

ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG KHÔNG KHÍ TRONG NHÀ: SỰ PHÂN BỐ NỒNG ĐỘ CÁC HẠT BỤI VÀ KIM LOẠI NẶNG

Đến tòa soạn 08-03-2021

Trần Đình Trinh

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

SUMMARY

INDOOR AIR QUALITY ASSESSMENT: SIZE RESOLVED AIRBORNE PARTICLE AND HEAVY METALS

Indoor and outdoor ultrafine, accumulation mode, fine and coarse fractions collected at one preschool in Hanoi capital, Vietnam were characterized in terms of mass-size distribution and elemental composition. The sampling campaigns were performed simultaneously indoors and outdoors during four consecutive weeks. Indoor average concentration of CO₂ and CO were below the limit values recommended by ASHRAE (1000 ppm for CO₂) and WHO (7 mg/m³ for CO). Indoor concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ were strongly influenced by the presence of children and their activities indoors, averaging 49.4 µg/m³ (PM_{2.5}) and 59.7 µg/m³ (PM₁₀). At peak time with intensive activities, indoor PM₁₀ concentration could reach 1,200 µg/m³, several times higher than limited values (150 µg/m³) applied to ambient air (QCVN 05:2013/BTNM). Mass-size distribution of indoor and outdoor particles presented similar patterns, in which ultrafine particles accounted for around 15-20% while fine particles (PM_{2.5}) made up almost 80% of PM₁₀. O was the most abundant elements followed by C for indoor and outdoor particles. O accounted for 22.9% to 37.4% of indoor particles while those figures for C element were in the range of 13.2-23.4%. Mass proportion of crustal, major elements could make up 50%, whereas trace elements accounted for less than 0.5% of indoor and outdoor airborne particles.

Keywords: Indoor air quality, young children, comfort parameters, nano particles, heavy metals, ICP-MS, mass-size and elemental distribution.

1. MỞ ĐẦU

Con người trong xã hội hiện đại ngày càng dành nhiều thời gian ở trong nhà hơn, do đó chất lượng không khí trong nhà tác động trực tiếp đến sức khỏe của con người, đặc biệt là trẻ em vì thời gian trẻ ở trong nhà nhiều hơn và trọng lượng cơ thể trẻ thấp hơn so với người lớn, nên lượng bụi hít vào so với trọng lượng cơ thể là nhiều hơn. Bên cạnh đó, hệ thống miễn dịch cũng như hệ hô hấp của trẻ em chưa hoàn thiện nên có nguy cơ bị nhiễm độc cao hơn [1-3].

Các nghiên cứu gần đây ngày càng tập trung nhiều vào các hạt bụi mịn (PM_{2.5}, PM₁) và các hạt siêu mịn có kích thước nanomet (PM_{0.1}) và thành phần hóa học của chúng vì đây là những tác nhân quan trọng nhất, ảnh hưởng đến sức khỏe của con người và môi trường. Các hạt bụi lớn thường được giữ lại phía trên của hệ thống hô hấp (mũi, họng), trong khi các hạt bụi mịn và đặc biệt hạt siêu mịn có thể thâm nhập vào mọi nơi trong hệ thống hô hấp của con người, hòa tan vào các mô và tấn công các bộ phận trong cơ thể con người [4-6].

Nguồn phát thải các hạt bụi và kim loại nặng vào không khí trong nhà thường được chia thành hai loại là trong nhà và ngoài trời. Các nguồn phát thải trong nhà có thể tạo ra do các hoạt động của con người khi ở trong nhà như việc nấu nướng, hút thuốc, đốt hương, các sản phẩm tiêu dùng, vật liệu xây dựng và trang trí. Nguồn phát thải ngoài trời bao gồm phát thải giao thông, bụi đường phố, các hoạt động xây dựng, khí thải công nghiệp, đốt sinh khối [3]. Kim loại nặng từ lâu đã được chứng minh là chất gây ô nhiễm môi trường nghiêm trọng do độc tính và sự không phân hủy của chúng. Các nghiên cứu trước đây cho thấy rằng các kim loại nặng như Pb và Cd có khả năng gây ung thư và gây ra một số tác dụng phụ đối với sức khỏe con người như tim mạch, hệ thần kinh, các bệnh về máu và xương [4,5].

