HỆ THỐNG CHUẨN NỒNG ĐỘ KHỐI LƯỢNG BỤI (MANDUST) - THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO

DƯƠNG THÀNH NAM[1], TRẦN THỊ HOA[1], PHAN THỊ HỒNG HẠNH[1], TRẦN SƠN TÙNG[1], NGUYỄN VĂN HUY[2], NGUYỄN HOÀNG GIANG[2]

[1] *Trung tâm Nghiên cứu và Chuyển giao Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

[2] *Viện Kiểm định Công nghệ và Môi trường, Liên hiệp các Hội Khoa học kỹ thuật Việt Nam*

Tóm tắt:

Hệ thống chuẩn nồng độ khối lượng bụi (ManDust) được thiết kế và chế tạo bởi hệ thống tạo dòng khí khô, hệ thống phân tán, trộn bụi PM với các đầu hút mẫu đẳng động học (isokenetic) và hệ thống đầu ra (thiết bị tham chiếu, thiết bị đo bụi). ManDust tạo ra các điểm nồng độ khối lượng bụi chuẩn với dòng chảy hỗn loạn để đồng nhất bụi PM với các đầu ra hút mẫu isokinetic, nhằm phục vụ kiểm định/hiệu chuẩn các thiết bị đo bụi $PM_{10}/PM_{2.5}$ trong môi trường không khí xung quanh. ManDust cho phép tạo ra bụi PM trong phạm vi nồng độ khối lượng từ vài µg/m³ đến khoảng 2.000 µg/m³ với phân bố đồng nhất 4,38% trên toàn bộ khu vực lấy mẫu, độ ổn định 3,15% trong thời gian thử nghiệm 120 giờ và độ không đảm bảo đo nồng độ khối lượng bụi PM là 5,98% (độ tin cậy 95%).

Từ khóa: *Mandust; hệ thống chuẩn bụi; bụi $PM_{2.5}$, bụi PM_{10}; kiểm định thiết bị đo bụi PM_{10}, $PM_{2.5}$.*

Ngày nhận bài: *14/1/2023.* ***Ngày sửa chữa:*** *20/1/2023.* ***Ngày duyệt đăng:*** *25/1/2023.*

The dust mass concentration reference system (mandust) - Design and fabrication

Abstract:

The dust mass concentration reference system (ManDust) is designed and fabricated by a dry air flow generation system, a dispersion system, a PM dust mixing system with isokenetic sample injectors and an outlet system (reference meter and dust meter). ManDust generates standard dust mass concentration points with turbulent flow to homogenize PM dust with isochronous sampling outputs for verification/ calibration of $PM_{10}/PM_{2.5}$ in the ambient air. ManDust allows the generation of PM in the mass concentration range from a µg/m³ to 2.000 µg/m³ with a uniform distribution rate of 4.38% sampling area, stability of 3.15% in a test of 120h and the uncertainty in measuring the mass concentration of PM 5.98% (95% confidence).

Key words: *Mandust; dust Reference System; $PM_{2.5}$, PM_{10}; PM Verification; PM Calibration.*

JEL Classifications: *Q51, Q52, Q53.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ô nhiễm môi trường không khí xung quanh đang thu hút sự chú ý và việc quan trắc, theo dõi thường xuyên mật độ các loại khí gây ô nhiễm, bụi $PM_{2.5}$, PM_{10} đặc biệt là trong môi trường đô thị đang là yêu cầu hết sức cấp thiết. Thông tin về nồng độ, thành phần và phân bố kích thước của sol khí xung quanh là điều cần thiết để ước tính tác động của chúng đối với sức khỏe và phúc lợi môi trường. Đo lường và xác định đặc điểm của sol khí xung quanh là cách duy nhất để có được thông tin này. Cơ quan quản lý mạng lưới chất lượng không khí và các nhà sản xuất thiết bị đều cố gắng cải thiện việc giám sát chất lượng không khí. Tuy nhiên, vẫn còn nhiều hạn chế trong việc truy xuất nguồn gốc, đo lường nồng độ PM trong không khí.

Ngày nay, thiết bị đo PM tự động trở nên phổ biến và bắt buộc lắp đặt tại các trạm quan trắc chất lượng không khí quốc gia. Để đảm bảo chất lượng đo lường dữ liệu, người sử dụng thiết bị phải hiệu chuẩn, kiểm định hoặc so sánh các phép đo của thiết bị với hệ thống chuẩn tham chiếu đã được thiết lập tốt. Tuy nhiên, vì nhiều lý do, việc hiệu chuẩn thiết bị đo bụi PM gặp nhiều khó khăn. Hầu hết các thiết bị đo bụi PM tự động được kiểm tra, lấy mẫu bằng phương pháp trọng lượng thủ công tại các vị trí giám sát không khí xung quanh [1]. Điều này đòi hỏi thử nghiệm kéo dài và tốn kém do thực hiện tại nhiều địa điểm và thời gian khác nhau trong năm, bao gồm cả điều kiện khí tượng, diễn biến theo không gian và

thời gian của thành phần môi trường không khí xung quanh. Cũng có những điểm không nhất quán giữa các thiết bị đo PM tự động dựa trên các nguyên lý hoạt động khác nhau (như tán xạ ánh sáng [2], hấp thụ beta [3], cân bằng vi lượng [4]) với các hình dạng khác nhau của bụi PM được sử dụng để so sánh, gây trở ngại lớn cho quá trình kiểm định, hiệu chuẩn thiết bị đo. Chính vì vậy, việc phát triển một hệ thống chuẩn mô tả đặc tính của môi trường trong phòng thí nghiệm là rất quan trọng, để tạo điều kiện thuận lợi cho việc thử nghiệm thực tế trong môi trường được kiểm soát.

