

CARBONACEOUS CHARACTERISTICS AND PRELIMINARY IDENTIFICATION OF EMISSION SOURCES OF PM_{2.5} AND PM_{0.1} AT AN URBAN SITE IN HANOI

Van Dieu Anh^{1,*}, Ly Bich Thuy¹, Vo Thi Le Ha¹, Truong-Thi Huyen², Kazuhiko Sekiguchi²

¹ School of Chemistry and Life Science, Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

² Graduate Institute of Science and Technology, Saitama University, Japan

Email address: anh.vandieu@hust.edu.vn

* Corresponding Author: Van Dieu Anh

<https://doi.org/10.51453/3093-3706/2026/1493>

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	22/4/2026	Fine particulate matter (PM _{2.5}) and ultrafine particulate matter (PM _{0.1}) contain carbonaceous species that influence air quality, human health, and the Earth's radiative balance. However, information on the carbonaceous composition of PM _{0.1} in Vietnam remains limited. This study investigated the carbonaceous composition and inferred potential emission sources of PM _{2.5} and PM _{0.1} collected at an urban site in Hanoi. Particulate samples were collected using a cyclone sampler and a NanoSampler. Carbon fractions (OC1–OC4, PyOC, and EC1–EC3) were analyzed using the IMPROVE_A thermal–optical protocol. Organic carbon (OC), elemental carbon (EC), total carbon (TC), char-EC, soot-EC, and the diagnostic ratios OC/EC and char-EC/soot-EC were subsequently determined.
Revised:	10/6/2026	
Published:	28/6/2026	
KEYWORDS		The results showed that OC accounted for a substantial proportion of total carbon in both particle size fractions. PM _{0.1} exhibited a higher carbon-to-particle mass ratio than PM _{2.5} , indicating its carbon-enriched characteristics. OC2, OC3, and EC1 were the dominant thermal fractions in both particle fractions. Carbonaceous indicators and the distribution of thermal fractions suggested the influences of traffic emissions, biomass burning, and secondary organic carbon formation. These findings provide baseline data for future source apportionment studies and support air quality management in urban areas of Vietnam.
<i>PM_{2.5};</i>		
<i>PM_{0.1};</i>		
<i>Organic carbon;</i>		
<i>Elemental carbon;</i>		
<i>Thermal carbon fractions;</i>		
<i>Hanoi;</i>		

ĐẶC TRƯNG THÀNH PHẦN CACBON VÀ SƠ BỘ NHẬN DẠNG NGUỒN PHÁT THẢI CỦA BỤI PM_{2.5} VÀ PM_{0.1} TẠI MỘT ĐIỂM ĐÔ THỊ Ở HÀ NỘI

Văn Diệu Anh^{1,*}, Lý Bích Thủy¹, Võ Thị Lệ Hà¹, Truong-Thi Huyen², Kazuhiko Sekiguchi²

¹ Trường Hóa và Khoa học Sự sống, Đại học Bách khoa Hà Nội, Hà Nội, Việt Nam

² Viện sau đại học về Khoa học và Kỹ thuật, Đại học Saitama, Nhật Bản

Địa chỉ Email: anh.vandieu@hust.edu.vn

*Tác giả liên hệ: Văn Diệu Anh

<https://doi.org/10.51453/3093-3706/2026/1493>

THÔNG TIN NHẬN BÀI

Ngày nhận bài: 22/4/2026

Ngày hoàn thiện: 10/6/2026

Ngày đăng: 28/6/2026

TỪ KHÓA

PM_{2.5};

PM_{0.1};

Cacbon hữu cơ;

Cacbon nguyên tố;

Phân đoạn cacbon nhiệt;

Hà Nội;

ABSTRACT

Bụi PM_{2.5}, PM_{0.1} chứa các hợp chất cacbon, ảnh hưởng đến chất lượng không khí, sức khỏe và cân bằng bức xạ khí quyển. Tuy nhiên, thông tin về thành phần cacbon của PM_{0.1} tại Việt Nam còn hạn chế. Nghiên cứu này đánh giá thành phần cacbon và gợi ý nguồn phát thải của PM_{2.5}, PM_{0.1} tại một điểm đô thị ở Hà Nội. Mẫu bụi được thu bằng cyclone và nanosampler; các phân đoạn OC1–OC4, PyOC và EC1–EC3 được phân tích bằng phương pháp nhiệt–quang IMPROVE_A. OC, EC, TC, char-EC, soot-EC; các tỷ lệ OC/EC, char-EC/soot-EC được tính toán.

Kết quả cho thấy OC chiếm tỷ lệ đáng kể trong tổng cacbon của cả hai cấp hạt. PM_{0.1} có tỷ lệ cacbon trong khối lượng bụi cao hơn PM_{2.5}, cho thấy đặc trưng giàu cacbon của bụi nano. OC2, OC3 và EC1 là các phân đoạn đóng góp chính. Các chỉ thị cacbon và phân bố phân đoạn nhiệt gợi ý ảnh hưởng của giao thông, đốt sinh khối và hình thành cacbon hữu cơ thứ cấp. Kết quả bổ sung dữ liệu phục vụ nghiên cứu nguồn phát thải và quản lý chất lượng không khí.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ô nhiễm bụi đang là một trong những vấn đề môi trường nghiêm trọng tại nhiều đô thị trên thế giới, đặc biệt ở các quốc gia đang phát triển. Trong các phân đoạn kích thước hạt, bụi PM_{2.5} và PM_{0.1} được quan tâm nhiều do khả năng tồn lưu lâu trong khí quyển, xâm nhập sâu vào hệ hô hấp và gây ảnh hưởng bất lợi đến sức khỏe con người cũng như chất lượng môi trường. Ngoài tác động đến sức khỏe, bụi mịn còn làm suy giảm tầm nhìn và ảnh hưởng đến cân bằng bức xạ khí quyển thông qua các quá trình hấp thụ và tán xạ bức xạ mặt trời [1–4].