Chất lượng không khí tại thành phố Hà Nội ngày càng giảm sút do quá trình đô thị hóa và mật độ dân số ngày càng tăng, nên các nguồn gây ô nhiễm từ giao thông, công nghiệp, xây dựng... cũng tăng theo. Tuy vậy, có rất ít các nghiên cứu về thành phần hóa học của các hạt bụi trong nhà và ngoài trời. Vì vậy, mục tiêu chính của nghiên cứu này là đánh giá chất lượng không khí trong nhà tại một trường học và xác định sự phân bố nồng độ các hạt bụi, thành phần kim loại nặng theo kích thước hạt bụi.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất

Các loại hóa chất sử dụng trong nghiên cứu này đều là hóa chất siêu tinh khiết dành cho phân tích lượng vết bằng phương pháp ICP. Cụ thể, các dung dịch HNO_3 (65% Merck Suprapure) và H_2O_2 (30% Sigma-Aldrich TraceSelect Ultra) được sử dụng để hòa tan mẫu bụi và chuyển các kim loại vào dung dịch; dung dịch chất chuẩn 33 nguyên tố Trace CERT (Sigma-Aldrich) được sử dụng để lập đường chuẩn đo nồng độ các kim loại trong dung dịch. Các chất chuẩn NIST 1684 (National Institute of Standards and Technology, USA) và NIST 2584 lần lượt được dùng để xác định hiệu suất thu hồi các kim loại trong các hạt bụi trong không khí xung quanh và không khí trong nhà khi sử

dụng phương pháp ICP-MS đã được thiết lập trong nghiên cứu này. Nước cất siêu tinh khiết có độ cách điện $18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ được sử dụng để pha loãng dung dịch và lập đường chuẩn.

2.2. Lấy mẫu

Để đánh giá chất lượng không khí và tác động của các hạt bụi mịn, siêu mịn, các thành phần hóa học của chúng đối với trẻ nhỏ chúng tôi thực hiện chiến dịch lấy mẫu tại 01 trường mầm non thuộc quận Đống Đa trong 01 tháng (11.2019). Việc lựa chọn quận trung tâm Đống Đa để có mẫu đại diện cho chất lượng không khí tại phần trung tâm thành phố. Trường mầm non được lựa chọn là trường công lập, nằm cách xa đường giao thông, được xây dựng vào những năm 2000 và không có hoạt động sửa chữa gần đây. Một lớp học trong trường được lựa chọn để thực hiện nghiên cứu. Có 32 cháu trong độ tuổi 2-4 học trong lớp với diện tích 45 m^2 . Các mẫu được lấy đồng thời ở trong và bên ngoài lớp học tại 2 thời điểm: Trong giờ học (có mặt trẻ nhỏ), kéo dài 8 tiếng mỗi ngày, từ 8 giờ sáng đến 16 giờ chiều và ngoài giờ học (khoảng 12 tiếng) – tất cả các buổi tối và các ngày nghỉ. Mục đích của việc lấy mẫu trong giờ học (có mặt của trẻ nhỏ) và buổi tối (không có người trong lớp học) là để đánh giá ảnh hưởng của các hoạt động trong lớp học và nguồn phát thải trong nhà đến sự phân bố nồng độ các hạt bụi và kim loại nặng trong lớp học. Tất cả các mẫu được đo và lấy đồng thời bên trong nhà và ngoài trời bằng các thiết bị như nhau. Các mẫu bụi được lấy bằng 02 impactor giống nhau, model Nanosampler II, hãng KANOMAX (Nhật Bản), đã được chuẩn tốc độ dòng bằng thiết bị đo lưu lượng model 4040, hãng TSI (Mỹ), trước khi tiến hành thu mẫu. Bên cạnh đó, để đánh giá ảnh hưởng của các hoạt động trong nhà đến nồng độ bụi, 02 thiết bị đếm hạt (theo phương pháp tán xạ ánh sáng) giống nhau model 531S, hãng METONE (Mỹ) được dùng để đo liên tục nồng độ khối lượng các hạt bụi PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, PM_4 , PM_7 và PM_{10} trong nhà và ngoài trời. Các khí CO , CO_2 , các thông số độ ẩm, nhiệt độ trong nhà và ngoài trời được đo liên tục bằng máy Qtrak, model

