

HỆ THỐNG CHUẨN NỒNG ĐỘ KHỐI LƯỢNG BỤI (MANDUST) - THIẾT KẾ, CHẾ TẠO, THỬ NGHIỆM ĐẦU RA CỦA THÁP TRỘN BỤI PM

DƯƠNG THÀNH NAM¹, TRẦN THỊ HOA¹, TRẦN SƠN TÙNG¹,
NGUYỄN HOÀNG GIANG¹

¹Trung tâm Nghiên cứu và Chuyển giao Công nghệ

¹Viện Kiểm định Công nghệ và Môi trường

Tóm tắt:

Nghiên cứu đã thiết kế và xây dựng các chỉ tiêu đầu ra cho hệ thống chuẩn nồng độ khối lượng bụi (ManDust) dựa trên nguyên lý hút mẫu Isokinetic. ManDust có khả năng thích ứng cao và tích hợp các thiết bị có lưu lượng lên đến 40 L/min. ManDust cho phép tạo ra bụi PM trong phạm vi nồng độ khối lượng từ 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ đến khoảng 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ với sự phân bố không đồng nhất là 4,38 % trên toàn bộ khu vực lấy mẫu. Ngoài ra nghiên cứu cũng đánh giá độ lặp lại của 2 thiết bị đo PM (TEOM 1405-D của Thermo Scientific, Hoa Kỳ và Airborne 3900 của Kanomax, Nhật Bản) và phương pháp tham chiếu trọng lượng (sử dụng Leckel LVS3). Thử nghiệm cho thấy rằng độ lặp lại của các đối tượng được đo nhỏ, độ lặp lại thu được bằng độ lệch chuẩn thực nghiệm gần với độ lặp lại của thiết bị đo tham chiếu.

Từ khóa: ManDust; Hệ thống chuẩn bụi; Bụi $\text{PM}_{2,5}$; Bụi PM_{10} ; Kiểm định thiết bị đo bụi PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$.

Ngày nhận bài: 1/9/2023. **Ngày sửa chữa:** 28/9/2023. **Ngày duyệt đăng:** 19/10/2023.

ManDust - Determination and Selection of the output characteristics of the dust mixing tower with isokinetic sampling probe

Abstract:

In this study, we have designed and built output criteria for the dust mass concentration standard system (ManDust) based on the Isokinetic sampling principle. ManDust is highly adaptable and accommodates devices with flows up to 40 L/min. ManDust allows the generation of PM in the mass concentration range from 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ to about 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ with a heterogeneous distribution of 4.38 % over the entire sampling area. In addition, the study also evaluated the repeatability of two PM measuring devices (TEOM 1405-D from Thermo Scientific, USA and Airborne 3900 from Kanomax, Japan) and the weight reference method (using Leckel LVS3). The test shows that the repeatability of the measured objects is small, the repeatability obtained by the experimental standard deviation is close to the repeatability of the reference measuring device.

Keywords: Mandust; Dust Reference System; $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} ; PM Verification; PM Calibration.

JEL Classifications: Q51, Q52, Q54, Q55.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hạt bụi (PM) là thông số thiết yếu để xác định chất lượng môi trường không khí do tác động tiêu cực của nó đến hệ hô hấp và môi trường.

Nồng độ khối lượng bụi PM (Particulate Matter) có thể được đo bằng nhiều phương pháp khác nhau, bao gồm quang học (OPC), đếm bụi PM ngưng tụ (CPC), cân bằng dao động vi lượng (TEOM) và tham chiếu trọng lượng. Gần đây, các Trường Đại học và Viện Nghiên cứu đã cải tiến, phát triển thiết bị để đo nồng độ bụi PM với độ chính xác và độ phân giải cao hơn. Các hệ thống chuẩn bụi đang được phát triển để đo lường các đặc tính của bụi PM và phục vụ việc kiểm định/hiệu chuẩn thiết bị đo bụi.

Buồng chuẩn bụi thường kết nối với thiết bị đo độ chính xác cao để theo dõi tính chất của bụi PM theo thời gian thực. Tuy nhiên, việc lấy mẫu và vận chuyển bụi PM từ buồng chuẩn bụi đến thiết bị đo không luôn lý tưởng, có thể gây thay đổi đặc tính của bụi PM trước khi đo. Các tác

động này có thể ảnh hưởng đáng kể đến độ chính xác của đo đặc biệt khi thiết bị đã được hiệu chuẩn trước đó. Tác động này cũng phụ thuộc vào kích thước hạt, với các hạt nhỏ và lớn bị ảnh hưởng khác nhau. Để tránh kết quả đo sai, hệ thống đầu hút mẫu phải được tối ưu hóa và các đặc tính của nó phải được đặc trưng để hiệu chỉnh độ chính xác của phép đo.