Hệ thống chuẩn nồng độ khối lượng bụi được trang bị hệ thống tạo hạt, khí sạch, điều hòa và đo lường để thực hiện hiệu chuẩn và đánh giá toàn diện các thiết bị đo. Qua các nghiên cứu trước đây [5], [6], [7] cho thấy, việc chế tạo buồng thử nghiệm theo nguyên tắc giả lập điều kiện môi trường không khí xung quanh vào trong buồng đã đảm bảo việc kiểm soát tốt về nhiệt độ, độ ẩm, vận tốc dòng chảy. Tuy nhiên, sự đồng đều của tốc độ lắng bụi trong buồng chưa được kiểm soát chặt chẽ, tính ổn định của nồng độ bụi chưa được xem xét, hệ thống lắp đặt còn cồng kềnh, chi phí lắp đặt tốn kém với việc tạo ra các mô hình sol khí khác nhau nhằm đánh giá thiết bị đo bụi còn hạn chế. Cheng và Chen[8], [9] cũng đã nêu các yêu cầu đối với hệ thống chuẩn như nồng độ sol khí, kích thước không đổi của sol khí tạo ra và cách lấy mẫu đẳng động. Song, các công trình nghiên cứu cũng chưa đưa ra được nguyên tắc thiết kế cũng như cách thức xác định nồng độ khối lượng bụi PM.

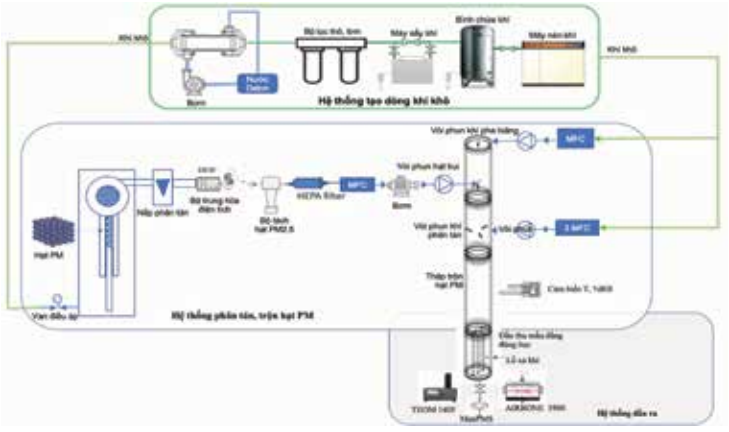
Bài báo này mô tả chi tiết về thiết kế và chế tạo hệ thống chuẩn nồng độ khối lượng bụi PM_{10}/$PM_{2.5}$ (ManDust). Tháp trộn bụi PM gồm tháp trộn đồng nhất với các đầu lấy mẫu isokinetic được nối với thiết bị đo tham chiếu và thiết bị đo bụi cần kiểm định/hiệu chuẩn. Nồng độ khối lượng bụi PM có thể điều chỉnh trong phạm vi từ vài $\mu g/m^3$ đến khoảng 2.000 $\mu g/m^3$, thực nghiệm đánh giá về sự phân bố đồng đều và độ ổn định của bụi PM trong tháp trộn bụi PM.

2. CƠ SỞ THIẾT KẾ VÀ PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

2.1. Thiết kế và chế tạo hệ thống chuẩn nồng độ khối lượng bụi (ManDust)

Sơ đồ thiết kế và chế tạo

ManDust gồm 3 bộ phận: Hệ thống tạo dòng khí khô; Hệ thống phân tán, trộn bụi PM với các đầu hút mẫu đẳng động học (isokenetic); Hệ thống đầu ra (thiết bị tham chiếu và thiết bị đo bụi).



▲ *Hình 2.1. Sơ đồ bố trí thiết kế và chế tạo ManDust*

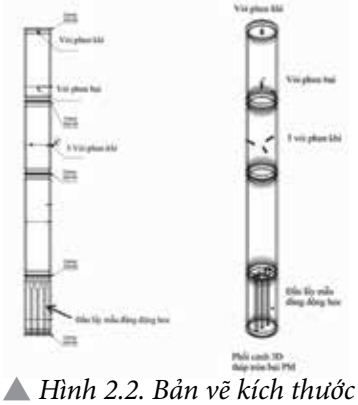
Tháp trộn bụi PM cao (2.090 ± 0,003) mm, đường kính trong là (160 ± 0,002) mm, ở giữa ngăn cách bằng vật liệu bảo ôn cách nhiệt và được thử nghiệm bởi Viện Đo lường Việt Nam (Số GCN V01. CN6.0004.21 ngày 19/7/2021). Tháp trộn làm bằng Inox SUS 316 (khối lượng riêng 7,98 g/cm^3) ở phía trong và Inox SUS 304 (khối lượng riêng 7,93 g/cm^3) ở phía ngoài, ở giữa bao quanh bởi lớp bảo ôn dày 3,5 mm để đảm bảo cách nhiệt và duy trì nhiệt độ không đổi. Bề mặt phía trong bóng, nhẵn và không tích điện. Tháp trộn PM chia thành 4 đoạn có kích thước khác nhau, ghép nối với nhau đảm bảo kín, khít, chịu được áp suất tối đa 5 bar (Hình 2.2).

