

Nghiên cứu khả năng loại bỏ bụi mịn và vi khuẩn trong không khí bằng thiết bị lọc không khí kiểu ướt cải tiến

Mai Thị Xuân¹, Nguyễn Thị Nhiệm¹, Đoàn Thị Hải¹, Phạm Thị Hồng¹, Trần Quang Vinh^{1,2*}

¹Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam

²Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 23/3/2024; ngày chuyển phản biện 26/3/2024; ngày nhận phản biện 19/4/2024; ngày chấp nhận đăng 21/4/2024

Tóm tắt:

Trong nghiên cứu này, khả năng lọc bụi mịn PM và vi khuẩn từ không khí trên thiết bị lọc không khí kiểu ướt cải tiến, bao gồm các mô đun venturi được bổ sung các đầu cấp lỏng dạng phun sương, cyclon và lõi lọc polypropylen phủ nano bạc với kích thước mắt lọc 0,5 μm đã được khảo sát tối ưu. Dung dịch nano bạc được tổng hợp bằng phương pháp khử hoá học với nồng độ bạc lên tới 1006 ppm, kích thước hạt nano bạc khoảng 10-25 nm. Các thông số đầu vào bao gồm: số lượng và vị trí các đầu phun sương trong ống venturi; nồng độ và kích thước bụi mịn; nồng độ vi khuẩn ảnh hưởng đến khả năng hoạt động của thiết bị đã được khảo sát. Kết quả thu được cho thấy, thiết bị lọc không khí kiểu ướt có khả năng loại bỏ bụi mịn PM và tổng vi khuẩn về dưới mức cho phép đối với không khí sạch. Thiết bị tạo ra có khả năng ứng dụng xử lý các nguồn không khí có hàm lượng bụi mịn PM và vi khuẩn ô nhiễm ở mức cao.

Từ khóa: bụi mịn, thiết bị lọc không khí kiểu ướt, venturi, vi khuẩn, cyclon.

Chỉ số phân loại: 1.4, 2.4, 2.7

Elimination of fine dust and airborne bacteria using an improved wet-type air purifier

Thi Xuan Mai¹, Thi Nhiem Nguyen¹, Thi Hai Doan¹, Thi Hong Pham¹, Quang Vinh Tran^{1,2*}

¹Institute of Chemistry, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam

²Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam

Received 23 March 2024; revised 19 April 2024; accepted 21 April 2024

Abstract:

In this study, the ability to filter fine particulate matter (PM) and bacteria from the air of an improved wet-type air purifier, which incorporates a venturi module supplemented with mist spray nozzles, cyclone, and nano silver-coated polypropylene filter media with a filtration pore size of 0.5 μm , was optimally investigated. A nano-silver solution was synthesised using a chemical reduction method, achieving a silver concentration of up to 1006 ppm and nano-silver particle sizes ranging from 10 to 25 nm. Key parameters such as the number and positioning of mist spray nozzles in the venturi tube, concentration and size of fine dust particles, and bacterial concentration affecting the device's performance were thoroughly examined. The results obtained demonstrate that the wet-type air purifier device is capable of removing fine PM dust and total bacteria to below the permissible levels for clean air. The resulting device can exhibit potential applications in treating air sources with high levels of PM dust and bacterial pollution.

Keywords: bacteria, cyclone, fine dust, venturi, wet-type air purifier.

Classification numbers: 1.4, 2.4, 2.7

*Tác giả liên hệ: Email: vinhtq79@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Các tác nhân gây ô nhiễm không khí trong nhà rất đa dạng và phức tạp, thường được phân loại thành ba loại chính: bụi mịn, chất hữu cơ dễ bay hơi và các vi sinh vật gây hại như nấm mốc, vi khuẩn và virus. Nhiều nghiên cứu đã được tiến hành để đánh giá khả năng xử lý của các công nghệ lọc không khí đa dạng đối với những tác nhân gây ô nhiễm này, bao gồm công nghệ màng lọc, công nghệ màng lọc kết hợp với lọc tĩnh điện, công nghệ xúc tác quang, công nghệ plasma, công nghệ hấp phụ và công nghệ lọc bụi ướt [1-7]. Với sự đa dạng của các tác nhân ô nhiễm không khí, việc sử dụng một công nghệ lọc không khí đơn lẻ có thể không đủ. Mỗi công nghệ đều có những hạn chế riêng, ví dụ, công nghệ màng lọc không khả năng loại bỏ chất hữu cơ bay hơi, yêu cầu thay thế màng lọc định kỳ; công nghệ xúc tác quang có quá trình xử lý chậm và có thể tạo ra các chất gây ô nhiễm phụ; công nghệ hấp phụ bằng than hoạt tính không thể loại bỏ các hạt bụi nhỏ và phải thay thế định kỳ; công nghệ plasma có chi phí cao và không thể phân hủy triệt để các chất ô nhiễm [3-5, 8].