Để khắc phục những hạn chế này nhằm giảm thiểu tối đa tổn thất hạt, nghiên cứu đã thiết kế và chế tạo hệ thống chuẩn nồng độ khối lượng bụi với dòng chảy rối (hỗn loạn) để đồng nhất hạt với đầu ra hút mẫu theo nguyên lý Isokinetic. Đồng thời, nghiên cứu đã sử dụng hệ thống chuẩn nồng độ khối lượng bụi để đánh giá thực nghiệm 02 thiết bị đo PM (Airborne 3900 và TOEM 1405-D) với thiết bị thu mẫu tham chiếu trọng lượng dựa trên cái lọc trọng lượng cho PM_{10} và $\text{PM}_{2,5}$ (quy định trong EN 12341 [1] và EN 14907:2005 [2]). Đánh giá trong phòng thí nghiệm đối với các thiết bị đo PM thương mại với các đặc điểm như độ



lập lại và độ lệch chuẩn của thiết bị đo. Những đặc điểm này rất quan trọng để đánh giá, đảm bảo độ tin cậy của thiết bị đo PM. Ngoài ra nghiên cứu cũng tiến hành đánh giá độ đồng đều nồng độ bụi tại vị trí lấy mẫu và độ không đảm bảo gây ra bởi hệ thống lấy mẫu.

Trong nghiên cứu này sẽ trình bày 3 phần: (1) phần đầu, đưa ra cơ sở khoa học, nguyên lý hoạt động đầu ra của tháp trộn bụi PM; (2) phần hai, thiết kế và chế tạo đầu ra của tháp trộn bụi PM; (3) phần ba, đánh giá các thiết bị đo bụi PM trong hệ thống chuẩn nồng độ khối lượng bụi với các đầu hút mẫu được đề xuất.

2. PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ VÀ ĐÁNH GIÁ ĐẦU RA CỦA THÁP TRỘN BỤI PM

2.1. Nguyên lý hút mẫu đẳng động học (Isokinetic)

Việc hút mẫu đẳng trực và đẳng động là cần thiết nhằm hạn chế sự thất thoát hạt. Đẳng trực có nghĩa là đầu hút mẫu hướng thẳng vào chuyển động không khí xung quanh (hướng gió) mà không có độ nghiêng, khi đó góc hút là 00. Trong quá trình hút mẫu không đẳng trực, các hạt có kích thước lớn không thể đi theo các đường cong đi từ đầu hút mẫu (phễu) vào thiết bị đo, dẫn đến việc bỏ sót bụi PM [3]. Nguyên tắc hút mẫu bụi PM đẳng động học được giải thích trong Bảng 2.1.

Bảng 2.1. Hút mẫu bụi đẳng động (v_s : vận tốc dòng chính; v_n : vận tốc dòng mẫu)

<p style="text-align: center;">$v_n = v_s$</p>	<p style="text-align: center;">$v_n < v_s$</p>	<p style="text-align: center;">$v_n > v_s$</p>
<p>Nếu vận tốc dòng mẫu giống với vận tốc dòng chính ($v_n = v_s$) thì tất cả bụi PM chảy về phía đầu hút mẫu đều được thu lại như nhau. Iso = tương tự; kinetic = năng lượng chuyển động.</p>	<p>Nếu vận tốc dòng mẫu quá thấp ($v_n < v_s$), bụi PM nặng có thể xâm nhập vào đầu dò ngay cả khi dòng chảy mà chúng được đặt đi qua đầu hút mẫu. Do đó, quá nhiều hạt lớn được thu thập.</p>	<p>Nếu vận tốc dòng mẫu quá cao ($v_n > v_s$), bụi PM nặng không thể bám vào đường dòng và cuối cùng sẽ bỏ qua đầu hút mẫu. Vì vậy, quá ít hạt lớn được thu thập.</p>

Hút mẫu đẳng động yêu cầu vận tốc của dòng đi vào đầu hút mẫu (đầu dò) phải giống với vận tốc của dòng được hút mẫu tại vị trí lấy mẫu. Do đó, tỷ lệ giữa diện tích đầu hút mẫu và diện tích tháp trộn phải bằng tỷ lệ giữa tốc độ dòng chảy mẫu trong tháp trộn và tốc độ dòng chảy tại đầu hút mẫu. Chính vì vậy, đầu hút mẫu đẳng động chính xác rất quan trọng khi liên quan đến bản chất của mẫu cần lấy. Điều này có thể khác với các chất lỏng như hơi nước bão hòa, cũng như phép đo các hạt trong hơi nước (quá nhiệt) hoặc các tạp chất trong các mẫu hydrocarbon.

Vòi phun hoặc đầu thu, được đưa vào một phần của đường ống cho phép đo đại diện cho mẫu cần lấy. Vì vậy, quá trình hút mẫu cần phải tuyệt đối chính xác. Sự khác biệt nhỏ về vận tốc dòng chảy gây ra sự tích tụ hoặc tiêu tán của các hạt, dẫn đến kết quả đo không chính xác.

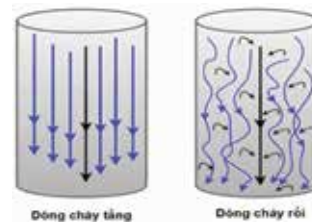
Phương pháp hút mẫu Isokinetic được sử dụng vì hai lý do:

- Các hạt có kích thước nhỏ ($< 1 \mu\text{m}$) dễ dàng bị cuốn vào trong dòng không khí. Tuy nhiên, hút mẫu đẳng động lực học cần thiết để thu được các hạt có kích thước lớn ($> 5,0 \mu\text{m}$) do ảnh hưởng bởi quán tính ngăn không cho các hạt có kích thước lớn bị kéo vào đầu hút mẫu.