Vùng lấy mẫu nằm ở phía hạ lưu cách mặt bích đáy 350 mm từ dưới lên và có các đầu hút mẫu đẳng động học (phễu) được đặt ở đầu dưới cùng của thiết bị đồng nhất (Hình 2.3).

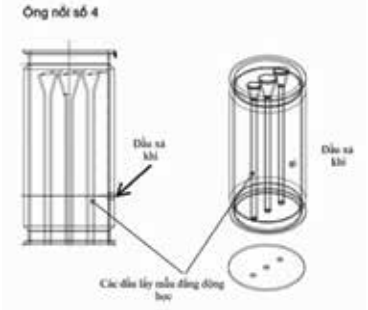
Đầu hút mẫu bụi PM: Một số đầu hút mẫu tùy chỉnh với các mặt cắt khác nhau đã được thiết kế để phù hợp với tốc độ dòng chảy của các thiết bị đo PM tự động khác nhau và trong khoảng (0,2 - 40) L/min.

Đầu ra 3 vị trí hút mẫu: hai đường hút mẫu song song được đưa vào tháp trộn bụi PM ở độ cao nơi thường đặt các đầu hút mẫu; vị trí của đường hút mẫu đầu tiên được giữ cố định tại vị trí trung tâm của ống trụ (vị trí bán kính 0), trong khi đường thứ hai được đặt ở khoảng cách i = - 47 mm và + 47 mm so với vị trí trung tâm. Đầu ra của mỗi đường hút mẫu được kết nối với thiết bị tham chiếu và thiết bị đo bụi thử nghiệm.

Lỗ thoát khí bụi: Dòng bụi PM dư thừa thoát ra khỏi tháp trộn bụi PM thông qua một cửa xả được kết nối với đường chân không như trong Hình 2.3.



▲ *Hình 2.2. Bản vẽ kích thước 04 đoạn của tháp trộn bụi PM*



▲ *Hình 2.3. Vị trí lắp đặt phễu hút mẫu trong tháp trộn bụi PM*

Nguyên lý hoạt động

Không khí khô được lọc, kiểm soát nhiệt độ và độ ẩm với tốc độ dòng cố định 120 L/min đi vào tháp trộn từ phía trên, quét các hạt bụi khoáng ($PM_{2.5}$, PM_{10}) xuống ống thông qua béc phun Air nozzle (1/4M TF-R8-010 S316L-IN-MISUMI, Nhật Bản) và được kiểm soát lưu lượng thông qua bộ điều khiển tự động (Mass flow controller, HORIBA, MFC - model S600). Hạt bụi tiêu chuẩn (ISO 12103-A1, A4, PTI, USA) được bơm vào giữa ống thông qua vòi bụi (B2, ISO 5011, Hoa Kỳ) nằm ở phía hạ lưu tháp trộn bụi 40 cm như trong Hình 2.1.

Ba béc phun khí (MJ4, Silvent) (lưu lượng 20 L/min mỗi béc phun) được đặt đối xứng xung quanh ống đồng nhất hướng 60° xuống dưới (Hình 2.1), cách lỗ phun bụi 20 cm. Như vậy, tổng lưu lượng dòng chảy của khí khô trong ống đồng nhất là 180 L/min và lưu lượng đi vào buồng của các hạt bụi là (10 ÷ 20) L/min. Tốc độ dòng chảy và cường độ hỗn loạn trong tháp trộn bụi thấp, mô phỏng điều kiện lấy mẫu không khí tĩnh lặng (< 0,5 m/s).

Các sol khí mô hình đa thành phần được tạo ra để tái tạo các đặc tính chính của không khí xung quanh thực về sự phân bố kích thước hạt, thành phần hóa học và nồng độ số/khối lượng, bao gồm cả tính bán bay hơi và hút ẩm. Để điều chỉnh sự phân bố kích thước hạt xấp xỉ với sự phân bố của PM_{10}, sol khí thử nghiệm được tạo ra với thiết bị RBG 1.000 được đưa qua bộ tác động ảo. Trước khi đưa vào buồng, nồng độ sol khí được pha loãng và có thể tái tạo bằng bộ tác động ảo. Sau đó, dòng khí mang hạt tiếp tục được pha loãng với dòng thể tích chính trong tháp trộn hạt bụi. Ngoài ra, để khử độ tĩnh điện của hạt bụi trong tháp trộn hạt bụi, một viên phóng xạ nhỏ Kr85 với hoạt độ rất nhỏ khoảng được đặt giữa tháp trộn bụi. Bụi được bơm tuần hoàn liên tục vào tháp trộn bụi trong vòng (1 - 2) h với lưu lượng (10 - 20) L/min.

Ba đầu lấy mẫu đẳng động học được đặt ở dưới hạ lưu tháp trộn bụi 35 cm với mục đích nối với các thiết bị thu bụi ở ngoài hệ thống. Ba (03) thiết bị đo PM (TEOM 1.405 Thermo Scientific, Hoa Kỳ; Leckel LVS 3, Đức; Airborne 3.900, Kanomax, Nhật Bản) được sử dụng trong nghiên cứu này. Phương pháp tham chiếu được sử dụng để xác định nồng độ khối lượng hạt PM_{10} hoặc $PM_{2.5}$ trong sol khí môi trường tổng hợp tương tự như phương pháp được mô tả trong tiêu chuẩn EN12341:2014 (CEN/TC 264/WG-15, 2014) được nối với đầu lấy mẫu đẳng động học đặt ở trung tâm. Các sol khí được hút qua bộ lọc sợi thủy tinh tráng PTFE 47 mm được đặt trong một giá đỡ bộ lọc bằng kim loại. Lưu lượng khí được kiểm soát bằng van kim và được đo bằng đồng hồ đo lưu lượng khối lượng đã hiệu chuẩn (Natec Sensors GmbH, Đức) được kết nối với một máy bơm sol khí (VTE3, Thomas, Đức) theo lưu lượng thể tích tương ứng với 2,3 m^3/h ở điều kiện môi trường xung quanh.

