống khoảng 30 độ, cho thấy sự suy giảm đáng kể trong khả năng chống nước. Điều này có thể làm giảm hiệu quả của bột chữa cháy ban đầu trong việc ngăn chặn lửa lan rộng. Như vậy, bột chữa cháy có silan không chỉ duy trì được đặc tính kỵ nước tốt hơn mà còn có thể kéo dài hiệu quả của nó trong điều kiện thực tế lâu hơn, là một cải tiến đáng kể trong công nghệ chữa cháy.

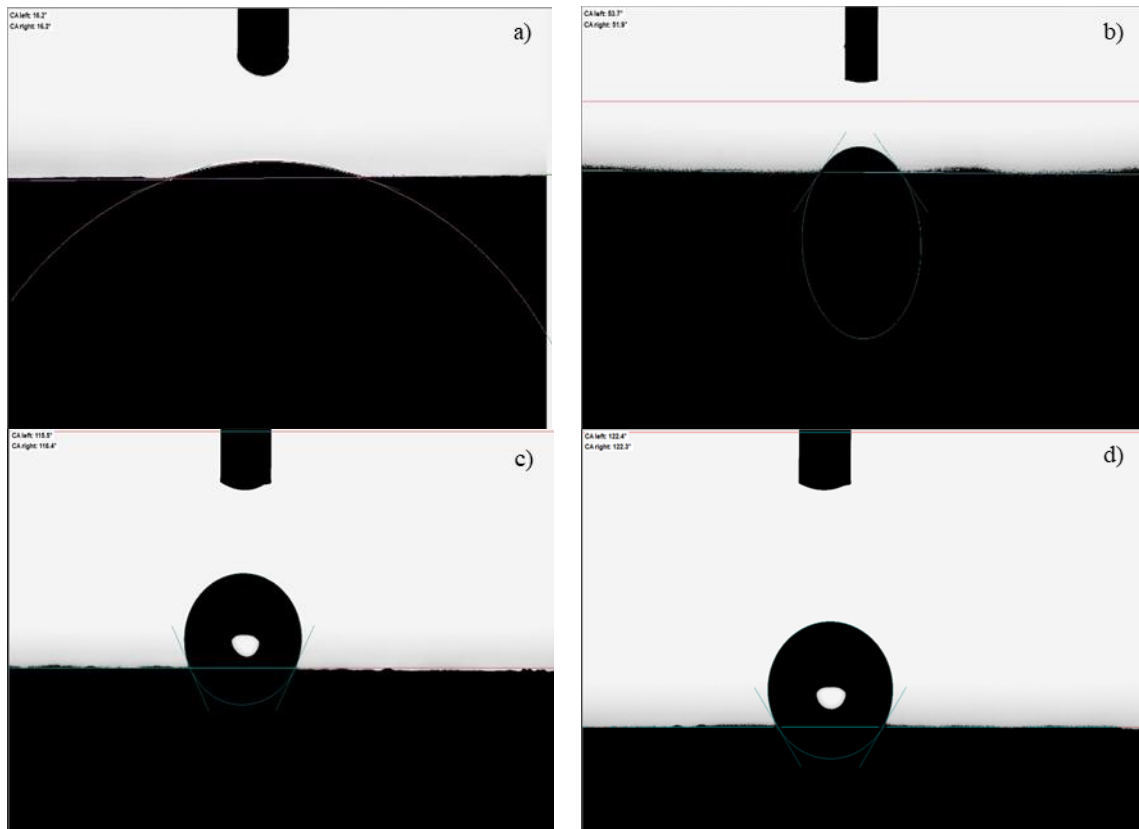
Biểu đồ này minh họa rõ ràng sự ưu việt của bột chữa cháy có silan so với bột chữa cháy ban đầu trong việc duy trì góc tiếp xúc. Góc tiếp xúc của bột có silan ổn định ở mức cao (khoảng 120 độ) trong suốt 100 giây, cho thấy khả năng duy trì đặc tính kỵ nước mạnh mẽ. Điều này có thể giúp tạo ra một lớp chắn hiệu quả hơn ngăn không cho lửa lan rộng. Trái lại, bột chữa cháy ban đầu chỉ duy trì góc tiếp xúc khoảng 80 độ trong 30 giây đầu, sau đó giảm nhanh chóng xuống khoảng 30 độ, cho thấy sự suy giảm đáng kể trong khả năng chống nước. Điều này có thể làm giảm hiệu quả của bột chữa cháy ban đầu trong việc ngăn chặn lửa lan rộng. Như vậy, bột chữa cháy có silan không chỉ duy trì được đặc tính kỵ nước tốt hơn mà còn có thể kéo dài hiệu quả của nó trong điều kiện thực tế lâu hơn, là một cải tiến đáng kể trong công nghệ chữa cháy.