- Thứ hai, hút mẫu đẳng động lực học đảm bảo rằng các hạt đi qua một khu vực nhất định trong một khoảng thời gian xác định mà không làm ảnh hưởng đến đường đi của hạt hoặc không khí xung quanh đầu dò (tức là dòng chảy tầng).

Nếu có nhiều động xung quanh đầu vào thiết bị đo mà không đầu thu Isokinetic, các hạt có kích thước lớn ($> 5,0 \mu\text{m}$) sẽ bị đẩy trở lại dòng khí trong tháp trộn bụi PM mà không được thu vào đầu vào của thiết bị đo, dẫn đến sai số trong tính toán nồng độ khối lượng bụi.

Việc hút mẫu trong tháp trộn bụi PM thường được tiến hành trong luồng không khí hỗn loạn hoặc trong các khu vực luồng khí phân tầng (Hình 2.).



▲ Hình 2.1. Mô tả dòng chảy tầng và dòng chảy rối

Liên quan đến dòng chảy không hướng (tức là không khí hỗn loạn), nghiên cứu đã thử nghiệm và khuyến cáo nên sử dụng các đầu thu đẳng động học trong các khu vực dòng chảy không hướng với các hạt có

kích thước $> 5,0 \mu\text{m}$. Nếu không có đầu dò đẳng động các hạt $> 5,0 \mu\text{m}$ có thể trôi qua đầu vào và không được đếm, mặc dù chúng phải là một phần của mẫu. Đầu thu đẳng động cuốn các hạt này vào thiết bị đo.

Về mặt toán học, vận tốc của tốc độ dòng chảy của bộ đếm hạt (v_n) phải bằng vận tốc của các hạt và hoặc khí khi đi vào đầu thu isokinetic (v_s). Hoặc là, $v_n = v_s$.

Đối với dòng chảy khác nhau thì đầu hút mẫu sẽ có kích thước khác nhau:

Với phương trình trên $v_n = v_s$, đường kính của đầu hút mẫu isokinetic sẽ thay đổi tùy thuộc vào vận tốc của dòng khí của thiết bị đo bụi PM.

Lưu lượng dòng đi qua đầu hút mẫu được tính theo công thức:

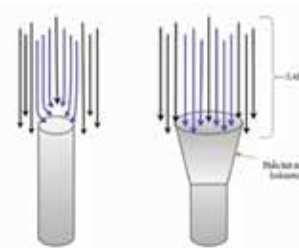
$$Q = v_n \times S \times 3600 \quad (2.1)$$

Trong đó:

Q : Lưu lượng dòng đi qua đầu hút mẫu (m^3/h);

v_n : Vận tốc tại vị trí đầu hút mẫu (m/s);

S : Tiết diện đầu dò (m);



▲ Hình 2.2. Phễu hút mẫu isokinetic

$$S = \pi \times (d/2)^2 \quad (2.2)$$

d : Đường kính đầu hút mẫu (m).

Từ (2.1) và (2.2) cho thấy:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{v_n \times 3,14 \times 3600}} \quad (2.3)$$

Khi vận tốc hút mẫu của thiết bị đo bụi PM nhỏ hơn vận tốc đầu thu đẳng động được tính toán ($v_n < v_s$), tức là sử dụng đầu thu đẳng động quá lớn, kết quả mẫu sẽ có độ lệch cao (tức là hút mẫu quá mức) do quán tính của các hạt có kích thước lớn $> 5\mu\text{m}$.

Khi vận tốc hút mẫu của thiết bị đo bụi PM lớn hơn vận tốc đầu thu đẳng động được tính toán ($v_n > v_s$), tức là sử dụng đầu thu đẳng động quá nhỏ, kết quả bụi PM sẽ có độ chênh thấp (tức là hút mẫu dưới mức) vì các hạt có kích thước lớn sẽ bắn ra khỏi luồng không khí và bỏ qua đầu vào của đầu hút mẫu đẳng động.

Kết quả nghiên cứu của Willeke và Baron, 2005 chỉ ra rằng: Hút mẫu trong không khí yên tĩnh ($v_s < 0,5 \text{ m/s}$); Hút mẫu trong không khí chuyển động chậm ($0,5 \text{ m/s} \leq v_s \leq 1,5 \text{ m/s}$); Hút mẫu trong không khí chuyển động ($v_s > 1,5 \text{ m/s}$).

2.2. Sử dụng thiết bị xác định nồng độ khối lượng bụi PM

Thiết bị trọng lượng tham chiếu

Để xác định nồng độ khối lượng bụi PM_{10} và $\text{PM}_{2,5}$ trong không khí, hiện có nhiều tiêu chuẩn quy định về phương pháp tham chiếu trọng lượng như ISO 12141, EN 12341, EN 14907:2005, 40 CFR Part 50 và TCVN 5067. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, tiêu chuẩn EN 12341 [1] được dùng để xác định nồng độ khối lượng PM_{10} hoặc $\text{PM}_{2,5}$ dạng hạt lơ lửng trong không khí xung quanh bằng cách hút mẫu bụi PM thông qua cái lọc và định lượng bằng cân phân tích.