Ống nối giữa đầu dò lấy mẫu đẳng động (phễu lấy mẫu trung tâm trong và giá đỡ bộ lọc được làm bằng vật liệu thép không gỉ, được giữ càng ngắn càng tốt (≈ 5 cm) mà không bị uốn cong để giảm thiểu tổn thất lắng đọng của vật chất dạng hạt do các quá trình đẳng động học cũng như tổn thất do các quá trình nhiệt, hóa học hoặc tĩnh điện. Cuối cùng, nhiệt độ và áp suất trong phòng thí nghiệm được giữ không đổi ở (25 ± 1)°C và (950 ± 20) hPa, tương ứng.

2.2. Chế độ bảo trì hệ thống trong thời gian thử nghiệm

Sau một thời gian sử dụng cần phải bảo trì, vệ sinh các thiết bị đầu vào và đầu ra bằng cách làm sạch ngăn chứa bộ lọc bằng khí nén.

- Sau 01 chu kỳ thử nghiệm: Tương ứng với (3 - 4) ngày x 24 giờ lấy mẫu bụi PM thử nghiệm với thời gian ổn định khoảng 8 giờ tương đương tổng cộng (80 - 100) giờ hoạt động thì loại bỏ và làm sạch ngăn chứa bụi PM trên RBG 1.000 (bằng chổi + máy hút bụi); Tháo và làm sạch bộ tác động ảo (bàn chải + máy hút bụi); Tháo và làm sạch phần tử kết nối giữa RBG 1.000 và bộ tác động ảo (chổi quét + máy hút bụi); Kiểm soát thời gian chạy của máy nén, kiểm soát các bộ phận sấy của máy nén (điểm sương, thời gian còn lại để bảo dưỡng), thoát nước của bình ngưng tụ.

- Sau 5 - 6 chu kỳ thử nghiệm: Khoảng 500 giờ hoặc trước khi vận hành thử sau thời gian ngừng hoạt động lâu hơn: Xem ở trên, làm sạch bổ sung bằng khí nén; Tháo và làm sạch bộ lấy mẫu (khí nén); Vệ sinh ống xả của RBG 1.000; Kiểm tra trực quan bộ tách dầu; Tháo và kiểm tra trực quan chổi quét trên RBG 1.000.

2.3. Phương pháp thực nghiệm và đánh giá

Độ không đảm bảo đo (ĐKĐB) của hệ thống chuẩn nồng độ khối lượng bụi

Nồng độ khối lượng bụi PM tham chiếu [10]

$$C_{(m,ref)} = \eta_{hom} \frac{m}{V} = \eta_{hom} \frac{(m_{ai} - m_{bi})}{(Q \times t)} \quad (2.1)$$

Trong đó:

$C_{(m,ref)}$: Nồng độ khối lượng bụi PM tham chiếu, µg/m^3;

η_{hom}: Độ lệch đồng nhất vị trí đầu hút mẫu

$$\eta_{hom} = \frac{|C_{iref} - C_{jref}|}{\bar{C}} \quad (2.2)$$

C_{iref}: Nồng độ bụi PM tại vị trí i trên cùng mặt phẳng tiết diện thu mẫu, µg/m^3;

C_{jref}: Nồng độ bụi PM tại vị trí j trên cùng mặt phẳng tiết diện thu mẫu, µg/m^3;

$\bar{C}$: Nồng độ bụi PM trung bình tại các điểm đo, µg/m^3;

m: Khối lượng bụi PM thu được trên cái lọc bụi, µg

$$m = (m_{ai} - m_{bi}) \quad (2.3)$$

m_{ai}: Khối lượng cái lọc bụi thứ i sau khi hút mẫu, µg;

m_{bi}: Khối lượng cái lọc bụi thứ i trước khi hút mẫu, µg;

V: Thể tích hút mẫu, m^3

$$V = Q \cdot t \quad (2.4)$$

Q: Lưu lượng thể tích qua cái lọc bụi, m^3/h;

t: Thời gian thu mẫu bụi PM (thời gian đo), h.

Từ phương trình tổng quát (2.8), ĐKĐB tổng hợp là đại lượng được xác định từ tổ hợp chuẩn của nồng độ khối lượng bụi chuẩn:

$$u_C^2 = C^2 \times \left(\frac{u_{\eta hom}^2}{\eta_{hom}^2} + \frac{u_{(m_{ai}-m_{bi})}^2}{(m_{ai}-m_{bi})^2} + \frac{u_{(Q)}^2}{Q^2} + \frac{u_{(t)}^2}{t^2} \right) \quad (2.5)$$

Trong đó:

t: Xác định rất lớn và u(t) xấp xỉ bằng không, ảnh hưởng không đáng kể nên $\frac{u^2(t)}{t^2} \sim 0$

Từ đó suy ra:

$$u^2_C = \frac{(m_{ai}-m_{bi})^2 \times u^2(\eta_{hom})}{Q^2 \times t^2} + \frac{\eta^2_{hom} \times u^2_{(m_{ai}-m_{bi})}}{\times t^2} + \frac{C^2 \times u^2_{(Q)}}{100^2} \quad (2.6)$$