Khả năng chống hút nước được thể hiện một cách trực quan qua Hình 7. Nhìn vào hai hình ảnh, ta thấy rằng mẫu bột chữa cháy trước

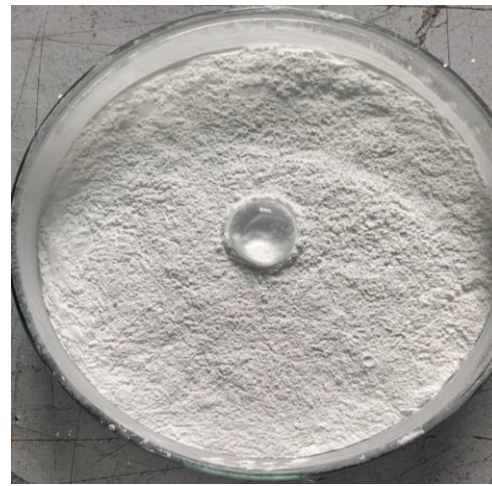
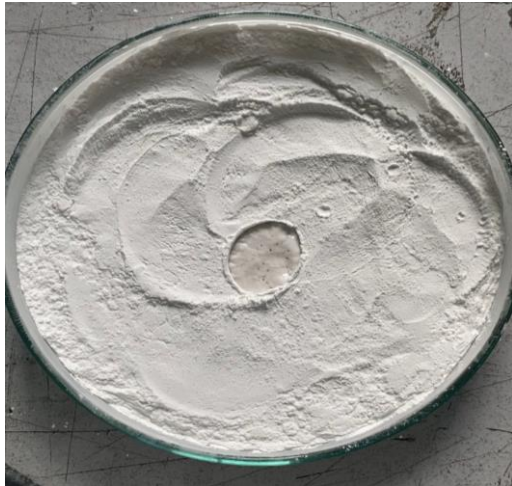
khi biến tính (hình đầu tiên) có bề mặt bị rã và thấm nước nhiều hơn so với mẫu bột sau khi biến tính (hình thứ hai). Ở mẫu đầu tiên, nước dễ dàng thấm qua lớp bột, tạo thành các vùng lồi lõm và vết thấm rõ rệt. Trong khi đó, mẫu sau khi biến tính (hình thứ hai) có bề mặt bột mịn và ít bị ảnh hưởng bởi nước, cho thấy khả năng chống hút nước tốt hơn. Sự khác biệt này chứng tỏ rằng quá trình biến tính đã cải thiện đáng kể tính năng chống hút nước của bột chữa cháy.



**Hình 5.** Sự thay đổi góc tiếp xúc theo thời gian của các mẫu ban đầu và biến tính tại các hàm lượng silan khác nhau.



**Hình 6.** Góc tiếp xúc mẫu bột chữa cháy tại các hàm lượng biến tính khác nhau



Hình 7. Thử nghiệm giọt nước trên bột chữa cháy trước và sau biến tính 4 % silan.

Tóm lại, quá trình biến tính đã làm tăng đáng kể khả năng chống hút nước của bột chữa cháy, đồng thời cải thiện độ đồng nhất và tính chất vật lý của bột, giúp tăng hiệu quả trong quá trình sử dụng để dập tắt đám cháy.