Sử dụng thiết bị thu mẫu tham chiếu trọng lượng Leckel LVS3 trong nghiên cứu để xác định nồng độ khối lượng bụi PM_{10} hoặc $\text{PM}_{2,5}$ tương tự phương pháp được mô tả trong tiêu chuẩn EN 12341:2014. Hoạt động ở lưu lượng hút ổn định là $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$, trong khoảng thời gian 24 giờ. Kết quả được biểu thị bằng $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Trong đó, thể tích không khí là thể tích ở điều kiện môi trường xung quanh gần đầu vào tại thời điểm hút mẫu.

Thiết bị cân bằng vi lượng giảm dần (TOEM)

Phương tiện đo chuẩn (TEOM 1405-D Thermo Scientific, Hoa Kỳ): Sử dụng theo nguyên lý vi lượng dao động giảm dần nghĩa là tính toán khối lượng dựa trên sự thay đổi tần số khi các hạt được lắng đọng trên một phần tử dao động.

Việc sử dụng TEOM 1405-D làm phương tiện đo chuẩn trong nghiên cứu vì TOEM đã được US-EPA chấp thuận để đo nồng độ PM trong không khí xung quanh và được tính toán trong các điều kiện sau: Phạm vi đo: (0 - $1.000.000\mu\text{g}/\text{m}^3$), độ phân giải: $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$; Tốc độ dòng chảy qua đầu vào mẫu $16,7 \text{ L}/\text{min}$ ($1 \text{ m}^3/\text{h}$); Tốc độ dòng chảy mẫu chính $3 \text{ L}/\text{min}$ (độ chính xác $\pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (trong 1 giờ); $\pm 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (trong 24 giờ)).

Thiết bị đếm hạt quang học (OPC)

Nghiên cứu đã sử dụng thiết bị Airborne 3900 (Kanomax, Nhật Bản) theo nguyên lý diode laser để phát hiện và đo các bụi PM có kích thước khác nhau (0,3; 0,5; 1,0; 3,0; 5,0 và $10 \mu\text{m}$) với tốc độ dòng mẫu lên tới $28,33 \text{ L}/\text{min}$. Tốc độ dòng mẫu có thể được đặt trước từ 1 giây đến 24 giờ. Đồng thời, Airborne 3900 còn có thể cung cấp các phép đo độ ẩm, áp suất, tốc độ không khí và nhiệt độ bằng cách sử dụng các đầu đo cảm biến.

2.3. Phương pháp xử lý số liệu và đánh giá kết quả

Tiêu chuẩn EN 12341 cũng đã chỉ ra rằng cân được sử dụng phải có chất lượng tốt, có thể đạt được độ không đảm bảo để hiệu chuẩn $\leq 25 \mu\text{g}$ cho dải từ (0 - 200 mg).

• Nồng độ khối lượng bụi PM tham chiếu (EN 12341 [1]):

$$C_{m.ref} = \eta_{hom} \frac{m}{V} \quad (2.4)$$

Trong đó:

η_{hom} : Độ đồng nhất của bụi PM trong tháp trộn bụi PM;

m : Khối lượng hạt thu được trên cái lọc, μg ;

V : Thể tích được hút mẫu, m^3

$$V = Q \cdot t = \left(\frac{T}{T_1}\right) \left(\frac{P_1}{P}\right) \cdot V_1 \quad (2.5)$$

Trong đó:

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

t : Thời gian hút mẫu (thời gian đo), h;

T_1, P_1, V_1 là nhiệt độ, áp suất thực tế và thể tích tương ứng.

Theo điều kiện tiêu chuẩn V ($T = 0^\circ\text{C}$ và $P = 101,3 \text{ kPa}$)

• Độ đồng nhất của bụi PM tại đầu ra của hệ thống chuẩn:

$$\eta_{hom} = \frac{|C_{iref} - C_{jref}|}{\bar{C}} \quad (2.6)$$

C_{iref} : Nồng độ bụi tại các vị trí i trên cùng mặt phẳng tiết diện thu mẫu, $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

C_{jref} : Nồng độ bụi tại các vị trí j trên cùng mặt phẳng tiết diện thu mẫu, $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

\bar{C} : Nồng độ trung bình tại các điểm đo, $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

ĐKDB đo gây ra bởi độ phân bố đồng nhất của bụi PM:

$$u_{\eta_{hom}} = \frac{|C_{iref} - C_{jref}|}{2\sqrt{3}\bar{C}} \quad (2.7)$$

• Sai số phép đo:

$$\delta = \frac{\bar{C}_D - \bar{C}_{m.ref}}{\bar{C}_{m.ref}} \times 100\% \quad (2.8)$$

δ : Sai số tương đối, %;

\bar{C}_D : Giá trị đọc trung bình của PTĐ nồng độ bụi cân kiểm định, $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

$\bar{C}_{(m.ref)}$: Giá trị đọc trung bình của PTĐ chuẩn nồng độ bụi, $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Độ lặp lại:

+ Giá trị trung bình của n phép đo [4]:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (2.9)$$