7575, hãng TSI (Mỹ). Cuối cùng, có 80 mẫu bụi được lấy trong nhà ngoài trời để xác định nồng độ khối lượng và thành phần kim loại nặng, nồng độ các hạt bụi đo theo phương pháp liên tục và các khí CO, CO₂, các thông số nhiệt độ, độ ẩm được đo liên tục trong nhà và ngoài trời.

2.3. Chuẩn bị và phân tích mẫu

Các mẫu được thu trên giấy lọc Teflon (đường kính 55 mm, kích thước lỗ 2 μm) vì Teflon không hút ẩm và trơ về mặt hóa học. Mẫu được chuyển sang dạng dung dịch trong thiết bị phá mẫu bằng lò vi sóng ở 200°C sử dụng hỗn hợp dung dịch phá mẫu HNO₃ và H₂O₂ theo tỉ lệ là 4/1 về thể tích. Sau quá trình hòa tan các hạt bụi vào dung dịch, các mẫu được chuyển sang đo trên máy ICP-MS.

2.4. Đảm bảo và kiểm soát chất lượng các kết quả phân tích

Quy trình phân tích và các thông số kiểm soát được trình bày trong những công trình trước [2,7]. Cuối cùng, 25 nguyên tố (Al, Ag, As, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, Ti, V và Zn) được chọn do kết quả của chúng đủ lớn về giới hạn phát hiện và giới hạn đo, tỷ lệ thu hồi và nồng độ đủ lớn trong các hạt bụi không khí.

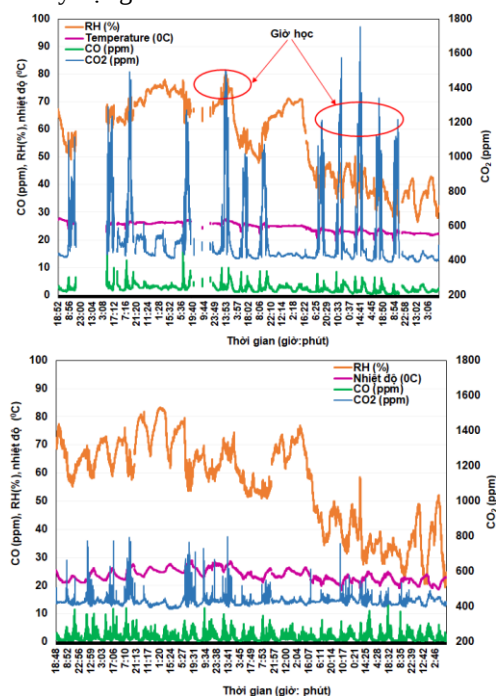
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Sự thay đổi nồng độ của các khí CO, CO₂, nhiệt độ, độ ẩm