### 3.3. Kết quả phân tích ảnh hưởng của nanosilica đến khả năng chảy, chống đóng bánh và vốn cục

Để đảm bảo hiệu quả của bình chữa cháy cũng như chất lượng bột chữa cháy ABC thì tính chảy của bột chữa cháy cần được giữ ổn định, theo USP ch.616 (Bulk Density and Tapped Density of Powders-(616)). Khả năng chảy của bột có thể đại diện bằng tỉ lệ Hauser, với tỉ lệ Hauser bằng 1 thì bột có độ chảy tốt, lớn hơn 1,25 thì có độ chảy kém [20]. Trong quá trình vận chuyển và sử dụng dưới độ ẩm điều kiện thời tiết Việt Nam, sản phẩm bột chữa cháy không tránh được hiện tượng rung lắc và hút ẩm ảnh hưởng đến tính chảy, khả năng đóng bánh vốn cục của bột chữa cháy.

Tỷ lệ Hauser được sử dụng trong nghiên cứu để lượng hoá tính chảy và khả năng ổn định tính chảy tại số lần rung khi trải qua quá trình rung lắc tại các lần gõ khác nhau được thay đổi từ 200-1000 lần gõ. Tỷ lệ Hauser được tính bằng thương số giữa tỷ trọng riêng hạt (Tapped Density) và tỷ trọng khối (Bulk Density).

$$\text{Tỷ lệ Hauser (Hausner ratio)} = \frac{\text{Tỷ trọng riêng hạt (Tapped Density)}}{\text{Tỷ trọng khối (Bulk Density)}}$$

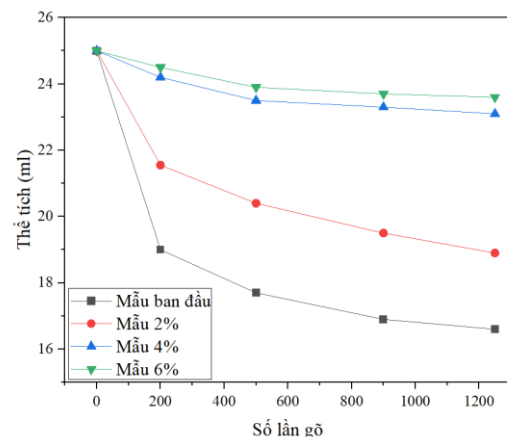
Các kết quả về khối lượng riêng của bột, tỉ lệ Hauser của các mẫu sử dụng các hàm lượng phụ gia biến tính khác nhau được liệt kê trên Bảng 2 và sự thay đổi tỉ lệ Hauser tại số lượt gõ khác nhau được biểu diễn trên Hình 8.

Từ các kết quả Bảng 2 cho thấy, sự thay đổi khối lượng riêng của các mẫu khi đo theo tiêu chuẩn TCVN 6102-2020 tại các hàm lượng nanosilica khác nhau. Theo nghiên cứu nanosilica có diện tích bề mặt riêng lớn, thể tích cao giúp giảm khối lượng riêng và cải thiện tính chảy của bột thông qua tỉ lệ Hauser. Tỷ lệ Hauser giảm đáng kể từ 1,32 còn 1,03 và 1,02 tại các mẫu có hàm lượng n-SiO<sub>2</sub> lần lượt là 4 %

và 6 %. Với tỉ lệ Hauser có giá trị nằm trong khoảng 1-1,1 cho thấy khả năng chảy bột chữa cháy ABC thuộc phân nhóm “Rất tốt” so với mức “Đạt” của mẫu bột chữa cháy ABC chưa biến tính, điều này cho thấy khi có mặt n-SiO<sub>2</sub> đã cải thiện đáng kể khả năng chảy của bột chữa cháy ABC.

Bảng 2. Kết quả về khối lượng riêng của bột, tỉ lệ Hauser của các mẫu sử dụng các hàm lượng phụ gia biến tính.