Trong các công nghệ trên, công nghệ màng lọc chủ yếu được sử dụng nhiều nhất ở quy mô gia đình và công nghệ lọc bụi ướt được sử dụng chủ yếu ở quy mô công nghiệp. Công nghệ màng lọc được sử dụng rộng rãi trong các máy lọc không khí quy mô gia đình. Tuy nhiên, đối với môi trường không khí có hàm lượng bụi mịn cao, công nghệ này không phù hợp do nhanh chóng gây tắc màng lọc. Trong công nghiệp, thiết bị làm sạch không khí kiểu ướt đã được áp dụng rộng rãi, sử dụng nhiều nguyên lý hoạt động khác nhau. Một trong số đó là nguyên lý kết hợp thiết bị lọc khí kiểu ướt dạng venturi truyền thống với thiết bị tách lỏng kiểu cyclon truyền thống, phổ biến trong công nghiệp để loại bỏ bụi trong không khí [9, 10]. Mặc dù phương pháp này không sử dụng màng lọc và có thể áp dụng ở những nơi có hàm lượng bụi cao mà không gặp vấn đề tắc nghẽn, nhưng hiệu quả loại bỏ bụi mịn PM lại không cao do cấu trúc chưa tối ưu của thiết bị ở phần cung cấp lỏng sử dụng các đầu phun tia lỏng có kích thước lớn, do đó, hiệu quả tiếp xúc giữa chất lỏng và bụi trong không khí còn thấp.

Để cải thiện hiệu suất loại bỏ ô nhiễm không khí liên quan đến bụi mịn và vi khuẩn, trong nghiên cứu này, chúng tôi đã tiến hành cải tiến thiết bị làm sạch không khí kiểu ướt dựa trên nguyên lý sử dụng ống venturi truyền thống bằng cách tích hợp các đầu phun lỏng dạng sương tại các vị trí khác nhau trên ống venturi và sử dụng kết hợp lõi lọc polypropylene 0,5 μm gắn nano bạc để khử khuẩn. Kết quả là một hệ thống làm sạch không khí có khả năng loại bỏ ô nhiễm bụi mịn PM một cách triệt để hơn, đồng thời cũng có khả năng khử khuẩn, tạo ra môi trường không khí trong sạch.

2. Nguyên vật liệu và phương pháp thực nghiệm

2.1. Tổng hợp dung dịch nano bạc

Hóa chất sử dụng để tổng hợp dung dịch nano bạc gồm có: nước cất, muối bạc AgNO_3 (PA, Shanghai Chemical Co, Trung Quốc), chất ổn định PVP (Khối lượng phân tử 400.000, Sigma-Aldrich), chất khử NaBH_4 (Sigma-Aldrich), cồn tuyệt đối (99,99%, Trung Quốc).

Quy trình tổng hợp dung dịch nano bạc: Nhỏ từ từ dung dịch A (0,8 g AgNO_3 hòa tan trong 50 ml H_2O) vào dung dịch B (9,25 g PVP hòa tan trong 100 ml nước và 20 ml cồn) trong điều kiện siêu âm (máy siêu âm đầu dò, công suất 250 W, tần số siêu âm 20 khz) trong 30 phút, thu được dung dịch C. Nhỏ từ từ dung dịch khử D (0,37 g NaBH_4 hoà tan trong 330 ml H_2O) vào dung dịch C ở trên và tiếp tục siêu âm thêm 5 phút. Dung dịch tạo thành được khuấy trên máy khuấy từ trong 30 phút (tốc độ 400 vòng/phút) để quá trình khử bạc ion tạo thành nano bạc diễn ra hoàn toàn. Dung dịch nano bạc thu được có màu nâu đậm và có nồng độ nano bạc theo tính toán là 1000 ppm.

2.2. Chế tạo lõi lọc polypropylene gắn nano bạc

Lõi lọc polypropylene (PP) gắn nano bạc được chế tạo từ lõi lọc cận polypropylene được sử dụng trong các máy lọc nước gia đình, có kích thước mắt lọc là 0,5 micromet, chiều cao lõi 10 inches (xuất xứ từ máy lọc nước Aqua, Hàn Quốc). Nano bạc được gắn lên lõi lọc polypropylene bằng cách bơm tuần hoàn 1 lít dung dịch nano bạc đã tổng hợp ở trên qua cốc lọc chứa lõi lọc polypropylene, đến khi dung dịch nano bạc hoàn toàn bị mất màu. Lõi lọc polypropylene đã gắn nano bạc được lấy ra khỏi cốc lọc, để ráo nước tự nhiên trong 24 giờ và sấy khô ở 80°C trong 24 giờ. Nồng độ nano bạc còn lại trong dung dịch nano bạc được phân tích theo các khoảng thời gian 0, 15, 30 và 60 phút bơm tuần hoàn để xác định lượng nano bạc đã được gắn lên lõi lọc PP.

2.3. Thí nghiệm lọc không khí

Các thông số kỹ thuật chính của thiết bị lọc không khí kiểu ướt: Thiết bị lọc không khí kiểu ướt được thiết kế và chế tạo với các thông số kỹ thuật chính sau đây:

Công suất lọc khí (thực tế): 50 m³/giờ.