Trong thành phần hóa học của bụi mịn, các hợp chất cacbon bao gồm cacbon hữu cơ (Organic Carbon - OC) và cacbon nguyên tố (Elemental Carbon - EC) thường chiếm tỷ lệ đáng kể và có nguồn gốc từ cả phát thải sơ cấp và quá trình hình thành thứ cấp trong khí quyển. OC có thể phát sinh trực tiếp từ quá trình đốt nhiên liệu hóa thạch, đốt sinh khối và các nguồn tự nhiên, đồng thời được hình thành thông qua quá trình oxy hóa các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi. Trong khi đó, EC chủ yếu được phát thải từ quá trình cháy không hoàn toàn của nhiên liệu hóa thạch và sinh khối. Do đặc trưng về nguồn phát sinh, các thông số OC, EC, tỷ lệ OC/EC cùng các phân đoạn nhiệt của cacbon được sử dụng rộng rãi như những chỉ thị hóa học hỗ trợ đánh giá đặc điểm thành phần cacbon và gợi ý nguồn phát thải của bụi khí quyển [5].

Những năm gần đây, nhiều nghiên cứu đã tập trung đánh giá đặc trưng hóa học của PM_{2.5} và PM_{0.1} tại khu vực Đông Nam Á. Kết quả cho thấy PM_{0.1} thường có tỷ lệ thành phần cacbon cao hơn so với PM_{2.5} và chịu ảnh hưởng rõ rệt của các nguồn phát thải cục bộ, đặc biệt là giao thông đường

bộ. Bên cạnh đó, việc phân tích các phân đoạn nhiệt OC_1-OC_4 , EC_1-EC_3 , PyOC cùng các chỉ số như char-EC, soot-EC và tỷ lệ char-EC/soot-EC đã được chứng minh là hữu ích trong việc nhận diện ảnh hưởng tương đối của phát thải giao thông, đốt sinh khối và quá trình hình thành aerosol hữu cơ thứ cấp [6-7].

Tại Việt Nam, các nghiên cứu về thành phần hóa học của bụi mịn chủ yếu tập trung vào $PM_{2.5}$, trong khi các nghiên cứu về $PM_{0.1}$, đặc biệt là đặc trưng thành phần cacbon và các phân đoạn nhiệt, vẫn còn khá hạn chế. Một số nghiên cứu gần đây tại Hà Nội đã bước đầu đánh giá thành phần hóa học của $PM_{0.1}$ và $PM_{2.5}$ theo mùa hoặc tại các vị trí khác nhau, tuy nhiên thông tin về đặc trưng các phân đoạn nhiệt của cacbon và các chỉ thị nguồn phát thải vẫn chưa nhiều [8].

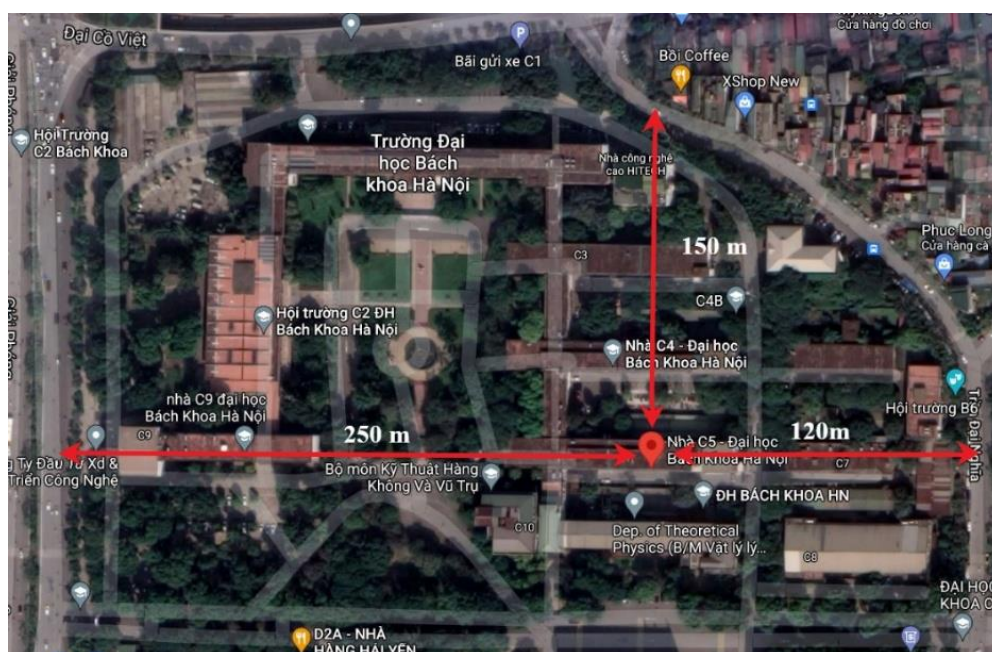
Xuất phát từ thực tế đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá đặc trưng thành phần cacbon của bụi $PM_{2.5}$ và $PM_{0.1}$ tại một điểm đô thị ở Hà Nội thông qua phân tích các phân đoạn nhiệt OC-EC theo giao thức IMPROVE_A. Trên cơ sở đó, các thông số OC, EC, TC, tỷ lệ OC/EC, char-EC, soot-EC và char-EC/soot-EC được tính toán nhằm làm rõ đặc trưng thành phần cacbon và cung cấp thêm những gợi ý về nguồn phát thải của bụi mịn tại khu vực nghiên cứu.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vị trí nghiên cứu và thu mẫu bụi

Mẫu bụi $PM_{2.5}$ và $PM_{0.1}$ được thu đồng thời tại một điểm quan trắc hỗn hợp đặt tại sân thượng tòa nhà 4 tầng (nhà C5) trong khuôn viên Đại học Bách khoa Hà Nội, ở độ cao khoảng 12 m so với mặt đất và cách các trục đường giao thông chính khoảng 200–300 m. Điểm lấy mẫu chịu ảnh hưởng tổng hợp của các nguồn phát thải đô thị như giao thông, hoạt động dân sinh và các nguồn phát thải khu vực nhưng không có nguồn nào có ảnh hưởng vượt trội, đặc trưng cho điểm điểm đô thị hỗn hợp.