Kết quả sự thay đổi nồng độ CO, CO₂, nhiệt độ, độ ẩm tương đối trong lớp học và không khí xung quanh được mô tả trên hình 1. Có thể nhận thấy rằng, nồng độ CO₂ trong lớp học bị ảnh hưởng nhiều nhất khi có mặt của trẻ nhỏ. Khi có mặt trẻ nhỏ (trong giờ học) đều có xuất hiện các pic nồng độ CO₂ vào khoảng 1000-1500 ppm so với nồng độ nền vào khoảng 400 ppm. Nồng độ trung bình của CO₂ thu được trong lớp trong giờ học đạt 742 ± 276 ppm còn giá trị này khi không có học sinh trong lớp học là 436 ± 33 ppm, gần bằng nồng độ CO₂ ngoài trời có giá trị khoảng 440 ppm (bảng 1). Như vậy, quá trình hô hấp của trẻ nhỏ đã góp phần làm tăng nồng độ CO₂ trong lớp học lên gần 2 lần. Do không có các hoạt động đốt, đun nấu biêt trong trường học nên nồng độ CO trong

nhà và ngoài trời có giá trị tương đương nhau, khoảng 1.5 ppm (bảng 1). Tuy nhiên, xuất hiện các pic nồng độ CO (lên đến 22 ppm) tại các thời điểm đầu giờ sáng và cuối giờ chiều (hình 1), là thời điểm các hoạt động giao thông lớn nhất; các loại xe đưa đón học sinh tại cổng và sân trường đã làm tăng đáng kể nồng độ CO bên ngoài lớp học. Mặc dù vậy, nồng độ trung bình các khí CO₂, CO đều nằm trong giới hạn cho phép của tổ chức Y tế thế giới (6 ppm đối với CO) và Tổ chức ASHRAE của Mỹ đối với không khí trong nhà (giá trị cho phép 1000 ppm).

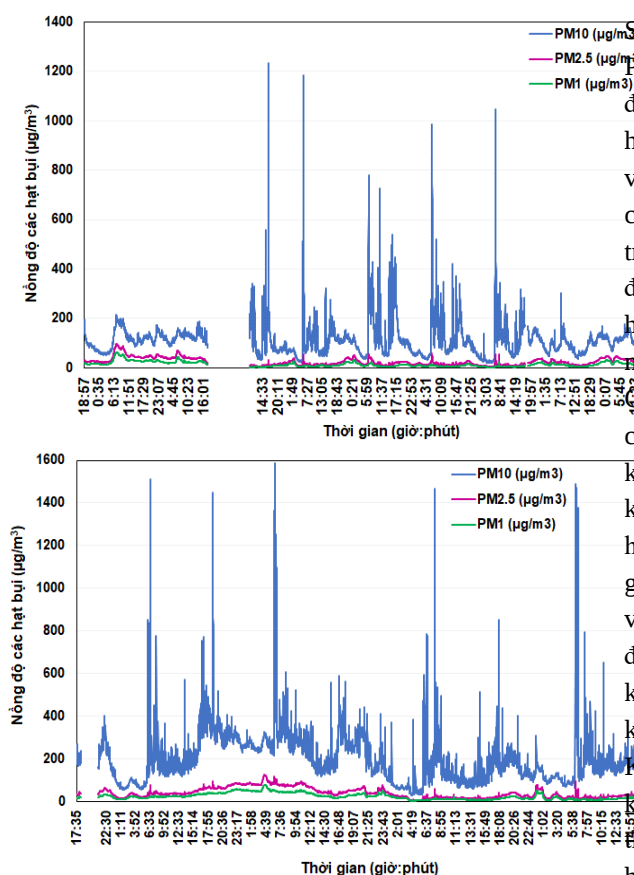
Các giá trị nhiệt độ và độ ẩm tương đối có thể so sánh được giữa trong nhà và ngoài trời, mặc dù các giá trị thu được trong nhà ít thay đổi hơn do các đặc tính nội tại của lớp vỏ xây dựng của tòa nhà và sự có mặt của trẻ nhỏ đã làm nhiệt độ trong lớp học rất ít thay (khoảng 25-28°C) trong khi nhiệt độ ngoài trời thay đổi trong khoảng 20-30°C (hình 1). Độ ẩm trong không khí trong nhà cũng có xu hướng thay đổi theo độ ẩm ngoài trời nhưng với mức độ chậm hơn nhiều do tính chất che chắn của lớp vỏ xây dựng tòa nhà.