Quạt hút gió cao áp: model CL40HS (Italia), công suất cực đại 1,1 kW, tự động điều chỉnh áp suất và tốc độ thổi gió theo mức độ tổn thất áp suất của hệ thống (từ 0 đến 300 mbar).

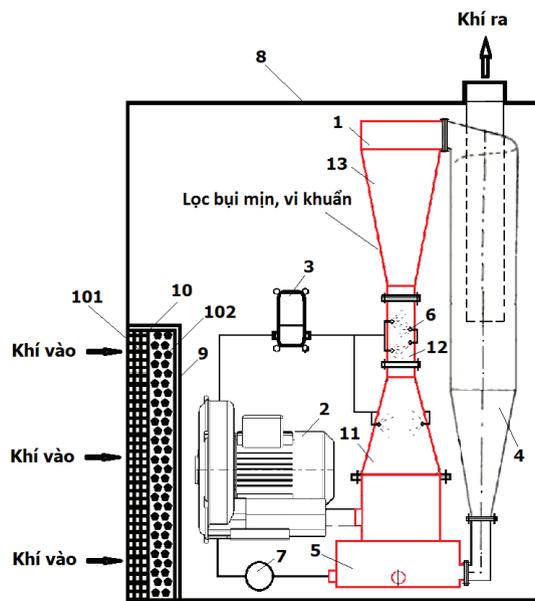
Tổn thất áp suất của thiết bị lọc không khí kiểu ướt: 27,83 mbar.

Bơm tăng áp: Headon, HF-9200, Đà Loan (Trung Quốc).

Đầu phun sương: 6 béc phun sương số 7 (TW8010).

Mô tả cấu tạo thiết bị lọc không khí kiểu ướt: Thí nghiệm xử lý bụi mịn và vi khuẩn được thực hiện trên thiết bị lọc không khí kiểu ướt trong hình 1, công suất 50 m³/giờ, gồm hai cụm xử lý chính. Cụm xử lý thứ nhất là hộp chứa tấm lọc (10), gồm 1 tấm lọc thô (101) và 1 lớp lọc than hoạt tính để hấp phụ các chất hữu cơ dễ bay hơi (VOCs). Khả năng xử lý VOCs không được đánh giá trong khuôn khổ nghiên cứu này.

Cụm thứ hai là mô-đun thiết bị venturi và cyclon có chức năng giữ lại bụi và vi khuẩn từ không khí, gồm hai phần chính: venturi và cyclon tách khí - lỏng. Hệ thống phun sương được sử dụng để tạo ra chất lỏng dạng sương trong thiết bị, bao gồm 1 bơm tăng áp (3), 6 đầu phun sương (6) được bố trí ở 6 vị



Hình 1. Bản vẽ mô tả thiết bị lọc không khí kiểu ướt. 1: Ống nối venturi và xyclon; 2: Quạt hút gió cao áp; 3: Bơm tăng áp; 4: xyclon; 5: Bể chứa nước tuần hoàn; 6: Đầu phun sương; 7: Lõi lọc polypropylene gắn nano bạc; 8: Vỏ máy; 9: Hộp chứa tấm lọc liền vỏ máy; 10: Hộp chứa vật liệu lọc/tấm lọc; 101: Lưới lọc thô; 102: Than hoạt tính dạng hạt; 11: Bộ phận nón thu venturi; 12: Ống thắt venturi; 13: Bộ phận nón mở venturi.

trí như hình vẽ, đảm bảo khả năng tiếp xúc tốt nhất giữa bụi, vi khuẩn và không khí trong mô-đun thiết bị venturi và 1 cốc lọc chứa lõi lọc polypropylene (7) có kích thước mắt lọc 0,5 micromet gắn vật liệu khử khuẩn nano bạc. Các bộ phận được kết nối với nhau bằng hệ ống dẫn chất lỏng. Hệ thống phun sương kết nối với thiết bị lọc không khí kiểu ướt bằng cách kết nối bơm tăng áp (7) với bộ phận chứa chất lỏng (5) và kết nối các đầu phun sương (6) với thiết bị venturi. Mô-đun thiết bị xyclon tách bụi ướt có chức năng tách lỏng và khí nhằm thu lại chất lỏng chứa bụi và vi khuẩn, đồng thời giải phóng khí sạch.

Quy trình hoạt động của thiết bị lọc không khí kiểu ướt: Không khí chứa bụi và vi khuẩn được đưa vào thiết bị lọc không khí kiểu ướt sử dụng quạt hút gió cao áp (2). Trước tiên, không khí được qua lưới lọc thô (101) và lớp vật liệu than hoạt tính (102) được bố trí gắn với bộ phận chứa (10) trên thân vỏ máy để loại bỏ các dị vật, các loại sợi bông, vải, lông động vật có kích thước lớn và loại bỏ VOCs.