Mẫu được thu từ ngày 01/12/2020 đến ngày 31/12/2020, với thời gian lấy mẫu 23,5 giờ/mẫu. Tổng cộng thu được 28 mẫu bụi $PM_{2.5}$ và 31 mẫu $PM_{0.1}$.



Hình 1. Vị trí lấy mẫu bụi

2.2. Thiết bị và phương pháp lấy mẫu

Bụi PM_{0.1} được thu bằng thiết bị NanoSampler (Đại học Kanazawa, Nhật Bản) với lưu lượng 40 L/phút, trong khi PM_{2.5} được thu bằng cyclone (LV40B, Sibata, Nhật Bản) với lưu lượng 16,7 L/phút. Lưu lượng lấy mẫu được hiệu chuẩn trước đợt quan trắc.

Cả hai thiết bị sử dụng giấy lọc sợi thạch anh (quartz fiber filter, 2500 QAT-UP, Pallflex) đường kính 47 mm. Trước khi lấy mẫu, giấy lọc được nung ở 750°C trong 4 giờ nhằm loại bỏ cacbon nền, để nguội đến nhiệt độ phòng trong bình hút ẩm, sau đó đặt ổn định trong phòng cân (20–25°C; độ ẩm tương đối 30–40%) ít nhất 24 giờ trước khi cân xác định khối lượng giấy trắng bằng cân vi lượng Mettler Toledo AX26 (1 µg). Sau khi lấy mẫu, giấy lọc chứa mẫu được bảo quản trong hộp sạch, bọc kín ở –10°C. Trước khi cân xác định khối lượng sau lấy mẫu, giấy lọc được đưa về nhiệt độ phòng trong bình hút ẩm, đặt ổn định trong cùng điều kiện ít nhất 24 giờ rồi cân bằng cùng thiết bị.

2.3. Phân tích thành phần cacbon

Thành phần cacbon được phân tích bằng phương pháp nhiệt–quang phản xạ (TOR) theo giao thức IMPROVE_A [9] tại Đại học Saitama (Nhật Bản). Phương pháp xác định các phân đoạn OC1–OC4, PyOC và EC1–EC3, trong đó PyOC được hiệu chỉnh bằng tín hiệu phản xạ laser. OC, EC và TC được tính theo các công thức sau [10]:

$$OC = OC1 + OC2 + OC3 + OC4 + PyOC \quad (1)$$

$$EC = EC1 + EC2 + EC3 - PyOC \quad (2)$$

$$TC = OC + EC \quad (3)$$

2.4. Tính toán các chỉ số đặc trưng thành phần cacbon

Các chỉ số đặc trưng thành phần cacbon được tính toán từ kết quả phân tích nhằm phục vụ đánh giá đặc điểm thành phần cacbon của bụi PM_{2.5} và PM_{0.1}.

Char (char-EC) và soot (soot-EC) được tính theo Han và cộng sự [11]:

$$\text{Char-EC} = EC1 - PyOC \quad (4)$$

$$\text{Soot-EC} = EC2 + EC3 \quad (5)$$

Tỷ lệ char-EC/soot-EC được tính từ hai thông số trên.

Cacbon hữu cơ sơ cấp (POC) và cacbon hữu cơ thứ cấp (SOC) được ước tính theo phương pháp tỷ lệ OC/EC nhỏ nhất (OC/EC)_{min} của Turpin và Huntzicker [12]:

$$POC = EC \times (OC/EC)_{\min} \quad (6)$$

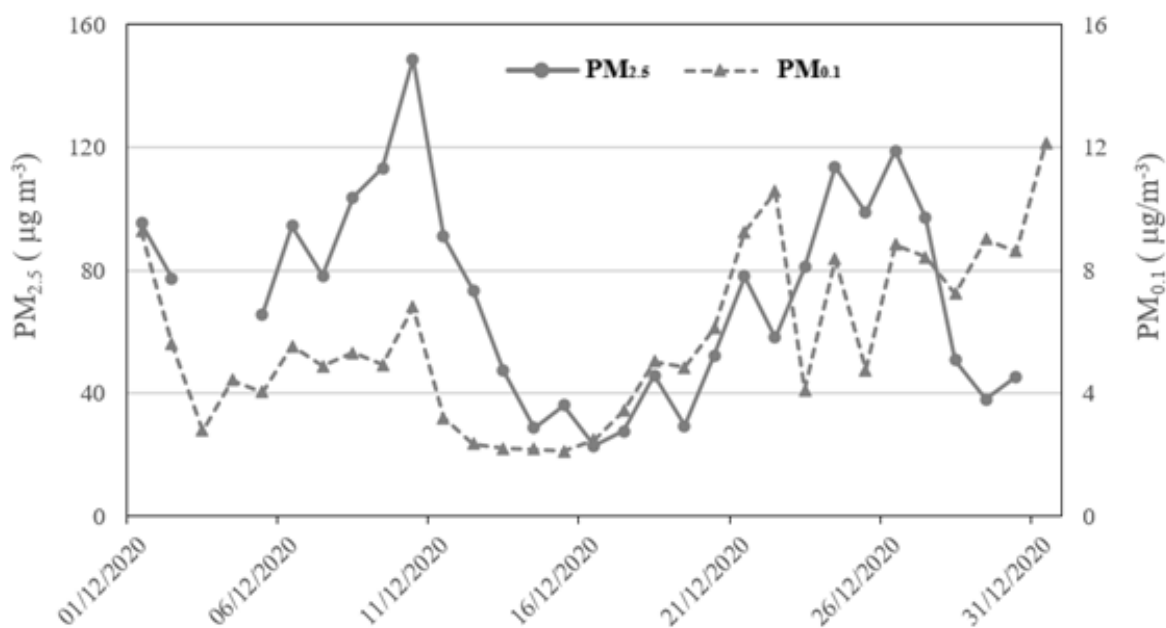
$$SOC = OC - POC \quad (7)$$

Trong đó, (OC/EC)_{min} là giá trị nhỏ nhất của tỷ lệ OC/EC trong tập mẫu nghiên cứu.