Để đánh giá sự phân bố đồng đều nồng độ khối lượng bụi PM tại đầu ra của tháp trộn, nghiên cứu đã tiến hành so sánh các cặp nồng độ bụi PM tại các vị trí khác nhau. Hai đầu hút mẫu song song được đưa vào tháp trộn ở độ cao phễu thu mẫu; vị trí đầu hút mẫu đầu tiên được giữ cố định tại tâm của tháp trộn (vị trí bán kính 0 - vị trí a), trong khi đường thứ hai được đặt liên tiếp ở khoảng cách i = - 47 mm và + 47 mm (lần lượt là các vị trí b, c) đối với tâm (vị trí a). Đầu ra của mỗi đầu hút mẫu được kết nối với thiết bị thu mẫu tham chiếu trọng lượng (Leckel LVS3, Đức). Tổng các phép đo nồng độ tại 3 vị trí khác nhau dọc theo đường kính (a, b, c) của tháp trộn đã được thực hiện.

- ĐKĐB gây ra bởi độ lệch đồng nhất vị trí đầu hút mẫu

$$u_{\eta hom} = \frac{|C_{iref} - C_{jref}|}{C \times 2\sqrt{3}} \mu g/m^3 \quad (2.7)$$

Độ không đảm bảo đo chuẩn loại A (uAref)

Độ không đảm bảo đo do phép đo lặp lại [11]:

- Giá trị trung bình của n phép đo:

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \quad (2.8)$$

- Độ lệch chuẩn thực nghiệm của giá trị trung bình:

$$s\ \overline{x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.9)$$

Trong đó:

n: Số lần đo;

x_i: Giá trị đo thứ i;

$\overline{x}$: Giá trị đo trung bình.

- Độ không đảm bảo đo chuẩn loại A:

$$u_{Aref} = \frac{s(\overline{x})}{\sqrt{n}} \quad (2.10)$$

- Độ không đảm bảo đo chuẩn tổng hợp (u_c)

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{(m_{ai}-m_{bi})^2 \times u^2_{\eta hom}}{Q^2 \times t^2} + \frac{\eta^2_{hom} \times u^2_{(m_{ai}-m_{bi})}}{Q^2 \times t^2} + \frac{C^2 \times u^2_{(Q)}}{100^2} + u^2_{Aref} + u^2_A + u^2_{res} \right)} \quad (2.11)$$

Hoặc $u_c = \frac{u_c \times 100}{\overline{C}}(\%)$ (2.12)

Trong đó:

$\overline{C}$: Giá trị trung bình của chuẩn, µg/m³;

u_A: Độ lặp lại của phương tiện đo (PTĐ) cần hiệu chuẩn;

u_{res}: Độ phân giải của PTĐ cần hiệu chuẩn;

u_{Aref}: Độ lặp lại của thiết bị thu mẫu chuẩn.

Độ ổn định của nồng độ bụi PM trong tháp trộn bụi PM

Để đánh giá tính ổn định của nồng độ khối lượng bụi, các giá trị đo được của thiết bị đo bụi tự động TOEM 1405D được sử dụng. Thực nghiệm đánh giá 8 ngày (từ ngày 23/10 - 30/10/2021) và chia thành 2 chu kỳ: chu kỳ 1 đo nồng độ khối lượng bụi liên tục trong vòng 5 ngày tại điểm nồng độ danh định 500 µg/m³ và chu kỳ 2 là đo nồng độ khối lượng bụi tại mẫu "0" (giá trị không của hệ thống) trong khoảng (2 - 3) ngày.

- Kiểm tra độ trôi tại mẫu "0":

$ZD = (C_{xh} - C_h)$ (2.13)

Trong đó:

ZD: Độ trôi mẫu "0" sau x giờ, µg/m³;

C_{xh}: Giá trị mẫu "0" trung bình đo sau x giờ, µg/m³;

C_h: Giá trị mẫu "0" trung bình tại thời điểm ban đầu, µg/m³.

- Kiểm tra độ trôi điểm nồng độ:

Độ trôi điểm nồng độ được kiểm tra bằng cách sử dụng 1 điểm có giá trị nồng độ khối lượng bụi chuẩn để tiến hành kiểm tra độ ổn định theo thời gian. Tiến hành đo lặp lại sau x giờ kể từ lần kiểm tra đầu tiên.

Độ trôi điểm nồng độ được xác định theo công thức:

$$SD = \frac{(C_{xh} - C_h)}{C_{ref}} \times 100 \quad (2.14)$$

Trong đó:

SD: Độ trôi điểm nồng độ sau x giờ, %;

C_{xh}: Giá trị điểm nồng độ trung bình đo sau x giờ, µg/m³;

C_h: Giá trị điểm nồng độ trung bình đo lần đầu, µg/m³;

C_{ref}: Giá trị trung bình 2 thời điểm của thiết bị đo nồng độ khối lượng bụi, µg/m³.

Phương pháp thực nghiệm và đánh giá là như nhau đối với các loại bụi PM.

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

3.1. Kết quả đánh giá độ đồng đều nồng độ khối lượng bụi đầu ra của ManDust

Nồng độ khối lượng bụi PM đo được tại vị trí trung tâm và sử dụng làm tham chiếu ($C_{ref} = C_0$). Bằng cách tính toán độ lệch chuẩn của 3 cặp dữ liệu đo, độ đồng nhất trong không gian của bụi PM về nồng độ số được tìm thấy là khoảng 2,54% đối với hệ số bao phủ k = 2 (tức là độ tin cậy 95%). Điều này được sử dụng làm ước lượng cho độ không đảm bảo đo của độ đồng nhất trong không gian của bụi $PM_{\eta hom}$ (Bảng 1).