Không khí chứa bụi và vi khuẩn sau khi loại bỏ VOCs tiếp tục đi vào mô-đun thiết bị venturi. Tại đây bụi mịn và vi khuẩn sẽ tiếp xúc và bị giữ lại bởi các giọt sương được tạo ra từ hệ thống phun sương. Chất lỏng chứa bụi và vi khuẩn được tách khỏi dòng khí ở mô-đun thiết bị xyclon, cuốn xuống dưới đáy xyclon và vào bể chứa chất lỏng (5) bố trí bên dưới thiết bị venturi. Không khí sạch sau khi tách lỏng được đẩy ra ngoài.

Buồng thử nghiệm có thể tích 1 m³, được lưu thông không khí bằng quạt trộn công suất 0,6 m³/phút. Thiết bị lọc không khí kiểu ướt được đặt trong buồng. Các bước hoạt động gồm:

(i) bật quạt trộn trong 5 phút, (ii) bật máy bơm phun sương, (iii) bật quạt hút cao áp. Quy trình thí nghiệm đối chứng không sử dụng máy lọc không khí được thực hiện tương tự như quy trình thí nghiệm có sử dụng máy lọc không khí, bỏ qua bước (ii).

Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng: Khả năng xử lý bụi mịn PM và vi khuẩn của thiết bị lọc không khí kiểu ướt được tối ưu qua nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng gồm: (i) lượng lỏng cung cấp vào thiết bị thông qua hệ phun sương và vị trí của các đầu phun sương, (ii) nồng độ và kích thước bụi mịn và (iii) nồng độ vi khuẩn trong không khí.

Các thí nghiệm thay đổi lượng lỏng cung cấp, vị trí cấp lỏng qua các đầu phun sương được thực hiện bằng cách sử dụng đầy đủ hoặc cô lập một số đầu phun sương theo mục đích thí nghiệm. Các thí nghiệm khảo sát nồng độ bụi mịn và vi khuẩn khác nhau được thực hiện bằng cách sử dụng không khí thực ngoài trời và thực hiện ở các thời gian khác nhau. Thí nghiệm lọc vi khuẩn theo thời gian xử lý khác nhau được thực hiện độc lập (mỗi thời gian xử lý là một thí nghiệm độc lập) trong cùng một khoảng thời gian trong ngày (sáng hoặc chiều), đảm bảo nồng độ vi khuẩn ban đầu trong không khí thay đổi không đáng kể.

2.4. Các phương pháp đặc trưng

Hình thái và kích thước hạt nano bạc được đặc trưng bằng phương pháp kính hiển vi điện tử quét (FE-SEM, thực hiện trên máy đo Jeol JSM-7500F) và kính hiển vi điện tử truyền qua (TEM, thực hiện trên máy đo JEM 1010). Nồng độ nano bạc trong dung dịch được phân tích bằng phương pháp quang phổ hấp thụ nguyên tử (AAS, thực hiện trên thiết bị Agilent 280Z AAS).

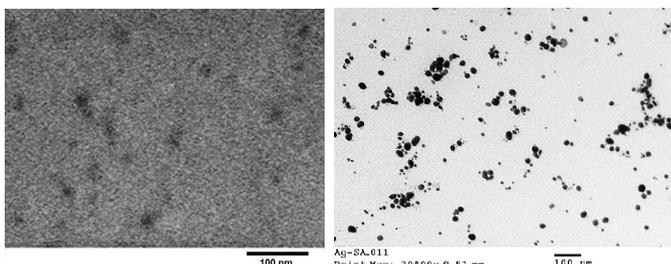
Tốc độ lọc không khí bằng máy đo tốc độ thổi khí TENMAR TM-4001, Đà Loan (Trung Quốc). Chỉ số bụi mịn PM được phân tích theo thời gian thực với 3 loại bụi mịn PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{1,0} bằng máy TSI 9306-V2, Mỹ. Nồng độ vi khuẩn trong buồng thử nghiệm được phân tích theo phương pháp hút không khí (thiết bị lấy mẫu không khí Flora-100) đẩy qua màng lọc đã có sẵn môi trường nuôi cấy (plate count agar). Thời gian hút mẫu là 45 phút. Số lượng vi khuẩn trên màng lọc được phân tích bằng phương pháp đếm khuẩn lạc.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Kết quả chế tạo lõi lọc polypropylene có khả năng diệt khuẩn

Kết quả ảnh FE-SEM và ảnh TEM của dung dịch nano bạc sử dụng để gắn các hạt nano bạc lên lõi lọc polypropylene được thể hiện trên hình 2. Ảnh FE-SEM và TEM cho thấy sự tồn tại các hạt nano Ag kích thước nano trung bình khoảng 10-25 nm và phân tán tương đối đồng đều trong dung dịch chứa nano bạc.