Các chỉ số POC, SOC, OC/EC, char-EC/soot-EC và TC/PM được tính riêng cho từng mẫu, sau đó xác định giá trị trung bình và độ lệch chuẩn cho từng cấp hạt.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Đặc trưng nồng độ bụi và thành phần cacbon trong PM_{2.5} và PM_{0.1}



Hình 2. Biến thiên nồng độ PM_{2.5} và PM_{0.1} trong thời gian nghiên cứu.

Hình 2 cho thấy nồng độ PM_{2.5} và PM_{0.1} có xu hướng biến động tương đối đồng thời trong suốt thời gian nghiên cứu, phản ánh ảnh hưởng của các điều kiện phát thải và khí tượng chung. Hai khoảng thời gian có nồng độ bụi tăng cao xuất hiện vào khoảng 08–11/12 và 22–27/12, xen kẽ với giai đoạn nồng độ thấp hơn từ 13–18/12. Tuy nhiên, mức độ biến động của hai cấp hạt không hoàn toàn giống nhau. Trong giai đoạn đầu tháng, PM_{2.5} tăng mạnh và đạt giá trị cực đại 148,6 µg m⁻³, trong khi PM_{0.1} chỉ tăng ở mức vừa phải. Ngược lại, trong giai đoạn cuối tháng, PM_{0.1} xuất hiện nhiều dao động ngắn hạn với biên độ lớn hơn mặc dù PM_{2.5} không đạt giá trị cực đại như đầu tháng. Điều này cho thấy hai cấp hạt có thể chịu ảnh hưởng khác nhau của các quá trình phát thải và biến đổi trong khí quyển.

Bảng 1. Đặc trưng nồng độ bụi và thành phần cacbon của PM_{2.5} và PM_{0.1}

	Đơn vị	PM _{2.5} (Mean ± SD)	Min - Max	PM _{0.1} (Mean ± SD)	Min - Max
PM	(µg m ⁻³)	70,8 ± 33,8	22,8 - 148,6	5,77 ± 2,75	2,11 - 12,14
OC	(µgC m ⁻³)	13,7 ± 6,1	5,4 - 26,9	2,06 ± 0,74	0,78 - 3,92
EC	(µgC m ⁻³)	4,8 ± 2,0	2,0 - 8,3	0,48 ± 0,21	0,11 - 0,81
TC	(µgC m ⁻³)	17,8 ± 8,1	7,7 - 34,6	2,54 ± 0,94	0,89 - 4,74
OC/EC	-	2,91 ± 0,42	2,1 - 3,7	4,69 ± 1,10	3,40 - 7,55
TC/PM	%	27,1 ± 6,8 %	15,2 - 38,0	48,7 ± 15,9 %	20,8 - 89,7

Ghi chú: Giá trị được biểu diễn dưới dạng Mean ± SD; PM_{2.5} (n = 28), PM_{0.1} (n = 31)

Các đặc trưng thống kê của PM_{2.5}, PM_{0.1} và thành phần cacbon được tổng hợp trong Bảng 1. Nồng độ trung bình của PM_{2.5} đạt 70,8 ± 33,8 µg m⁻³ cao hơn khoảng 12 lần so với PM_{0.1} (5,77 ± 2,75 µg m⁻³). Trong 28 ngày quan trắc, 19 ngày (67,9%) có nồng độ PM_{2.5} vượt giá trị giới hạn trung bình 24 giờ theo QCVN 05:2013/BTNMT (50 µg m⁻³) có hiệu lực tại thời điểm lấy mẫu. Khi đối chiếu với các mức tham chiếu hiện hành, số ngày vượt QCVN 05:2023/BTNMT (45 µg m⁻³)

tăng lên 22/28 ngày (78,6%); trong khi toàn bộ số ngày quan trắc đều vượt mức hướng dẫn $15 \mu\text{g m}^{-3}$ của WHO (2021) [13-15]. Kết quả cho thấy ô nhiễm $\text{PM}_{2.5}$ tại khu vực nghiên cứu trong mùa khô ở mức đáng quan tâm. Nồng độ $\text{PM}_{2.5}$ trung bình trong nghiên cứu này ($70,8 \pm 33,8 \mu\text{g m}^{-3}$) tương đương với mức được Thuy và cộng sự (2018) ghi nhận tại cùng khu vực quan trắc ở Hà Nội và nằm trong khoảng nồng độ $\text{PM}_{2.5}$ được báo cáo tại nhiều đô thị lớn của Trung Quốc trong mùa đông (khoảng $50\text{--}150 \mu\text{g m}^{-3}$), phản ánh đặc trưng ô nhiễm bụi mịn của các đô thị Đông Á chịu ảnh hưởng đồng thời của phát thải giao thông, đốt nhiên liệu và điều kiện khí tượng bất lợi [8, 16].