Hình 1. Sự thay đổi nồng độ CO, CO₂, các thông số nhiệt độ, độ ẩm trong lớp học (trên) và ngoài trời (dưới). Thời gian đo: 2 tuần liên tục.

Bảng 1. Nồng độ CO, CO₂, các thông số độ ẩm và nhiệt độ trong lớp học và ngoài trời (Trung bình ± độ lệch chuẩn, trong ngoặc là khoảng giá trị). Số mẫu N=20.

	Trong giờ học	Ngoài giờ học
Trong nhà		
CO ₂ (ppm)	742±276 (405-1755)	436±33 (391-618)
CO (ppm)	2,7±1,6 (0,4-8,3)	2,1±1,1 (0,4-8,6)
°C	24,5±1,8 (29,6-27,8)	24,4±1,7 (21,7-28,4)
Độ ẩm (%)	53,1±13,8 (26,1-79,8)	54,4±13,9 (27,8-76,2)
Ngoài trời		
CO ₂ (ppm)	443±37 (367-650)	428±12 (403-575)
CO (ppm)	1,6±1,2 (0,4-12,1)	1,2±1,0 (0,2-21,7)
°C	24,0±2,1 (18,2-28,8)	23,1±2,0 (20,6-28,4)
Độ ẩm (%)	51,3±14,6 (22,7-79,7)	57,7±15,8 (29,4-88,0)



Hình 2. Sự thay đổi nồng độ các hạt bụi trong lớp học (trên) và ngoài trời (dưới). Thời gian đo: 2 tuần liên tục.

3.2. Sự thay đổi nồng độ các hạt bụi hô hấp trong không khí.

Sự thay đổi nồng độ các hạt bụi PM₁, PM_{2,5} và PM₁₀ trong không khí trong nhà và ngoài trời đo trên thiết bị METONE được thể hiện trên hình 2. Nhìn chung, nồng độ các hạt bụi mịn và bụi thô trong nhà thấp hơn ngoài trời và sự có mặt của trẻ nhỏ cùng các hoạt động của trẻ trong lớp như vui chơi, đi lại... đã làm tăng đáng kể các hạt bụi thô (hình 2A) trong khi các hạt bụi mịn ít bị ảnh hưởng hơn rất nhiều. Điều này phù hợp với các nghiên cứu trước [8-12]. Các hoạt động của trẻ nhỏ có thể làm nồng độ các hạt bụi PM₁₀ trong nhà tăng lên đến khoảng 1200 µg/m³ (hình 2A). Đối với không khí ngoài trời, nồng độ các hạt bụi cũng bị ảnh hưởng bởi các hoạt động của trẻ nhỏ vui chơi gần khu vực đặt máy đo, và các xe gắn máy ra vào khu vực sân trường đưa, đón trẻ nhỏ vào đầu buổi sáng và cuối chiều đã làm tăng đáng kể nồng độ các hạt bụi thô, có thể đạt đến khoảng 1600 µg/m³ (hình 2B).

Kết quả nồng độ trung bình của các hạt bụi có kích thước khác nhau, từ bụi siêu mịn đến bụi thô thu được bởi thiết bị Nanosampler thực hiện trong giờ học và khi không có trẻ nhỏ trong lớp được trình bày trong bảng 2. Nhìn chung, sự có mặt của trẻ nhỏ và các hoạt động của chúng trong lớp học đều làm tăng nồng độ các hạt bụi từ kích thước nhỏ hơn 100 nm đến PM₁₀ trong nhà so với khi không có trẻ nhỏ