Màu xám của lõi lọc polypropylene 0,5 μm gắn vật liệu khử khuẩn nano bạc trong hình 3 cho thấy, nano bạc đã được gắn lên trên bề mặt của vật liệu sợi polypropylene. Hàm lượng nano bạc gắn lên lõi polypropylene được thể hiện qua nồng độ



Hình 2. Ảnh kính hiển vi điện tử quét và kính hiển vi điện tử truyền qua của dung dịch nano bạc.

bạc trong dung dịch ở thời điểm ban đầu và sau các khoảng thời gian của quá trình gắn. Kết quả bảng 1 cho thấy, nồng độ ban đầu của dung dịch nano bạc là 1006 ppm. Trong quá trình chế tạo lõi lọc polypropylene gắn vật liệu khử khuẩn nano bạc, hàm lượng nano bạc trong dung dịch nano bạc giảm dần theo thời gian do nano bạc được gắn lên lõi polypropylene nhờ tương tác giữa polypropylene và PVP (chất ổn định nano bạc) [11]. Sau 30 phút, các hạt nano bạc đã gắn gần như hoàn toàn lên bề mặt của lõi lọc polypropylene, nồng độ nano bạc trong dung dịch chỉ còn 0,074 ppm và giảm không đáng kể (0,064 ppm) ở 60 phút. Đây có thể là nồng độ của ion bạc tự do trong dung dịch. Kết quả này cho thấy, 30 phút là thời gian tối ưu cho quá trình chế tạo lõi lọc polypropylene gắn vật liệu khử khuẩn nano bạc.



Hình 3. Lõi lọc polypropylene 0,5 μm trước (lõi màu trắng) và sau (lõi màu xám) gắn vật liệu khử khuẩn nano bạc.

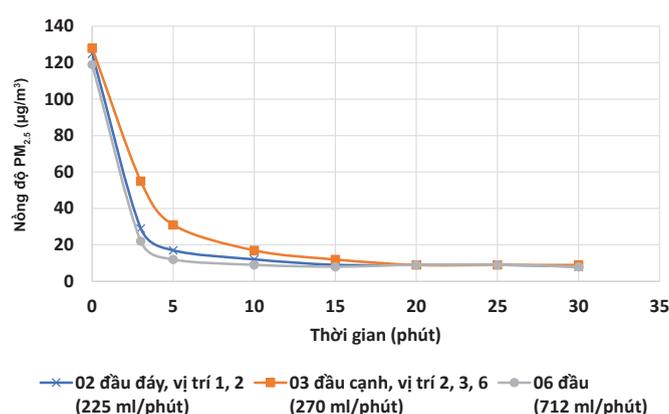
Bảng 1. Kết quả phân tích hàm lượng bạc của dung dịch nano bạc.

Thời gian tuần hoàn (phút)	Nồng độ bạc (ppm)
Ban đầu	1006,000
15	23,000
30	0,074
60	0,061

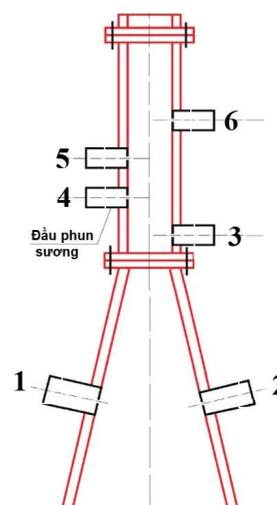
3.2. Kết quả khảo sát khả năng xử lý của thiết bị lọc không khí kiểu ướt theo lưu lượng lồng và vị trí đầu phun sương

Thông số về lưu lượng lồng cấp dưới dạng sương ảnh hưởng nhiều đến hiệu suất lọc bụi mịn của thiết bị lọc bụi bằng phương pháp ướt sử dụng các thiết bị lọc không khí kiểu ướt. Trong nghiên cứu này số lượng đầu phun sương (liên quan đến lưu lượng lồng cấp vào) và vị trí đầu phun sương trong mô-đun thiết bị venturi được khảo sát.

Kết quả trong hình 4 cho thấy, khi tăng lưu lượng cấp lồng bằng cách sử dụng số lượng đầu phun tăng lên, hiệu suất lọc bụi mịn tăng. Kết quả tốt nhất là trong trường hợp sử dụng cả 6 đầu phun sương được thiết kế trong thiết bị venturi. Tuy nhiên, đối với việc sử dụng 3 đầu phun cạnh (các đầu số 2, 3, 6 trong hình 5), hiệu suất lọc bụi mịn không tốt bằng so với việc sử dụng chỉ 2 đầu phun ở phần đáy venturi (các đầu số 1, 2 trong hình 5), mặc dù lưu lượng lồng cấp khi sử dụng 3 đầu phun cạnh đạt 270 ml/phút, lớn hơn so với lưu lượng lồng cấp khi sử dụng 2 đầu phun đáy, đạt 225 ml/phút. Kết quả này cho thấy, không chỉ lưu lượng cấp lồng có ảnh hưởng đến hiệu suất lọc bụi mà vị trí của các đầu phun sương cũng ảnh hưởng đến hiệu suất lọc bụi.



Hình 4. Kết quả xử lý bụi mịn bằng phương pháp ướt theo số lượng đầu phun sương.