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

$$s(\bar{Y}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad (2.10)$$

Trong đó:

n : Số lần đo

Y_i : Giá trị đo thứ i

\bar{Y} : Giá trị đo trung bình

+ Độ lệch chuẩn tương đối:

$$RSD = \frac{s(\bar{Y})}{\bar{Y}} \times 100 (\%) \quad (2.11)$$

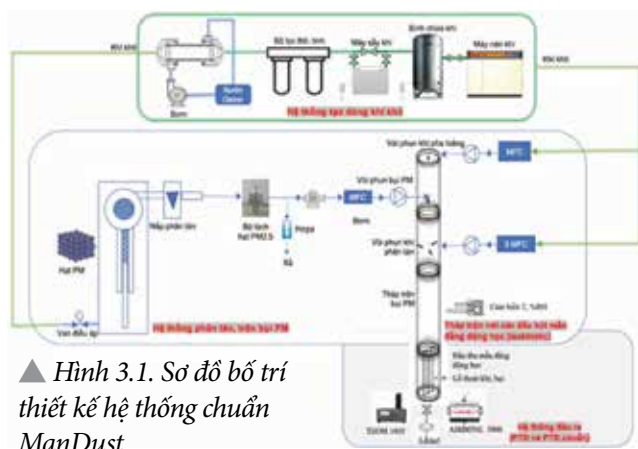
+ Độ không đảm bảo chuẩn:

$$u = \frac{s(\bar{Y})}{\sqrt{n}} \quad (2.12)$$

Nghiên cứu cũng đã sử dụng chương trình tính toán tổn thất hạt (PLC - Partice loss Calculator) [5] dựa trên các mối quan hệ lý thuyết và thực nghiệm để đánh giá hiệu suất của các hệ thống đầu vào bụi PM hiện có hoặc phát triển các hệ thống mới.

3. THIẾT KẾ VÀ BỐ TRÍ THÍ NGHIỆM

Thiết kế và chế tạo ManDust gồm 4 phần riêng biệt: Hệ thống tạo dòng khí khô; Hệ thống phân tán, trộn bụi PM; Tháp trộn với các đầu hút mẫu đẳng động học (isokinetic); Hệ thống đầu ra (phương tiện đo và phương tiện đo chuẩn).



Trong quá trình thử nghiệm bụi PM, bụi PM được tạo ra bằng máy phát chổi quay và bơm vào một bình rỗng, hoạt động như một bộ tách xoáy, để loại bỏ các hạt có kích thước lớn nhất trên PM_{10} . Nếu muốn hiệu chuẩn cho $PM_{2,5}$, một bộ tác động $PM_{2,5}$ có thể được lắp đặt trước khi bơm bụi PM vào bộ đồng nhất với lưu lượng 20 L/min.

Tháp trộn bụi PM là một hình trụ đứng bằng thép không gỉ với nồng độ khối lượng có thể điều chỉnh từ vài $\mu\text{g}/\text{m}^3$ đến khoảng $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Không khí khô được lọc và đưa vào tháp đồng nhất với tốc độ dòng cố định 120 L/min, sau đó được kết hợp với bụi PM thử nghiệm ($PM_{2,5}$, PM_{10}) và khí phân tán qua 3 vòi phun khí phân tán (20 L/min mỗi vòi phun). Tổng lưu lượng của các dòng khí và bụi là 200 L/min.

Vùng lấy mẫu nằm ở hạ lưu của tháp trộn và chứa ba phễu hút mẫu đẳng động. Điều kiện đẳng động học cần thiết để đảm bảo lấy mẫu đại diện và giảm thiểu tổn thất

các hạt lớn. Phễu hút mẫu được thiết kế có khả năng thích ứng với tốc độ dòng chảy của các bộ theo dõi PM tự động khác nhau và có thể dễ dàng tháo lắp tùy thuộc vào thiết bị đo PM cần thử nghiệm.

Cuối cùng, dòng bụi PM dư thừa thoát ra khỏi tháp trộn bụi PM thông qua lỗ xả như minh họa trong Hình 3.1.

Nghiên cứu nhằm đánh giá sự đồng đều của nồng độ khối lượng bụi PM tại đầu ra của tháp trộn bằng cách so sánh nồng độ bụi PM tại các vị trí khác nhau. Hai đường lấy mẫu song song được sử dụng, đưa vào tháp trộn ở độ cao thường đặt các đầu dò lấy mẫu. Đường lấy mẫu đầu tiên được cố định ở tâm của tháp trộn (vị trí a), trong khi đường lấy mẫu thứ hai được đặt ở các vị trí b và c với khoảng cách $i = -47 \text{ mm}$ và $+47 \text{ mm}$ đối với tâm. Đầu ra của mỗi đường lấy mẫu được kết nối với thiết bị đếm hạt ngưng tụ đã được hiệu chuẩn (Airborne 3900, Kanomax). Sự đồng đều của nồng độ bụi PM đã được đo tại ba vị trí khác nhau dọc theo đường kính (a, b, c) của tháp trộn.

Đánh giá độ lặp lại kết quả của phương tiện đo dựa trên kết quả lặp lại 6 lần (mỗi lần đo trong 6 giờ) tại điểm nồng độ (50, 200, 500) $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 2 thiết bị đo PM (TEOM 1405-D, Thermo Scientific, Hoa Kỳ; Airborne 3900, Kanomax, Nhật Bản) đã được sử dụng trong đánh giá này.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kích thước và chế tạo đầu hút mẫu đẳng động học (Isokinetic) của ManDust

Vận tốc của dòng khí trong tháp trộn bụi PM được coi như vận tốc của không khí trong điều kiện môi trường xung quanh (không khí yên tĩnh, $v_s < 0,5 \text{ m/s}$) và giá trị thực tế trung bình đo được là $v_n = v_s = 0,46 \text{ m/s}$.