Nguồn độ không đảm bảo đo của hệ thống chuẩn được thiết lập, có tính đến các độ không đảm bảo thống kê gây ra bởi sự không đồng nhất của không gian bụi

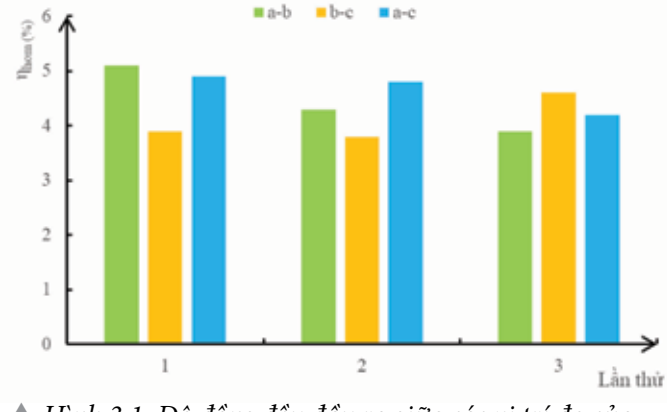
PM tại vị trí lấy mẫu, tổn thất hạt có thể xảy ra do sự khuyếch tán và va đập của ống lấy mẫu, lưu lượng bụi PM qua cái lọc bụi được đo bằng đồng hồ đo lưu lượng đã được hiệu chuẩn và kiểm soát bằng MFC và cân điện tử. PM_{10} ở nồng độ 600 µg/m³, độ không đảm bảo đo của hệ thống chuẩn nồng độ khối lượng bụi (ManDust) được xác định là 5,98% (độ tin cậy 95%).

Bảng 1. Nguồn độ không đảm bảo đo của nồng độ khối lượng PM_{10}

TT	Nguồn gây ra độ không đảm bảo đo	Ký hiệu	Kết quả lý thuyết	Kết quả thực tế	Kết quả ĐKĐB
1	Thời gian hút mẫu	t	7.200 min	7.200 min	Không đáng kể
2	Độ đồng nhất của bụi PM tại đầu ra của ManDust	η_{hom}	0%		1,27%
3	Lưu lượng hút qua cái lọc bụi	Q	38,333 L/min	38,141 L/min	1,25%
4	Độ lặp lại của ManDust	u_{Aref}	600 µg/m³	587 µg/m³	10 µg/m³
5	Độ lặp lại của PTĐ	u_A	600 µg/m³	601 µg/m³	12,5 µg/m³
6	Độ phân giải của ManDust	u_{res}	0,1 µg/m³		0,0289 µg/m³
7	ĐKĐB đo tổng hợp	u_c			17 µg/m³ (2,99%)
8	ĐKĐB đo mở rộng (k = 2)	U			35 µg/m³ (5,98%)

Đồng hồ đo lưu lượng khối lượng (Natec Sensors GmbH, Đức) đã được hiệu chuẩn bởi Viện ETV và liên kết chuẩn tới SI. Độ không đảm bảo đo tương đối trên chứng chỉ hiệu chuẩn lên tới 0,5%.

Dữ liệu về độ đồng nhất về nồng độ trong không gian của bụi PM tại vị trí lấy mẫu được thể hiện trong Hình 3.1. Mặc dù, độ đồng nhất trong không gian của bụi PM tại các cặp vị trí a và b, a và c, b và c là khác nhau, nhưng tất cả không hơn 5,1% và giá trị trung bình là 4,38%. Kết quả nghiên cứu này phù hợp với các nghiên cứu trước đó, sự đồng đều trong không gian của bụi PM về nồng độ số được tìm thấy là 1,3% đối với hệ số bao phủ k = 1 (độ tin cậy 68%) hoặc 2,6% đối với k = 2 (độ tin cậy 95%) trong nghiên cứu của Horender [10], không quá 8% trong công bố của Zou [12]. Đây cũng là một thông số quan trọng nhưng chưa được đánh giá nghiêm ngặt trong các nghiên cứu trước đây [13], [14], [7], [15], [16].



▲ *Hình 3.1. Độ đồng đều đầu ra giữa các vị trí đo của ManDust*

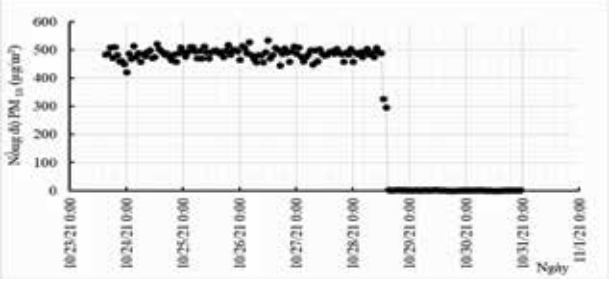
3.2. Kết quả đánh giá độ ổn định nồng độ khối lượng bụi đầu ra của ManDust

Trên cơ sở thực nghiệm từ tháng 10/2021, dữ liệu đã được thu thập để đánh giá độ ổn định của nồng độ khối lượng bụi trong tháp trộn. Kết quả thể hiện bằng các giá trị trung bình, độ lệch chuẩn dưới dạng bảng (Bảng 2) và biểu đồ chuỗi thời gian (Hình 3.2 đến Hình 3.4). Chu kỳ thực nghiệm được chia thành 2 giai đoạn: giai đoạn 1 đo nồng độ khối lượng bụi liên tục trong vòng (4 - 5) ngày tại điểm nồng độ thiết kế và giai đoạn 2 đo nồng độ khối lượng bụi tại điểm "0" (giá trị không của hệ thống) với tổng chu kỳ thực nghiệm 8 ngày. Qua đây nghiên cứu đã tiến hành đánh giá sự ổn định của nồng độ khối lượng bụi qua 01 chu kỳ tại giá trị danh định là 500 µg/m³. Kết quả đánh giá độ ổn định nồng độ khối lượng bụi trung bình là 3,15%.