Đặc trưng tính chất của mẫu bột ABC biến tính (%)	Hàm lượng chất biến tính nanosilica (%kl)			
	0	2	4	6
Khối lượng riêng của bột (TCVN 6102)	0,74	0,63	0,52	0,51
V (ml)	74	63	52	51
Tỉ lệ Hauser	1,32	1,16	1,03	1,02
Đánh giá tính chảy	Đạt	Tốt	Rất tốt	Rất tốt



Hình 8. Kết quả phân tích sự thay đổi thể tích của các mẫu bột chữa cháy chưa biến tính và biến tính tại các tỉ lệ nanosilica 2 %, 4 % và 6 %.

Kết quả phân tích sự giảm thể tích của bột chữa cháy ABC trước và sau biến tính nanosilica được thể hiện trên Hình 8 cho thấy, các mẫu nghiên cứu đều cho thấy sự giảm thể tích sau các lần gõ. Mẫu ban đầu có thể tích giảm mạnh nhất 24% sau 200 lần gõ so với thể tích mẫu ban đầu. Với các mẫu biến tính nanosilica thể tích giảm sau 200 lần gõ lần lượt là 12 %; 3,2 % và 2,8 % tương ứng với hàm lượng nanosilica 2 %, 4 % và 6 %. Từ kết quả này cho thấy với các mẫu biến tính đã hạn chế được sự giảm thể tích của bột chữa cháy.

Kết quả phân tích tính chất chống đóng bánh và vón cục của bột chữa cháy theo TCVN 6102:2020 được trình bày theo Bảng 3.

**Bảng 3.** Kết quả kiểm tra các tính chất của bột chữa cháy theo TCVN 6102:2020.

Tên chỉ tiêu	Phương pháp thử	Mẫu bột chữa cháy ban đầu	Mẫu bột chữa cháy biến tính với 4% silan
Xác định khối lượng riêng	Điều 13.1.2 TCVN 6102:2020	0,74 g/ml	0,52 g/ml
Chống đóng bánh, vón cục	Khối lượng qua rây lần 1:	61 %	97 %
	Khối lượng qua rây lần 2:	21 %	3%
	Khối lượng không lọt rây:	18 %	0
Phân tích bằng rây	Khối lượng bột trên rây 125 µm:	5,50 %	5,50%
	Khối lượng bột trên rây 63 µm:	34,05 %	31,05%
	Khối lượng bột trên rây 40 µm:	34,2 %	22,80%
Khả năng chống thấm nước	Điều 13.6.2 TCVN 6102:2020	Không đạt	Đạt
Khả năng chịu nhiệt độ thấp ( Thời gian bột rơi hết xuống nút)	Điều 12.7 TCVN 6102: 1996	5,27 giây	1,34giây

Về khả năng chống đóng bánh, vón cục và phân tích kích thước hạt của hai mẫu bột chữa cháy trước và sau khi biến tính cho thấy:

Chống đóng bánh, vón cục: Khối lượng qua rây lần 1: Mẫu bột chữa cháy ban đầu có 61 % khối lượng qua rây, trong khi mẫu bột sau biến tính có đến 97 % khối lượng qua rây. Điều này cho thấy mẫu sau biến tính có khả năng chống đóng bánh, vón cục tốt hơn nhiều so với mẫu ban đầu. Khối lượng qua rây lần 2: Mẫu bột chữa cháy ban đầu có 21 % khối lượng qua rây lần 2, trong khi mẫu sau biến tính chỉ có 3 %. Điều này củng cố thêm kết luận rằng mẫu sau biến tính ít bị đóng bánh, vón cục hơn. Khối lượng không lọt rây: Mẫu bột chữa cháy ban đầu có 18 % khối lượng không lọt rây, trong khi mẫu sau biến tính không có khối lượng nào không lọt rây, chứng tỏ mẫu sau biến tính đã được cải thiện đáng kể về khả năng chống đóng bánh, vón cục.