Nồng độ trung bình của OC, EC và TC trong $\text{PM}_{2.5}$ lần lượt đạt $13,7 \pm 6,1$, $4,8 \pm 2,0$ và $17,8 \pm 8,1 \mu\text{g C m}^{-3}$ đều cao hơn $\text{PM}_{0.1}$ ($2,06 \pm 0,74$, $0,48 \pm 0,21$ và $2,54 \pm 0,94 \mu\text{g C m}^{-3}$). Tuy nhiên, tỷ lệ TC/PM của $\text{PM}_{0.1}$ ($48,7 \pm 15,9\%$) cao hơn rõ rệt so với $\text{PM}_{2.5}$ ($27,1 \pm 6,8\%$). Kết quả này cho thấy phân đoạn bụi nano có đặc trưng giàu cacbon hơn so với bụi $\text{PM}_{2.5}$. Xu hướng này phù hợp với kết quả của Thuy và cộng sự (2018) đồng thời phản ánh đặc trưng giàu cacbon của các hạt siêu mịn đã được ghi nhận tại nhiều đô thị Đông Á [16,17].

OC là thành phần chiếm ưu thế trong tổng cacbon của cả hai cấp hạt. Tỷ lệ OC/EC của $\text{PM}_{0.1}$ ($4,69 \pm 1,10$) cao hơn $\text{PM}_{2.5}$ ($2,91 \pm 0,42$), phản ánh tỷ lệ cacbon hữu cơ lớn hơn trong phân đoạn bụi nano. Tuy nhiên, OC/EC chỉ là chỉ thị sơ bộ và có thể chịu ảnh hưởng đồng thời của đặc điểm nguồn phát thải, điều kiện khí tượng và các quá trình biến đổi trong khí quyển. Do đó, cần xem xét kết hợp với các phân đoạn nhiệt và các chỉ thị cacbon khác để thảo luận đặc điểm nguồn phát thải.

3.2. Đặc trưng các phân đoạn nhiệt OC–EC

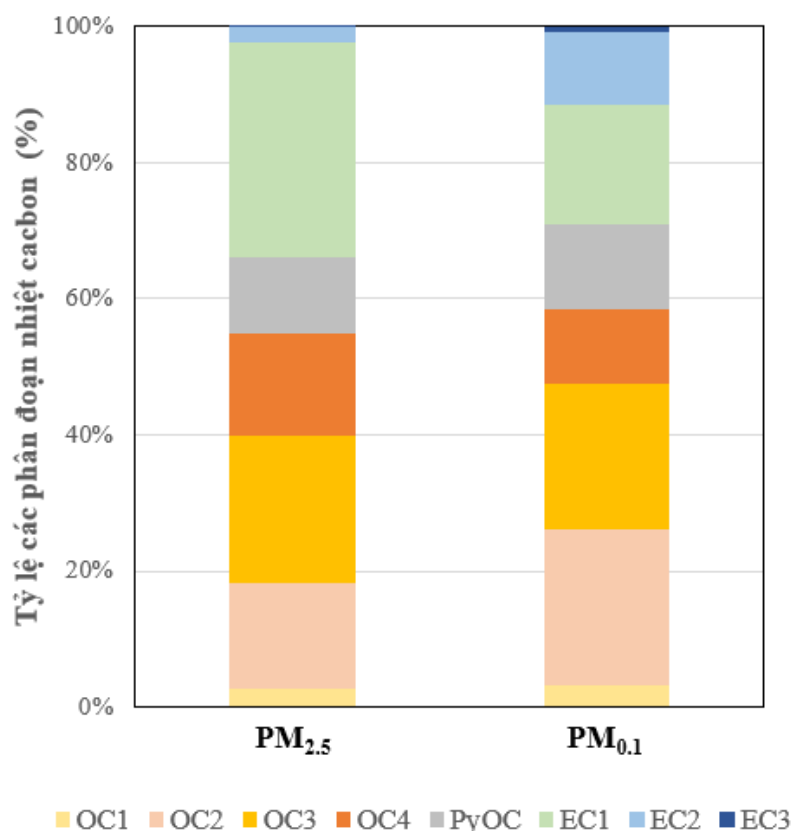
Kết quả phân tích các phân đoạn nhiệt OC–EC được trình bày trong Bảng 2 và Hình 3. Xét về nồng độ tuyệt đối, các phân đoạn nhiệt trong $\text{PM}_{2.5}$ đều cao hơn $\text{PM}_{0.1}$. Trong $\text{PM}_{2.5}$, EC1 ($6,56 \pm 2,74 \mu\text{g C m}^{-3}$) là phân đoạn có nồng độ cao nhất, tiếp theo là OC3 ($4,45 \pm 1,90 \mu\text{g C m}^{-3}$), OC2 ($3,24 \pm 1,33 \mu\text{g C m}^{-3}$) và OC4 ($3,15 \pm 1,47 \mu\text{g C m}^{-3}$). Đối với $\text{PM}_{0.1}$, OC2 ($0,67 \pm 0,20 \mu\text{g C m}^{-3}$), OC3 ($0,61 \pm 0,23 \mu\text{g C m}^{-3}$) và EC1 ($0,50 \pm 0,28 \mu\text{g C m}^{-3}$) là các phân đoạn chiếm ưu thế, trong khi EC3 chỉ đóng góp một tỷ lệ rất nhỏ ở cả hai cấp hạt.