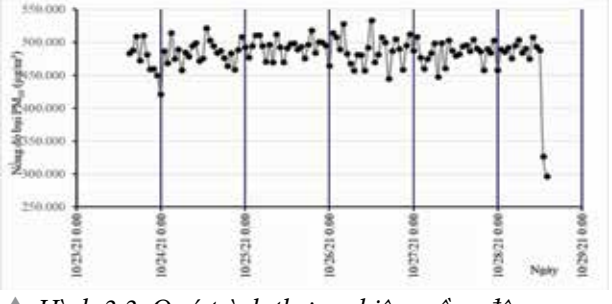
Bảng 2. Giá trị trung bình và độ lệch chuẩn đối với bụi thử nghiệm (ĐVT = µg/m³)

Chu kỳ	Kiểu	Ngày 1	Ngày 2	Ngày 3	Ngày 4	Ngày 5	Ngày 6	Tổng chu kỳ
1	P	479,38 ± 21,13	482,81 ± 20,97	493,03 ± 13,38	487,83 ± 23,16	485,14 ± 15,99	464,14 ± 63,33	483,74 ± 29,08
1 - 2	N							1,95 ± 0,89

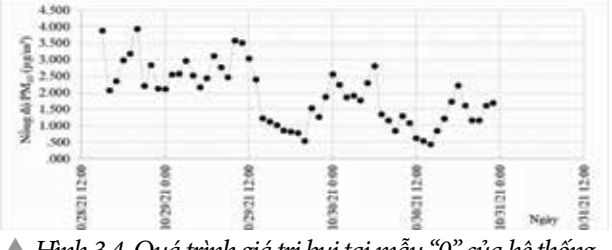
(P = giá trị bụi tại điểm nồng độ danh định; N = giá trị bụi tại điểm "0")



▲ *Hình 3.2. Diễn biến nồng độ khối lượng bụi trong toàn bộ chu kỳ (8 ngày)*



▲ *Hình 3.3. Quá trình thực nghiệm nồng độ khối lượng bụi trong chu kỳ đo*



▲ *Hình 3.4. Quá trình giá trị bụi tại mẫu "0" của hệ thống*

Như vậy, tháp trộn bụi PM cho phép tạo ra các bụi PM thử nghiệm trong phạm vi nồng độ từ vài µg/m³ đến 2.000 µg/m³. Độ ổn định của đầu ra bụi PM trung bình là 3,15% trong 120 giờ thử nghiệm.

Sự nhiễm bẩn của hệ thống chuẩn bụi thử nghiệm là do một lượng nhỏ bụi còn sót lại trong hệ thống sau quá trình thử nghiệm, chúng được tạo ra do quá trình lắng và bám dính của hạt (Hình 3.4). Nó được đặc trưng bởi các giá trị nồng độ đi được trong quá trình kiểm tra tại điểm 0, điều này có thể xảy ra, bởi khi hệ thống tạo bụi PM ngừng hoạt động, bụi trong hệ thống chưa được phân tán hết sẽ tiếp tục phân tán. Trong quá trình tối ưu hóa hệ thống và quy trình, các ảnh hưởng đã được giảm xuống mức tối thiểu có thể chấp nhận được. Như thể hiện trong Bảng 2, hệ thống cung cấp giá trị bụi tại điểm "0" theo thứ tự trung bình là 1,95 µg/m³ với độ lệch chuẩn tương ứng là 0,89 µg/m³.

4. KẾT LUẬN

- Hệ thống chuẩn nồng độ khối lượng bụi (ManDust) với thiết kế nhỏ gọn và phân thành 4 đoạn ống khác nhau, dễ dàng tháo lắp và vệ sinh. Đặc tính kỹ thuật đã được cải tiến và tối ưu hơn so với các công trình nghiên cứu trước đây.

- Nồng độ khối lượng bụi PM có thể được điều chỉnh trong phạm vi từ vài µg/m³ lên đến khoảng 2.000 µg/m³ và ổn định trong vài giờ. Hệ thống lấy mẫu đẳng động có khả năng thích ứng cao và có thể sử dụng để thu bụi cho các thiết bị có lưu lượng lên đến 40 L/min.

- Độ ổn định của bụi PM trong tháp trung bình là 3,15% trong 120 giờ thử nghiệm.

- Sự phân bố đồng nhất về không gian bụi PM là 4,38% tương ứng với ĐKĐB đo là 2,54% (k = 2, độ tin cậy 95%) trên toàn bộ khu vực lấy mẫu. Độ không đảm bảo đo trong việc xác định nồng độ bụi PM 5,98% (k = 2, độ tin cậy 95%).