Phân tích bằng rây: Khối lượng bột trên rây 125 µm: Cả hai mẫu đều có 5,50 % khối lượng bột trên rây 125 µm, cho thấy không có sự khác biệt về phân bố kích thước hạt lớn nhất giữa hai mẫu. Khối lượng bột trên rây 63 µm: Mẫu bột chữa cháy ban đầu có 34,05 % khối lượng bột trên rây này, trong khi mẫu sau biến tính có 31,05 %. Sự khác biệt nhỏ này cho thấy mẫu sau biến tính có phân bố hạt mịn hơn một chút. Khối lượng bột trên rây 40 µm: Mẫu bột chữa cháy ban đầu có 34,2 % khối lượng bột trên rây này, trong khi mẫu sau biến tính chỉ có 22,80 %. Điều này cho thấy mẫu sau biến tính có ít hạt lớn hơn, làm tăng tính đồng nhất và mịn màng của bột.

Bảng 3 so sánh khối lượng riêng của hai mẫu bột chữa cháy cho thấy sự khác biệt rõ rệt giữa mẫu bột trước và sau khi biến tính. Theo phương pháp thử nghiệm quy định tại Điều 13.1.2 TCVN 6102:2020, khối lượng riêng của mẫu bột chữa cháy ban đầu là 0,74 g/ml, trong khi khối lượng riêng của mẫu bột chữa cháy biến tính là 0,52 g/ml. Sự giảm đáng kể này cho thấy quá trình biến tính đã làm giảm khối lượng riêng của bột chữa cháy, có thể là do thay đổi cấu trúc hạt hoặc thành phần vật liệu, giúp bột nhẹ hơn và có thể cải thiện khả năng phun tán và phân tán trong không khí khi sử dụng.

Quá trình biến tính đã cải thiện đáng kể khả năng chống đóng bánh, vón cục của bột chữa cháy, làm cho bột sau biến tính mịn hơn và đồng nhất hơn về kích thước hạt. Điều này có thể cải thiện hiệu quả và tính ổn định của bột khi sử dụng trong chữa cháy.

Sự khác biệt rõ rệt về khả năng chống thấm nước giữa mẫu bột chữa cháy ban đầu và mẫu bột chữa cháy sau khi biến tính, được đánh giá theo phương pháp thử Điều 13.6.2 của TCVN 6102:2020. Mẫu bột chữa cháy ban đầu không đạt tiêu chuẩn về khả năng chống thấm nước, cho thấy dễ bị hút nước và không giữ được tính năng chữa cháy hiệu quả trong môi trường ẩm. Ngược lại, mẫu bột chữa cháy sau khi biến tính đã đạt tiêu chuẩn này, chứng tỏ khả năng chống thấm nước vượt trội, giúp bột duy trì được tính chất vật lý và hiệu quả chữa cháy cao hơn trong các điều kiện khác nhau.

Khả năng chịu nhiệt độ thấp là một tiêu chí quan trọng để đánh giá hiệu quả của bột chữa cháy trong điều kiện khắc nghiệt.

Mẫu bột chữa cháy ban đầu: Với thời gian 5 giây 27 để bột rơi hết xuống nút, mẫu ban đầu cho thấy sự lưu động kém hơn khi chịu nhiệt độ thấp. Điều này có thể gây trở ngại trong việc dập tắt đám cháy nhanh chóng, đặc biệt trong điều kiện lạnh, vì bột có thể bị vón cục hoặc đóng băng, làm giảm hiệu quả phun tán.

Mẫu bột chữa cháy biến tính với 10% silan: Thời gian 1 giây 34 để bột rơi hết xuống nút thể hiện khả năng lưu động vượt trội của mẫu biến tính khi chịu nhiệt độ thấp. Điều này cho thấy sự cải thiện rõ rệt trong tính năng của bột sau khi biến tính, giúp bột duy trì được

tính lưu động và phân tán nhanh chóng hơn trong điều kiện nhiệt độ thấp, đảm bảo hiệu quả cao hơn trong việc dập tắt đám cháy.

Sự khác biệt này chứng tỏ rằng quá trình biến tính đã cải thiện đáng kể khả năng chịu nhiệt độ thấp của bột chữa cháy, làm cho bột sau biến tính linh hoạt hơn và hiệu quả hơn trong mọi điều kiện thời tiết, đặc biệt là trong môi trường lạnh.