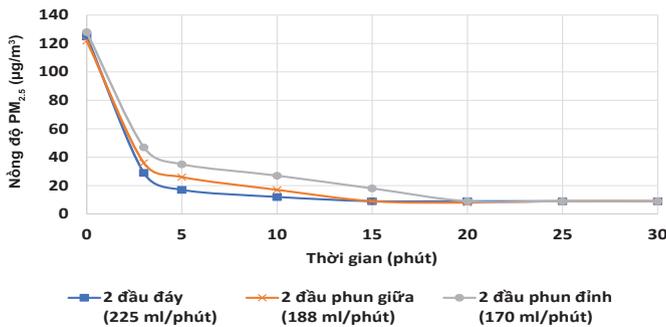


Hình 5. Bố trí các đầu phun sương trên mô-đun thiết bị venturi.

Hai vị trí đầu phun sương ở đáy có ưu điểm tạo ra sương trong vùng thể tích hình nón thu trước khi đi vào ống thắt có đường kính nhỏ. Nhờ thế, các hạt sương tạo ra có thời gian tiếp xúc với dòng khí mang bụi nhiều hơn. Việc thu nhỏ kích thước từ vùng nón vào vùng ống thắt giúp tăng tốc độ của các hạt sương, tăng độ hỗn loạn và làm tăng khả năng tiếp xúc của các hạt sương với bụi mịn. Đối với trường hợp sử dụng 3 đầu cạnh,

vị trí đầu phun sương ở vị trí 3 và 6 nằm dọc về một phía trong ống thất, đặc biệt là đầu phun ở vị trí 6 bố trí ở gần đầu ra của ống thất, do đó các hạt sương tạo ra ở vùng này có thời gian tiếp xúc ngắn với không khí chứa bụi và vi khuẩn, vì thế, có thể đã không hỗ trợ được thêm đáng kể hiệu quả xử lý bụi cho các đầu phun sương ở vị trí 2 và 3.

Kết quả xử lý bụi mịn trong trường hợp chỉ sử dụng hai đầu phun sương ở các vị trí khác nhau trong thiết bị venturi cũng cho thấy rõ kết quả đã biện luận ở phần trên. Theo thông tin trong hình 6, do trở lực của hệ ống phun sương, theo chiều cao, các cặp vị trí phun sương bố trí ở dưới đáy (đầu phun sương ở vị trí 1 và 2) cho lưu lượng lỏng cấp vào ống thất của mô-đun thiết bị venturi lớn hơn so với các cặp đầu phun sương ở giữa (đầu phun sương ở vị trí 3 và 4) và ở đỉnh (đầu phun sương ở vị trí số 5 và 6). Hơn nữa, cặp phun sương ở vị trí đáy sẽ cho khả năng tiếp xúc và thời gian tiếp xúc sương và bụi mịn cao hơn so với cặp ở giữa và cặp ở đỉnh của mô-đun thiết bị venturi, dẫn tới khả năng xử lý bụi mịn khi sử dụng cặp đầu phun sương ở vị trí đáy tốt hơn nhiều so với các cặp phun sương ở hai vị trí giữa và đỉnh của ống thất venturi như quan sát thấy trong hình 6.

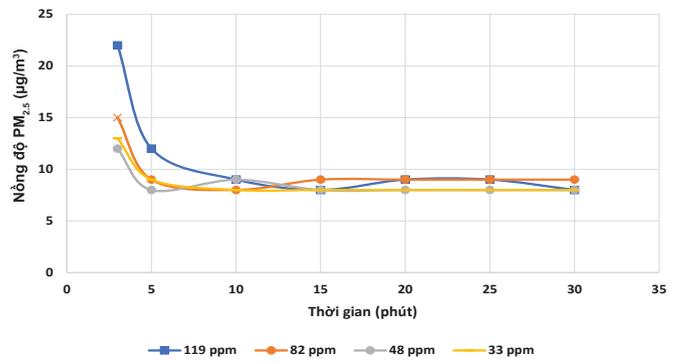


Hình 6. Kết quả xử lý bụi mịn bằng phương pháp ướt theo vị trí đầu phun sương.

Các kết quả nhận được cho thấy, đối với thiết bị lọc không khí kiểu ướt sử dụng các thiết bị venturi và xyclon tách bụi được bố trí với 6 đầu phun sương như trong nghiên cứu này, số lượng đầu phun sương là 6 đầu bố trí dọc theo phần đáy nón thu và ống thất của thiết bị venturi, cho khả năng lọc bụi mịn PM cao nhất. Hiệu quả lọc bụi mịn của thiết bị có thể được cải thiện hơn nữa bằng cách tăng số lượng đầu phun sương bố trí ở dưới đáy nón thu và ở dọc thân ống thất. Chúng tôi tiếp tục các thực nghiệm sử dụng hệ 6 đầu phun này để đánh giá khả năng loại bỏ vi khuẩn không khí bằng phương pháp ướt.

3.3. Kết quả khảo sát khả năng xử lý của thiết bị lọc không khí kiểu ướt theo nồng độ bụi mịn

Để tìm ra khoảng nồng độ bụi mịn phù hợp cho thiết bị lọc không khí kiểu ướt sử dụng các thiết bị venturi và xyclon tách bụi, các thí nghiệm với các nồng độ bụi mịn PM_{2.5} khác nhau đã được nghiên cứu (hình 7). Kết quả thu được cho thấy, nồng độ bụi mịn PM_{2.5} càng cao thì thời gian xử lý sẽ lâu hơn. Tuy nhiên, thời gian xử lý cho các nồng độ bụi mịn PM_{2.5} ban đầu khác nhau về dưới mức yêu cầu đối với không khí sạch (<35 µg/m³) là rất ngắn, chỉ dưới 3 phút.