Bảng 2. Nồng độ ($\mu\text{g m}^{-3}$) các phân đoạn nhiệt OC–EC trong $\text{PM}_{2.5}$ và $\text{PM}_{0.1}$

	$\text{PM}_{2.5}$ (Mean $\pm$ SD)	$\text{PM}_{0.1}$ (Mean $\pm$ SD)
OC1	$0,55 \pm 0,48$	$0,10 \pm 0,05$
OC2	$3,24 \pm 1,33$	$0,67 \pm 0,20$
OC3	$4,45 \pm 1,90$	$0,61 \pm 0,23$
OC4	$3,15 \pm 1,47$	$0,32 \pm 0,12$
PyOC	$2,28 \pm 0,88$	$0,37 \pm 0,18$
EC1	$6,56 \pm 2,74$	$0,50 \pm 0,28$
EC2	$0,48 \pm 0,10$	$0,31 \pm 0,11$
EC3	$0,01 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,02$

Để thuận tiện cho việc so sánh giữa hai cấp hạt, Hình 3 trình bày tỷ lệ tương đối của các phân đoạn nhiệt, được tính theo tỷ lệ của từng phân đoạn trên tổng hàm lượng của tám phân đoạn nhiệt (OC1–OC4, PyOC và EC1–EC3). Kết quả cho thấy OC2, OC3 và EC1 là ba phân đoạn chủ đạo của cả $\text{PM}_{2.5}$ và $\text{PM}_{0.1}$. Tuy nhiên, $\text{PM}_{0.1}$ có tỷ lệ OC2 và OC3 cao hơn, trong khi $\text{PM}_{2.5}$ có tỷ lệ EC1 lớn hơn. Ngược lại, OC1, EC2 và EC3 chỉ chiếm tỷ lệ nhỏ trong tổng cacbon của cả hai cấp hạt.

Sự khác biệt về thành phần tương đối giữa các phân đoạn nhiệt cho thấy $PM_{2.5}$ và $PM_{0.1}$ có đặc trưng thành phần cacbon khác nhau, phản ánh sự khác nhau về cơ chế hình thành và quá trình biến đổi của thành phần cacbon theo kích thước hạt, phù hợp với xu hướng đã được báo cáo ở Hà Nội và các đô thị Đông Á [8, 17]. Tuy nhiên, các phân đoạn nhiệt chỉ phản ánh đặc điểm thành phần cacbon và chưa đủ cơ sở để xác định nguồn phát thải. Vì vậy, các chỉ thị cacbon như OC/EC, POC, SOC, char-EC, soot-EC và tỷ lệ char-EC/soot-EC sẽ được sử dụng trong mục tiếp theo để thảo luận sâu hơn về đặc điểm nguồn phát thải.



Hình 3. Tỷ lệ tương đối của các phân đoạn nhiệt trong $PM_{2.5}$ và $PM_{0.1}$

3.3. Các chỉ thị đặc trưng cacbon và gợi ý nguồn phát thải

Bảng 3. Đặc trưng các chỉ thị cacbon của $PM_{2.5}$ và $PM_{0.1}$

	Đơn vị	$PM_{2.5}$ (Mean $\pm$ SD)	$PM_{0.1}$ (Mean $\pm$ SD)
OC/EC	-	2,91 $\pm$ 0,42	4,69 $\pm$ 1,10
POC	($\mu\text{gC m}^{-3}$)	9,93 $\pm$ 4,16	1,62 $\pm$ 0,72
SOC	($\mu\text{gC m}^{-3}$)	3,88 $\pm$ 2,36	0,45 $\pm$ 0,26
Char-EC	($\mu\text{gC m}^{-3}$)	4,27 $\pm$ 2,02	0,14 $\pm$ 0,11
Soot-EC	($\mu\text{gC m}^{-3}$)	0,49 $\pm$ 0,10	0,34 $\pm$ 0,13
Char-EC/Soot-EC	-	9,30 $\pm$ 5,51	0,37 $\pm$ 0,28

Các chỉ thị đặc trưng cacbon của $PM_{2.5}$ và $PM_{0.1}$ được trình bày trong Bảng 3. Tỷ lệ OC/EC trung bình của $PM_{0.1}$ (4,69 $\pm$ 1,10) cao hơn đáng kể so với $PM_{2.5}$ (2,91 $\pm$ 0,42), phản ánh tỷ lệ cacbon

hữu cơ lớn hơn trong phân đoạn bụi nano. Chỉ số OC/EC thường được sử dụng như một chỉ thị sơ bộ để đánh giá đóng góp tương đối giữa cacbon hữu cơ và cacbon nguyên tố, đồng thời có thể phản ánh sự hình thành cacbon hữu cơ thứ cấp (SOC). Tuy nhiên, chỉ số này chịu ảnh hưởng đồng thời của đặc điểm nguồn phát thải, điều kiện khí tượng và quá trình biến đổi trong khí quyển, nên không đủ để quy kết trực tiếp nguồn phát thải [6]. Trong nghiên cứu này, giá trị OC/EC cao hơn ở $PM_{0.1}$, cùng với kết quả ở Hình 3 cho thấy các phân đoạn OC2 và OC3 chiếm tỷ lệ lớn trong tổng cacbon, gợi ý vai trò đáng kể của cacbon hữu cơ và các quá trình biến đổi thứ cấp trong phân đoạn bụi siêu mịn. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Thuy và cộng sự (2018) tại Hà Nội, trong đó $PM_{0.1}$ có tỷ lệ cacbon trong khối lượng bụi cao hơn $PM_{2.5}$ và thành phần OC chiếm ưu thế trong phân đoạn bụi nano [8]. Tương tự, các nghiên cứu tại Bắc Kinh và Quảng Châu cũng ghi nhận OC là thành phần cacbon chủ đạo trong bụi đô thị, đồng thời chỉ ra rằng giá trị OC/EC tương đối cao thường đi kèm với sự đóng góp của quá trình hình thành bụi hữu cơ thứ cấp dưới điều kiện ô nhiễm đô thị [4, 18].