Từ (2.3), nghiên cứu tính được đường kính đầu dò mẫu theo tiêu chuẩn isokinetic của một số lưu lượng hút tiêu biểu được trình bày trong Bảng 3.1.

Bảng 3.1. Đường kính của một số đầu hút mẫu tiêu biểu

TT	Thể tích hút mẫu (m ³ /h)	Đường kính trong lý thuyết (mm)	Đường kính trong thực tế (mm)
1	1,0	28	
2	1,7	36	38 (*)
3	2,3	42	
4	3,0	48	50 (*)

(*) Chênh lệch 2 mm giữa đường kính trong (lý thuyết và thực tế) của ManDust là do độ dày thành phễu (dày khoảng 1 mm).

Đầu ra hút mẫu của tháp trộn bụi PM đề xuất thử nghiệm với một số lưu lượng tiêu biểu 16,67 L/min (TOEM 1405-D), 28,33 L/min (Airborne 3900), 38,33 L/min (thiết bị thu mẫu tham chiếu trọng lượng).

Đầu ra hút mẫu được làm bằng vật liệu Inox SUS304, không bị ăn mòn, dẫn điện như thép không gỉ. Đường kính lỗ ra 9 mm, đường kính lỗ vào: (28, 36, 42, 48) mm, chiều dài vòi: 50 mm, dung sai của phễu: 0,062 μm , dung sai góc: $\pm 1^\circ$.



▲ Hình 3.2. Đầu hút mẫu theo isokinetic

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 không đồng nhất

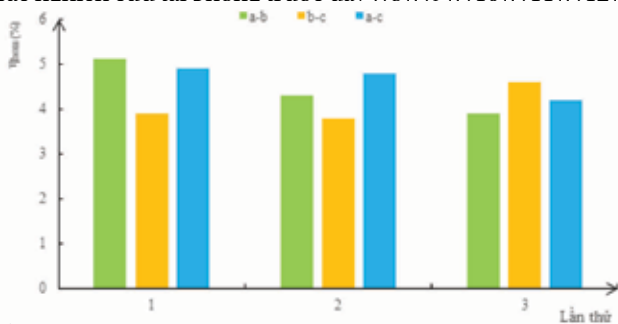
trong không gian của bụi PM về nồng độ được tìm thấy là khoảng 2,54 % đối với hệ số bao phủ $k = 2$ (tức là độ tin cậy 95 %). Điều này được sử dụng làm ước lượng cho độ không đảm bảo đo của độ đồng nhất trong không gian của bụi PM η_{hom} (Bảng 3.2).

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 khuếch 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, kiểm soát bằng MFC và cân điện tử. PM_{10} ở nồng độ $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$, độ không đảm bảo đo mở rộng của hệ thống chuẩn nồng độ khối lượng bụi (ManDust) được xác định là 5,98 % (độ tin cậy 95%).

Bảng 3.2. 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 DKDB
1	Thời gian hút mẫu	t	7200 min	7200 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	uAref	$600 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$587 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
5	Độ lặp lại của PTD	uA	$600 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$601 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$12,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
6	Độ phân giải của ManDust	ures	$0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$		$0,0289 \mu\text{g}/\text{m}^3$
7	DKDB đo tổng hợp	uc			$18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2,99 %)
8	DKDB đo mở rộng ($k=2$)	U			$35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (5,98 %)

Dữ liệu về độ không đồng nhất về nồng độ trong không gian của bụi PM tại vị trí lấy mẫu được thể hiện trong Hình 3.3. 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 $k = 1$ (tức là mức tin cậy 68 %) hoặc 2,6 % đối với $k = 2$ (tức là độ tin cậy 95 %) trong nghiên cứu của Horender (2020) [6], không quá 8 % trong công bố của [7]. Đây cũng là một thông số quan trọng chưa được đánh giá nghiêm ngặt, nếu ở tất cả, trong các nghiên cứu tại phòng trước đây [8]; [9]; [10]; [11]; [12].



▲ Hình 3.3. Độ đồng đều đầu ra của tháp trộn hạt giữa các vị trí đo

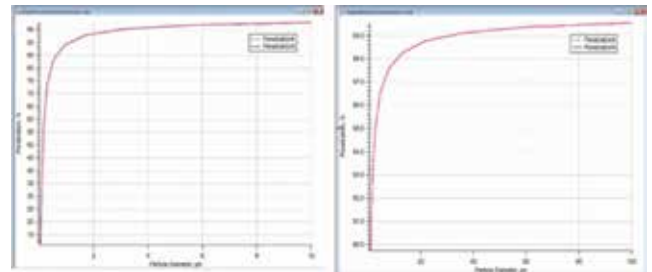
3.3. Độ không đảm bảo đo do tổn thất hạt gây ra bởi hệ thống lấy mẫu

Tổn thất hạt do khuếch tán được tính đến trên đường đi của bụi PM từ đầu vào lấy mẫu đến vùng phát hiện hạt (laser, cái lọc), đặc biệt là đối với các bụi PM có kích thước nhỏ. Tổn thất bụi PM phụ thuộc vào kích thước hạt, chiều dài và bản chất của ống và tốc độ dòng lấy mẫu và được

hiệu chỉnh khi tính toán nồng độ hạt trong phép đo tham chiếu bằng cách sử dụng phương trình 2.6 cho sự xâm nhập tương đối được cung cấp trong nghiên cứu [13].