Hình 7. Kết quả lọc bụi mịn PM_{2.5} bằng phương pháp ướt sử dụng các thiết bị venturi và xyclon tách bụi theo nồng độ bụi mịn.

3.4. Kết quả khảo sát khả năng xử lý của thiết bị lọc không khí kiểu ướt theo kích thước bụi mịn

Theo lý thuyết, kích thước hạt bụi mịn PM càng lớn thì khả năng lọc sẽ càng dễ dàng. Kết quả trong bảng 2 cũng cho thấy nhận định này. Đối với loại bụi mịn PM₁₀ (kích thước 10 micromet và nhỏ hơn), tốc độ xử lý khi sử dụng hệ lọc bằng phương pháp ướt sử dụng các thiết bị venturi và xyclon tách

Bảng 2. Ảnh hưởng của kích thước bụi mịn đến kết quả lọc bụi mịn bằng phương pháp ướt sử dụng các thiết bị venturi và xyclon tách bụi.

Thời gian (phút)	Loại bụi mịn	Nồng độ bụi mịn (µg/m ³)					
		Có*			Không**		
0	PM ₁₀	152	96	55	42	-	-
	PM _{2.5}	119	82	48	33	125	-
	PM _{1.0}	70	51	26	19	-	-
3	PM ₁₀	27	17	15	15	-	-
	PM _{2.5}	22	15	12	13	125	-
	PM _{1.0}	16	9	8	9	-	-
5	PM ₁₀	13	10	9	10	-	-
	PM _{2.5}	12	9	8	9	124	-
	PM _{1.0}	8	6	6	6	-	-
10	PM ₁₀	10	9	10	9	-	-
	PM _{2.5}	9	8	9	8	124	-
	PM _{1.0}	6	6	6	6	-	-
15	PM ₁₀	9	9	9	9	-	-
	PM _{2.5}	8	8	8	8	125	-
	PM _{1.0}	6	6	6	6	-	-
20	PM ₁₀	9	-	-	-	-	-
	PM _{2.5}	8	-	-	-	124	-
	PM _{1.0}	6	-	-	-	-	-
30	PM ₁₀	9	-	-	-	-	-
	PM _{2.5}	8	-	-	-	124	-
	PM _{1.0}	6	-	-	-	-	-

*: Có sử dụng; **: Không sử dụng thiết bị lọc không khí kiểu ướt (không bật bơm phun sương).

bụi đều cho tốc độ giảm lớn hơn so với tốc độ xử lý các loại bụi mịn nhỏ hơn ($PM_{2.5}$ và $PM_{1.0}$). Kết quả cũng cho thấy, không chỉ có khả năng xử lý tốt bụi mịn $PM_{2.5}$, thiết bị lọc không khí kiểu ướt sử dụng các thiết bị venturi và cyclon tách bụi có thể xử lý tốt đối với bụi mịn có kích thước nhỏ hơn ($PM_{1.0}$). Đây là một kết quả nghiên cứu rất đáng chú ý của thiết bị lọc không khí kiểu ướt bằng phương pháp sử dụng các thiết bị venturi và cyclon tách bụi đã được lựa chọn trong nghiên cứu này.

3.5. Kết quả khảo sát khả năng xử lý vi khuẩn của thiết bị lọc không khí kiểu ướt theo nồng độ vi khuẩn

Bảng 3. Kết quả loại bỏ vi khuẩn bằng phương pháp ướt.

Thời gian (phút)	Nồng độ vi khuẩn (cfu/m ³)			
	Thí nghiệm 1	Thí nghiệm 2	Thí nghiệm 3	Thí nghiệm đối chứng*
0	1067	869	755	1171
30	232	189	200	1168
60	44	27	35	1173
90	8	5	2	1177

*: Không sử dụng thiết bị lọc không khí kiểu ướt (không bật bơm phun sương).

Kết quả xử lý vi khuẩn theo cả 4 lần thí nghiệm với nồng độ vi khuẩn khác nhau trong bảng 3 cho thấy, sau 30 phút với nồng độ khuẩn khoảng 700-1000 cfu/m³, nồng độ khuẩn trong buồng thử nghiệm giảm xuống rất nhanh, chỉ còn khoảng 20%. Sau 90 phút, vi khuẩn đã bị loại bỏ trên 99%. Vi khuẩn có nhiều hình dạng và kích thước khác nhau, nhìn chung kích thước nằm trong khoảng 0,1-100 micromet tùy chủng loại [12]. Đây là lý do tại sao thiết bị lọc không khí kiểu ướt có thể loại bỏ được vi khuẩn, tương tự như loại bỏ bụi mịn trong không khí. Các kết quả đánh giá, khảo sát cho thấy, thiết bị lọc không khí kiểu ướt cải tiến đã chế tạo được rất hiệu quả trong việc loại bỏ bụi mịn và các loại vi khuẩn có trong không khí. Đây là kết quả có tính mới so với các nghiên cứu đã biết về các loại máy lọc không khí kiểu ướt đã biết không sử dụng màng lọc đang có trên thị trường trong nước và trên thế giới.