Kết quả tính toán theo phương pháp tỷ lệ OC/EC nhỏ nhất cho thấy POC chiếm ưu thế so với SOC ở cả hai cấp hạt. Tuy nhiên, SOC đạt $3.88 \pm 2.36 \mu\text{g C m}^{-3}$ đối với $PM_{2.5}$ và $0,45 \pm 0,26 \mu\text{g C m}^{-3}$ đối với $PM_{0.1}$, chứng tỏ quá trình hình thành bụi hữu cơ thứ cấp vẫn đóng góp đáng kể trong thời gian nghiên cứu. Mặc dù các phân đoạn nhiệt và chỉ thị POC/SOC không thể đại diện trực tiếp cho từng nguồn phát thải, sự kết hợp giữa tỷ lệ OC/EC tương đối cao, sự hiện diện của SOC và tỷ lệ lớn của các phân đoạn OC2–OC3 cho thấy quá trình hình thành cacbon hữu cơ thứ cấp có vai trò quan trọng đối với thành phần cacbon của bụi tại khu vực nghiên cứu. Vai trò của SOC trong nghiên cứu này cũng phù hợp với các nghiên cứu tại nhiều đô thị châu Á, trong đó bụi hữu cơ thứ cấp được ghi nhận là một thành phần đáng kể của $PM_{2.5}$ dưới điều kiện khí quyển mùa đông do cường độ quang hóa và quá trình oxy hóa các hợp chất hữu cơ tiền chất vẫn tiếp tục diễn ra trong điều kiện ô nhiễm kéo dài [6, 19].

Đối với cacbon nguyên tố, char-EC trong $PM_{2.5}$ ($4,27 \pm 2,02 \mu\text{g C m}^{-3}$) cao hơn đáng kể so với soot-EC ($0,49 \pm 0,10 \mu\text{g C m}^{-3}$), trong khi ở $PM_{0.1}$ hai thành phần này có giá trị gần tương đương ($0,14 \pm 0,11$ và $0,34 \pm 0,13 \mu\text{g C m}^{-3}$). Do đó, tỷ lệ char-EC/soot-EC của $PM_{2.5}$ đạt $9,30 \pm 5,51$, cao hơn nhiều so với $PM_{0.1}$ ($0,37 \pm 0,28$). Theo Han và cộng sự (2007, 2009), tỷ lệ char-EC/soot-EC có thể được sử dụng như một chỉ thị bổ sung để đánh giá đặc điểm các nguồn cháy do ít chịu ảnh hưởng của quá trình hình thành aerosol hữu cơ thứ cấp hơn so với OC/EC [4, 11]. Tỷ lệ char-EC/soot-EC cao phản ánh sự chiếm ưu thế tương đối của char-EC, thường gặp trong các quá trình cháy ở nhiệt độ thấp, trong khi tỷ lệ thấp phản ánh sự chiếm ưu thế của soot-EC, thường liên quan đến các quá trình cháy ở nhiệt độ cao. Tuy nhiên, chỉ số này vẫn chịu ảnh hưởng của loại nhiên liệu, điều kiện cháy và quá trình biến đổi trong khí quyển, vì vậy chỉ nên được sử dụng như một chỉ thị hỗ trợ trong đánh giá nguồn phát thải. Giá trị char-EC/soot-EC của $PM_{2.5}$ trong nghiên cứu này cao hơn đáng kể so với $PM_{0.1}$, tương tự xu hướng được Han và cộng sự (2009) quan sát tại 14 đô thị Trung Quốc, trong đó char-EC biến động mạnh theo nguồn phát thải và mùa, trong khi soot-EC ít biến động hơn [4].

Xét tổng hợp các chỉ thị OC/EC, POC/SOC, char-EC/soot-EC cùng phân bố các phân đoạn nhiệt (Mục 3.2), thành phần cacbon của $PM_{2.5}$ và $PM_{0.1}$ tại điểm nghiên cứu cho thấy ảnh hưởng đồng thời của phát thải sơ cấp và quá trình hình thành cacbon hữu cơ thứ cấp. $PM_{0.1}$ có xu hướng giàu

cacbon hữu cơ hơn, trong khi $PM_{2.5}$ thể hiện rõ hơn đặc trưng của char-EC. Các nhận định này chỉ mang tính gợi ý và cần được kiểm chứng bằng các phương pháp phân bổ nguồn định lượng, như PMF hoặc CMB, trong các nghiên cứu tiếp theo.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã cung cấp dữ liệu ban đầu về đặc trưng thành phần cacbon của bụi $PM_{2.5}$ và $PM_{0.1}$ tại một điểm đô thị hỗn hợp ở Hà Nội trong thời gian khảo sát. Trong thời gian quan trắc tháng 12/2020, ô nhiễm $PM_{2.5}$ diễn ra thường xuyên. Mặc dù nồng độ tuyệt đối của các thành phần cacbon trong $PM_{2.5}$ cao hơn, $PM_{0.1}$ có tỷ lệ TC/PM lớn hơn, cho thấy đặc trưng giàu cacbon của bụi nano. OC là thành phần chiếm ưu thế trong cả hai cấp hạt, trong đó OC2, OC3 và EC1 là các phân đoạn nhiệt đóng góp chính.