Vì việc lấy mẫu được thực hiện với các đầu dò lấy mẫu đẳng động học, các ống dẫn đến giá đỡ cái lọc và ống dẫn được giữ thẳng, càng ngắn càng tốt, nên giảm thiểu thất thoát hạt. Sự xâm nhập của hạt Prel được đặt thành 1, tuy nhiên, độ không đảm bảo đo là 2 % được chỉ định là nguyên nhân dẫn đến tổn thất do tác động của các hạt siêu vi lượng trong phễu lấy mẫu của phương pháp chuẩn do lưu lượng lấy mẫu cao hơn [5]. Những tổn thất này ở một mức độ nào đó được chống lại bởi tổn thất khuếch tán thấp hơn của các hạt siêu nhỏ, giảm khi lưu lượng lấy mẫu tăng lên.

Bằng phần mềm PLC igor 8 pro, nghiên cứu đã tính toán được hiệu quả thâm nhập của hạt vào phễu hút mẫu với các lưu lượng khác nhau (Hình 3.4 - Hình 3.5). Đối với đầu hút mẫu lưu lượng 28,33 L/min, hiệu quả thâm nhập của các bụi $PM_{2.5}$ là 94 %, PM_{10} là 97 %. Đối với đầu hút mẫu lưu lượng 33,8 L/min, hiệu quả thâm nhập của các bụi $PM_{2.5}$ là 91 %, PM_{10} là 98 %.

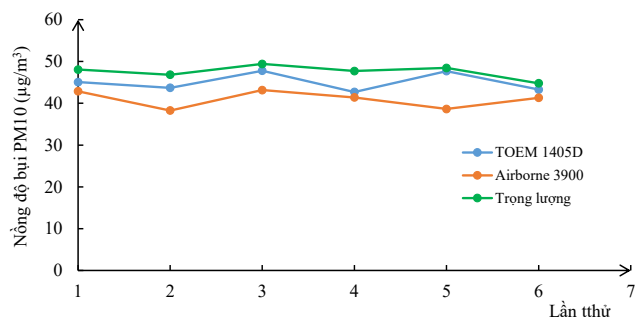


▲ Hình 3.4. Hiệu quả thâm nhập hạt của phễu hút mẫu lưu lượng 28,33 L/min

▲ Hình 3.5. Hiệu quả thâm nhập hạt của phễu hút mẫu lưu lượng 33,8 L/min

3.4. Kết quả xác định độ lặp lại

Dữ liệu độ lặp lại thu được được thể hiện trong Hình 3.6 cho thấy, khi nồng độ thiết kế là $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kết quả thu được của thiết bị hiệu chuẩn và thiết bị tham chiếu lần lượt là $(44,79 \div 49,52) \mu\text{g}/\text{m}^3$ (thiết bị thu mẫu tham chiếu trọng lượng), $(43,29 \div 47,79) \mu\text{g}/\text{m}^3$ (TEOM 1405-D), $(38,27 \div 43,16) \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Airborne 3900) và độ lệch chuẩn tương đối được tính toán của thiết bị đo chuẩn, thiết bị được hiệu chuẩn lần lượt là 3,36 %; 4,96 % 5,05 %.



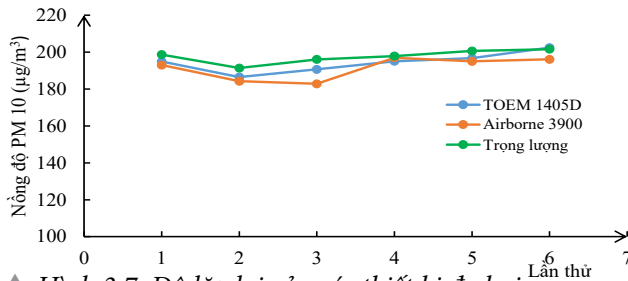
▲ Hình 3.6. Độ lặp lại của các thiết bị đo bụi tại điểm nồng độ $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Ngoài ra, nghiên cứu cũng thử nghiệm với 2 nồng độ thiết kế khác là $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ và $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kết quả thể hiện trong Bảng 3.3.



Bảng 3.3. Độ lệch chuẩn của các phương pháp đo tại điểm nồng độ được thiết lập

TT	Thiết bị	Giá trị nồng độ PM ₁₀ thiết lập (µg/m ³)	Giá trị nồng độ PM ₁₀ thực tế (µg/m ³)	Độ lệch chuẩn tương đối (%)
1	Thiết bị đo TEOM 1405-D (Thermo)	50	45,08 ± 5,42	4,96
		200	194,40 ± 5,42	2,79
		500	492,97 ± 6,64	1,35
2	Thiết bị đo Airborne 3900 (Kanomax)	50	40,95 ± 2,06	5,05
		200	191,37 ± 6,22	3,25
		500	490,29 ± 7,16	1,46
3	Thiết bị thu mẫu tham chiếu trọng lượng	50	47,55 ± 1,60	3,36
		200	197,72 ± 3,67	1,86
		500	496,20 ± 5,85	1,18