4. Kết luận

Thiết bị lọc không khí kiểu ướt cải tiến sử dụng các đầu phun sương cấp lỏng đã được khảo sát khả năng xử lý bụi mịn và vi khuẩn trong không khí với hiệu quả xử lý cao. 6 đầu phun sương gắn trên mô-đun thiết bị venturi với khả năng cấp lỏng 712 ml/phút cho thấy khả năng xử lý bụi tốt nhất. Các đầu phun sương bố trí ở phía nón thu, phần đáy và phần giữa của ống thắt venturi cho hiệu quả xử lý bụi tốt hơn so với các đầu phun sương ở phần đỉnh ống thắt venturi do tối ưu thời gian tiếp xúc khí - lỏng. Khả năng xử lý bụi mịn của thiết bị lọc không khí kiểu ướt cải tiến không phụ thuộc vào nồng độ bụi mịn và có khả năng xử lý bụi mịn có kích thước siêu nhỏ ($PM_{1.0}$). Không những thế, thiết bị lọc không khí kiểu ướt có khả năng xử lý vi khuẩn trong không khí rất hiệu quả, có khả năng loại bỏ vi khuẩn lên tới 80% tổng vi khuẩn sau 30 phút và loại bỏ gần như

hoàn toàn trong 90 phút. Khả năng loại bỏ cả bụi mịn siêu nhỏ $PM_{1.0}$ và vi khuẩn là đặc điểm đáng chú ý của thiết bị lọc không khí kiểu ướt cải tiến trong nghiên cứu này so với các thiết bị lọc không khí kiểu ướt đã biết.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J.P. Brincat, D. Sardella, A. Muscat, et al. (2016), "A review of the state-of-the-art in air filtration technologies as may be applied to cold storage warehouses", *Trends Food Sci. Technol.*, **50**, pp.175-185, DOI: 10.1016/j.tifs.2016.01.015.
- [2] S. Baek, S. Kim, Y. Yoon, et al. (2024), "Development of an air filter to remove fine dust from indoor air using a traditional Korean paper, 'Hanji'", *Sustainability*, **16**(1), DOI: 10.3390/su16010179.
- [3] Y. Zhang, J. Mo, Y. Li, et al. (2011), "Can commonly used fan-driven air cleaning technologies improve indoor air quality? A literature review", *Atmos. Environ.*, **45**(26), pp.4329-4343, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.05.041.
- [4] M. Bahri, F. Haghghat (2014), "Plasma-based indoor air cleaning technologies: State of the art review", *CLEAN-Soil Air Water*, **42**(12), pp.1667-1680, DOI: 10.1002/clen.201300296.
- [5] M. Bahri, F. Haghghat, S. Rohani, et al. (2016), "Impact of design parameters on the performance of non-thermal plasma air purification system", *Chem. Eng. J.*, **302**, pp.204-212, DOI: 10.1016/j.cej.2016.05.035.
- [6] W. Li, S. Shen, H. Li (2016), "Study and optimization of the filtration performance of multi-fiber filter", *Adv. Powder Technol.*, **27**(2), pp.638-645, DOI: 10.1016/j.apt.2016.02.018.
- [7] L. Liu, S. Wang (2000), "The development and applications of air filter", *Filter & Separator*, **10**, pp.8-9.
- [8] G. Liu, M. Xiao, X. Zhang, et al. (2017), "A review of air filtration technologies for sustainable and healthy building ventilation", *Sustain. Cities Soc.*, **32**, pp.375-396, DOI: 10.1016/j.scs.2017.04.011.
- [9] S. Ali, K. Waheed, K. Qureshi, et al. (2020), "Experimental investigation of aerosols removal efficiency through self-priming venturi scrubber", *Nucl. Eng. Technol.*, **52**(10), pp.2230-2237, DOI: 10.1016/j.net.2020.03.019.
- [10] M.A.M. Costa, A.P.R.A. Ribeiro, É.R. Tognetti, et al. (2005), "Performance of a Venturi scrubber in the removal of fine powder from a confined gas stream", *Mater. Res.*, **8**(2), pp.177-179, DOI: 10.1590/S1516-14392005000200016.
- [11] A. Gnatowski, M. Sosnowski (2018), "Effect of PVP and polybond compatibilizers on dynamic properties of polymer blends analyzed with DMTA", *Adv. Sci. Techno. Res. J.*, **12**(1), pp.36-40, DOI: 10.12913/22998624/85628.
- [12] C. Fan, W. Hu, D. Zhang (2022), "Calibration for number size distribution of bacterial cells measured with traditional size-segregated aerosol samplers", *J. Aerosol Sci.*, **166**, DOI: 10.1016/j.jaerosci.2022.106071.