#### 4. Kết luận

Các kết quả chỉ ra rằng sử dụng silan với hàm lượng 5%, 10% và 15% đều giúp tăng khả năng chống hút ẩm và khả năng kỵ nước được cải thiện, các khả năng ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng ứng dụng của hệ hỗn hợp bột chữa cháy như chống đông bánh, vón cục và tăng lưu tính cũng được cải thiện. Bột chữa cháy sau khi biến tính được thử nghiệm theo tiêu chuẩn TCVN 6102:2020. Trong đó, mẫu biến tính với 10% silan giúp cải thiện khả năng chống hút ẩm một cách tốt nhất. Các tính chất khác của bột chữa cháy ABC cũng cho kết quả tương tự.

#### Lời cảm ơn

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Bộ Công an cho đề tài “Nghiên cứu chế tạo bột chữa cháy tổng hợp ABC dùng trong công tác pccc”, mã số BCN.2021.C07.03

#### 5. Tài liệu tham khảo

[1]. Zbigniew J Lobos, US625034A Fire extinguishing powder composition.(1967)  
 [2]. Zbigniew J Lobos, US3523893Dry chemical fire extinguisher composition.(1965)  
 [3]. Yanting Zhou, Junchao Zhao, Yangyang Fu, Zhilei Yu, Song Lu, Heping Zhang, Yong Jiang, Study on the hydrophobic nano silica particles as flow-enhancing additives for ultrafine dry powder fire extinguishing

agent, *Advanced Powder Technology*, Volume 35, Issue 4, 2024, 104397, ISSN 0921-8831, <https://doi.org/10.1016/j.appt.2024.104397>.  
 [4]. Zhao, Application of ultra-fine dry chemicals modified by POTS/OBS for suppressing aviation kerosene pool fire, *Fire Saf. J.*, № 118. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2020.103148>  
 [5]. Shamsutdinov, Manufacturing, properties, and application of nanosized superhydrophobic spherical silicon dioxide particles as a functional additive to fire extinguishing powders, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, № 60, c. 11905.  
 [6]. Saenko, Mesoporous hydrophobic silica nanoparticles as flow-enhancing additives for fire and explosion suppression formulations, *ACS Appl. Nano Mater.*, № 3, c. 2221  
 [7]. Kondrashova, Control over rheological properties of powdered formulations based on phosphate-ammonium salts and hydrophobized silicon oxide, *Russian Journal of Applied Chemistry*, № 90, c. 1592  
 [8]. Kondrashova, Hydrophobized silicas as functional fillers of fire-extinguishing powders, *Inorganic Materials*, № 54, c. 1078.  
 [9]. Wang, Xuancheng. (2023). Study on Modification Technology of Superfine Dry Powder Fire Extinguishing Agent. *Journal of Physics: Conference Series*. 2539. 012091. 10.1088/1742-6596/2539/1/012091.  
 [10]. FU, X. H. Influence of Spray Drying Conditions on the Properties of Ammonium Dihydrogen Phosphate Fire-Extinguishing articles. *Particulate Science and Technology*, 2009, 27: 77–88.  
 [11]. Liu, X. L., Ning, W. J., Pan, R. M. Study on the preparation process of BC superfine dry powder fire extinguishing agent. *Contemporary chemical industry*. 2021, 50(02): 361-365.  
 [12]. Jia, L., Yu, Y., Pan, J., Tang, Yongbiao. Study on the Performance of Superfine Dry Powder Fire Extinguishing Agent. *Chemical Engineering and Equipment* 2019, (10): 29-31.  
 [13]. Du, D. X., Shen, X. H., Feng, L. Study on Fire Extinguishing Performance of Composite Ultrafine Dry Powder Fire Extinguishing Agent. *Chinese Journal of Safety Science* 2018, 28(02): 69-74.  
 [14]. Dai, Y., Zhang, G. H. Study on the Effect of Particle Properties of Dry Powder Fire Extinguishing Agent on Two-Phase Turbulent Jet. *Fire science and technology* 2022, 41(08): 1119-1124.  
 [15]. Wittmann FH. Effective chloride barrier for reinforced concrete structures in order to extend the service-life. *Adv Construct Mater*, Part V 2007:427–37.