▲ Hình 3.7. Độ lặp lại của các thiết bị đo bụi tại điểm nồng độ 200 µg/m³



▲ Hình 3.8. Độ lặp lại của các thiết bị đo bụi tại điểm nồng độ 500 µg/m³

Quan sát cho thấy, độ lặp lại của thiết bị hiệu chuẩn và tham chiếu không quá 5%. Các thiết bị thử nghiệm có độ lặp lại tốt, đặc biệt là ở nồng độ 50 µg/m³. Trong quá trình đánh giá độ lặp lại của thiết bị đo [14] một số nghiên cứu nhận thấy rằng, khi độ lặp lại của các đối tượng được đo càng nhỏ càng tốt, độ lặp lại thu được bằng độ lệch chuẩn thực nghiệm sẽ gần với độ lệch chuẩn của thiết bị đo lường tiêu chuẩn, dữ liệu sẽ chính xác và đáng tin cậy hơn.

4. KẾT LUẬN

Thực nghiệm xác định đặc tính đầu ra của ManDust bằng các phễu thu mẫu đẳng động học nên giảm thiểu tối đa tổn thất lắng đọng của hạt do các quá trình khuếch tán, va đập, tĩnh điện. Hệ thống lấy mẫu đẳng động lực có khả năng thích ứng cao và có thể phù hợp với các thiết bị có lưu lượng lên đến 40 L/min. Hiệu quả thâm nhập của đầu hút mẫu được đạt ≥ 91% đối với bụi PM_{2,5} và ≥ 97% đối với bụi PM₁₀. Sự phân bố không đồng nhất là 4,38% trên toàn bộ khu vực lấy mẫu. Thử nghiệm đánh giá độ lặp lại cho thấy rằng độ lặp lại của các đối tượng được đo nhỏ, độ lặp lại thu được bằng độ lệch chuẩn thực nghiệm gần với độ lặp lại của thiết bị đo tham chiếu■

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả trân trọng cảm ơn Vụ Khoa học và Công nghệ, Bộ Tài nguyên và Môi trường 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. European Committee for Standardization, “EN 12341: 2014 Ambient air - Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM₁₀ or PM_{2,5} mass concentration of suspended particulate matter”, tr 53, 2014.
2. European Committee for Standardization, BS EN 14907: 2005. Ambient air quality - Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM_{2,5} mass fraction of suspended particulate matter. 2005.
3. S. L. Von Der Weiden, F. Drewnick, và S. Borrmann, “PLC: Complete List of Consulted Publications during the Development of the Particle Loss Calculator”, Interface, 2008.
4. Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng, ĐLVN 90:2017 - Phương tiện đo hàm lượng bụi tổng trong không khí - Quy trình kiểm định. 2017.
5. S. L. Von Der Weiden, F. Drewnick, và S. Borrmann, “Particle Loss Calculator - A new software tool for the assessment of the performance of aerosol inlet systems”, Atmos. Meas. Tech., vol 2, số p.h 2, tr 479–494, 2009, doi: 10.5194/amt-2-479-2009.
6. S. Horender và c.s., “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, số p.h 2, tr 1225–1238, 2021, doi: 10.5194/amt-14-1225-2021.
7. J. Zou và c.s., “A new calibration device of particulate matter mass concentration monitor”, IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., vol 64, số p.h 1, tr 0–5, 2017, doi: 10.1088/1755-1315/64/1/012072.
8. O. Hogrefe, F. Drewnick, G. G. Lala, J. J. Schwab, và K. L. Demerjian, “Development, operation and applications of an aerosol generation, calibration and research facility”, Aerosol Sci. Technol., vol 38, số p.h SUPPL. 1, tr 196–214, 2004, doi: 10.1080/02786820390229516.
9. D. Liu, Q. Zhang, J. Jiang, và D. R. Chen, “Performance calibration of low-cost and portable particular matter (PM) sensors”, J. Aerosol Sci., vol 112, tr 1–10, 2017, doi: 10.1016/j.jaerosci.2017.05.011.
10. V. Papapostolou, H. Zhang, B. J. Feenstra, và A. Polidori, “Development of an environmental chamber for evaluating the performance of low-cost air quality sensors under controlled conditions”, Atmos. Environ., vol 171, tr 82–90, 2017, doi: 10.1016/j.atmosenv.2017.10.003.
11. J. J. Schwab và c.s., “Laboratory Characterization of Modified Tapered Element Oscillating Microbalance Samplers Laboratory Characterization of Modified Tapered Element Oscillating Microbalance Samplers”, vol 2247, số p.h May, 2016, doi: 10.1080/10473289.2004.10471019.
12. K. Zhu, J. Zhang, và P. J. Liou, “Evaluation and comparison of continuous fine particulate matter monitors for measurement of ambient aerosols”, J. Air Waste Manag. Assoc., vol 57, số p.h 12, tr 1499–1506, 2007, doi: 10.3155/1047-3289.57.12.1499.
13. William C. Hinds, Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles, 2nd Edition | Wiley. 1999.
14. Y. Zhang and C. Zhou, “The influences on the results of repeatability of measurement standard using different DUT”, Metrol. Test. Technol., vol 40, số p.h 4, tr 51–52, tháng 3 2013.