5. KIẾN NGHỊ

Trong thời gian tới, nghiên cứu sẽ tập trung vào việc cải thiện thiết kế bằng cách giảm kích thước của tháp trộn bụi PM. Đồng thời, cải tiến, xây dựng một hệ thống có thể đánh giá, thử nghiệm được bằng các loại bụi PM từ các nguồn khác nhau như huyền phù, bồ hóng và muối với mục đích tạo ra các bụi PM đa thành phần mô phỏng các đặc tính của không khí ngoài trời, tập trung vào kiểm soát độ đồng đều và tính ổn định của nồng độ khối lượng bụi trong tháp trộn bụi PM■.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả trân trọng cảm ơn Vụ Khoa học và Công nghệ, Bộ TN&MT đã phê duyệt và hỗ trợ kinh phí để thực hiện đề tài "Nghiên cứu, chế tạo Hệ thống chuẩn phục vụ kiểm định/hiệu chuẩn thiết bị đo bụi trong môi trường không khí" với mã số TNMT.2021.996.01.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. H. Hauck et al., "On the equivalence of gravimetric PM data with TEOM and beta-attenuation measurements", J. Aerosol Sci., vol. 35, no. 9, pp. 1135 - 1149, 2004, doi: 10.1016/j.jaerosci.2004.04.004.

2. C. H. Chien, A. Theodore, C. Y. Wu, Y. M. Hsu, and B. Birky, "Upon correlating diameters measured by optical particle counters and aerodynamic particle sizers", J. Aerosol Sci., vol. 101, pp. 77 - 85, 2016, doi: 10.1016/j.jaerosci.2016.05.011.

3. S. E. Shin, C. H. Jung, and Y. P. Kim, "Analysis of the measurement difference for the PM 10 concentrations between beta-ray absorption and gravimetric methods at gosan", Aerosol Air Qual. Res., vol. 11, no. 7, pp. 846 - 853, 2011, doi: 10.4209/aaqr.2011.04.0041.

4. H. Patashnick and E. G. Rupprecht, "Continuous pm-10 measurements using the tapered element oscillating microbalance", J. Air Waste Manag. Assoc., vol. 41, no. 8, pp. 1079 - 1083, 1991, doi: 10.1080/10473289.1991.10466903.

5. Y. Wang, J. Li, H. Jing, Q. Zhang, J. Jiang, and P. Biswas, "Laboratory Evaluation and Calibration of Three Low-Cost Particle Sensors for Particulate Matter Measurement", Aerosol Sci. Technol., vol. 49, no. 11, pp. 1063 - 1077, 2015, doi: 10.1080/02786826.2015.1100710.

6. E. Austin, I. Novosselov, E. Seto, and M. G. Yost, "Laboratory evaluation of the Shinyei PPD42NS low-cost particulate matter sensor," PLoS One, vol. 10, no. 9, pp. 1–17, 2015, doi: 10.1371/journal.pone.0137789.

7. V. Papapostolou, H. Zhang, B. J. Feenstra, and A. Polidori, "Development of an environmental chamber for evaluating the performance of low-cost air quality sensors under controlled conditions", Atmos. Environ., vol. 171, pp. 82 - 90, 2017, doi: 10.1016/j.atmosenv.2017.10.003.

8. W. Chen, B. T., and John, "Instrument calibration.", Aerosol Meas. Princ. Tech. Appl., pp. 627 - 666, 2001.

9. B. T. Cheng, Y.-S., and Chen, "Aerosol Sampler Operation", in In Air Sampling Instruments, 8th ed., Jr. ACGIH Worldwide, Cincinnatti, OH: ACGIH, 2001, pp. 177 - 199.

10. S. Horender et al., "Facility for production of ambient-like model aerosols (PALMA) in the laboratory: Application in the intercomparison of automated PM monitors with the reference gravimetric method", Atmos. Meas. Tech., vol. 14, no. 2, pp. 1225 - 1238, 2021, doi: 10.5194/amt-14-1225-2021.

11. Tổng cục Tiêu chuẩn đo lường chất lượng, "ĐLVN 294:2016 - Chuẩn đo hàm lượng bụi tổng trong không khí quy trình hiệu chuẩn", 2016.

12. J. Zou et al., "A new calibration device of particulate matter mass concentration monitor", IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., vol. 64, no. 1, pp. 0 - 5, 2017, doi: 10.1088/1755-1315/64/1/012072.

13. O. Hogrefe, F. Drewnick, G. G. Lala, J. J. Schwab, and K. L. Demerjian, "Development, operation and applications of an aerosol generation, calibration and research facility", Aerosol Sci. Technol., vol. 38, no. SUPPL. 1, pp. 196 - 214, 2004, doi: 10.1080/02786820390229516.

14. D. Liu, Q. Zhang, J. Jiang, and D. R. Chen, "Performance calibration of low-cost and portable particular matter (PM) sensors", J. Aerosol Sci., vol. 112, pp. 1 - 10, 2017, doi: 10.1016/j.jaerosci.2017.05.011.

15. J. J. Schwab et al., "Laboratory Characterization of Modified Tapered Element Oscillating Microbalance Samplers Laboratory Characterization of Modified Tapered Element Oscillating Microbalance Samplers", vol. 2247, no. May, 2016, doi: 10.1080/10473289.2004.10471019.

16. K. Zhu, J. Zhang, and P. J. Lioy, "Evaluation and comparison of continuous fine particulate matter monitors for measurement of ambient aerosols", J. Air Waste Manag. Assoc., vol. 57, no. 12, pp. 1499 - 1506, 2007, doi: 10.3155/1047-3289.57.12.1499.