Các chỉ thị OC/EC, POC/SOC và char-EC/soot-EC cho thấy $PM_{2.5}$ và $PM_{0.1}$ có đặc điểm thành phần cacbon khác nhau. $PM_{0.1}$ có xu hướng giàu cacbon hữu cơ hơn, trong khi $PM_{2.5}$ thể hiện rõ hơn đặc trưng của char-EC. Kết quả gợi ý ảnh hưởng đồng thời của phát thải sơ cấp và quá trình hình thành cacbon hữu cơ thứ cấp đối với thành phần cacbon của bụi tại khu vực nghiên cứu. Tuy nhiên, các nhận định về nguồn phát thải chỉ mang tính gợi ý trong phạm vi điểm nghiên cứu và thời gian khảo sát. Các nghiên cứu tiếp theo cần mở rộng thời gian và phạm vi quan trắc, đồng thời kết hợp các mô hình phân bổ nguồn (PMF, CMB) và các chất chỉ thị nguồn (như PAHs, levoglucosan và ion vô cơ) để đánh giá định lượng đóng góp của các nguồn phát thải.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Wang, J., Xing, J., Mathur, R., Pleim, J. E., Wang, S., Hogrefe, C., Gan C-M, Wong DC, Hao J (2017). *Historical trends in $PM_{2.5}$ -related premature mortality during 1990–2010 across the northern hemisphere*. Environ. Health Perspect., 125(3), 400-408. doi: [10.1289/EHP298](https://doi.org/10.1289/EHP298)
- [2]. Bhargava, A., Shukla, A., Bunkar, N., Shandilya, R., Lodhi, L., Kumari, R., Gupta, P.K., Rahman, A., Chaudhury, K., Tiwari, R., Goryacheva, I.Y., Mishra, P.K., 2019. Exposure to ultrafine particulate matter induces NF-KB mediated epigenetic modifications. Environ. Pollut. 252, 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.065>.
- [3]. Schraufnagel, D.E., 2020. The health effects of ultrafine particles. In: Experimental and Molecular Medicine, vol. 52, pp. 311–317. <https://doi.org/10.1038/s12276-020-0403-3>, 3 Springer Nature.
- [4]. Han, Y.M., Lee, S.C., Cao, J.J., Ho, K.F., An, Z.S. (2009). *Spatial distribution and seasonal variation of char-EC and soot-EC in the atmosphere over China*. Atmos. Environ., 43 (38) (2009), pp. 6066-6073. Doi: [10.1016/j.atmosenv.2009.08.018](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.018)
- [5]. Morawska, L., Moore, M.R., Ristovski, Z.D. (2004). *Health Impacts of Ultrafine Particles, Desktop Literature Review and Analysis*, Department of Environment and Heritage, Australian Government
- [6]. S. Chansuebsri, P. Kolar, P. Kraisitnitikul, N. Kantarawilawan, N. Yabueng, W. Wiriya, D. Thepnuan, S. Chantara (2024). *Chemical composition and origins of $PM_{2.5}$ in Chiang Mai (Thailand) by integrated source apportionment and potential source areas*. Atmos. Environ., 327, Article 120517, [10.1016/j.atmosenv.2024.120517](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2024.120517).

- [7]. Pachauri, T., Satsangi, A., Singla, V., Lakhani, A., Kumari, K.M. (2013). *Characteristics and Sources of Carbonaceous Aerosols in PM_{2.5} during Wintertime in Agra, India*. *Aerosol Air Qual. Res.* Vol. 13, pp. 977–991. doi: 10.4209/aaqr.2012.10.0263
- [8]. Thuy, N.T.T., Dung, N.T., Sekiguchi, K., Thuy, L.B., Hien, N.T.T., Yamaguchi, R., 2018. Mass concentrations and carbonaceous compositions of pm_{0.1}, pm_{2.5}, and pm₁₀ at urban locations in hanoi, vietnam. *Aerosol Air Qual. Res.* 18, 1591–1605. Doi: 10.4209/aaqr.2017.11.0502.
- [9]. Chow, J.C., Watson, J.G., Crow, D., Lowenthal, D.H., Merrifield, T., 2001. Comparison of IMPROVE and NIOSH carbon measurements. *Aerosol Sci. Technol.* 34, 23–34. <https://doi.org/10.1080/02786820119073>.
- [10]. Chow, J.C., Watson, J.G., Chen, L.W.A., Chang, M.C.O., Robinson, N.F., Trimble, D., Kohl, S. (2007). The IMPROVE_A temperature protocol for thermal/optical carbon analysis: Maintaining consistency with a long-term database. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 57(9), 1014–1023. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.57.9.1014>.
- [11]. Han, Y.M., Cao, J.J., Chow, J.C., Watson, J.G., An, Z.S., Jin, Z.D., Fung, K., Liu, S.X. (2007). Evaluation of the thermal/optical reflectance method for discrimination between char- and soot-EC. *Chemosphere*, 69(4), 569–574. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.03.024>
- [12]. Turpin, B.J., Huntzicker, J.J. (1995). Identification of secondary organic aerosol episodes and quantitation of primary and secondary organic aerosol concentrations during SCAQS. *Atmospheric Environment*, 29(23), 3527–3544. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)00276-Q](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00276-Q).
- [13]. Bộ Tài nguyên và Môi trường. (2013). *QCVN 05:2013/BTNMT – Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng không khí xung quanh*.
- [14]. Bộ Tài nguyên và Môi trường. (2023). *QCVN 05:2023/BTNMT – Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng không khí*.
- [15]. World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization. ISBN 978-92-4-003422-8.
- [16]. Cao, J. J., Zhu, C. S., Tie, X. X., Geng, F. H., Xu, H. M., Ho, S. S. H., Wang, G. H., Han, Y. M., & Ho, K. F. (2013). Characteristics and sources of carbonaceous aerosols from Shanghai, China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(2), 803–817. <https://doi.org/10.5194/acp-13-803-2013>
- [17]. Cao J.J., Lee, S.C. Chow, J.C. Watson, J.G., Ho, K.F., Zhang, R.J. Jin, Z.D. Shen, Z.X., Chen, G.C., Kang, Y.M. (2007). Spatial and seasonal distributions of carbonaceous aerosols over China. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 112, p. 2211, doi: [10.1029/2006JD008205](https://doi.org/10.1029/2006JD008205).
- [18]. Cao, J. J., Wu, F., Chow, J. C., Lee, S. C., Li, Y., Chen, S. W., An, Z. S., Fung, K. K., Watson, J. G., Zhu, C. S., & Liu, S. X. (2005). Characterization and source apportionment of atmospheric organic and elemental carbon during fall and winter of 2003 in Xi'an, China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5, 3127–3137. <https://doi.org/10.5194/acp-5-3127-2005>
- [19]. Lim, H. J., & Turpin, B. J. (2002). Origins of Primary and Secondary Organic Aerosol in Atlanta: Results of Time-Resolved Measurements during the Atlanta Supersite Experiment. *Environmental Science & Technology*, 36(21), 4489–4496. doi:10.1021/es0206487