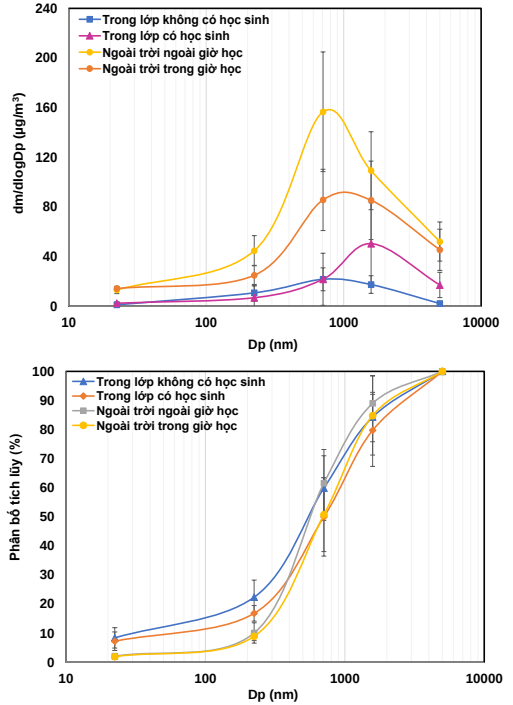
trong lớp học. Ví dụ, khi có trẻ nhỏ nồng độ trung bình của các hạt bụi siêu mịn $PM_{0,1}$ trong lớp đạt $3,1 \pm 1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, thay đổi từ 1,6-4,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ trong khi các giá trị này thu được khi không có trẻ nhỏ là $1,4 \pm 1,2$, thay đổi từ 0,5-3,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (bảng 2). Các hạt bụi lớn như PM_{10} còn

bị ảnh hưởng lớn hơn rất nhiều khi có giá trị $59,7 \pm 24,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ so với $16,8 \pm 20,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ khi không có trẻ nhỏ trong phòng học. Các giá trị nồng độ bụi ngoài trời có thể so sánh được giữa hai khoảng thời gian là trong và ngoài giờ học (bảng 2).

Bảng 2. Nồng độ trung bình của các hạt bụi siêu mịn, mịn và thô trong nhà và ngoài trời (Trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn, trong ngoặc là khoảng giá trị). Số mẫu N=20.

	Trong giờ học	Ngoài giờ học
Trong nhà		
$PM_{0,1}$	$3,1 \pm 1,3$ (1,6-4,2)	$1,4 \pm 1,2$ (0,5-3,2)
$PM_{0,5}$	$7,9 \pm 7,1$ (2,6-15,9)	$4,2 \pm 2,5$ (2,0-7,0)
PM_1	$29,3 \pm 21,3$ (4,7-62,5)	$10,3 \pm 12,3$ (1,8-28,4)
$PM_{2,5}$	$49,4 \pm 15,9$ (28,2-81)	$15,7 \pm 19,0$ (2,3-43,5)
PM_{10}	$59,7 \pm 24,9$ (30,1-107)	$16,8 \pm 20,2$ (9,2-46,4)
Ngoài trời		
$PM_{0,1}$	$18,5 \pm 2,2$ (16,3-20,7)	$17,0 \pm 3,7$ (12,5-20,5)
$PM_{0,5}$	$35,9 \pm 6,7$ (28,6-41,8)	$48,2 \pm 11,1$ (35,2-60,8)
PM_1	$73,3 \pm 23,9$ (41,7-102)	$89,4 \pm 25,0$ (65,6-122)
$PM_{2,5}$	$107 \pm 41,0$ (56,7-155)	$133 \pm 32,9$ (93,8-172)
PM_{10}	$134,6 \pm 60,2$ (99,3-198)	$164 \pm 46,6$ (108-211)

Các kết quả cũng cho thấy nồng độ trung bình của các hạt PM_{10} ngoài trời cũng nằm quanh giới hạn cho phép ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) đối với 24-h phơi nhiễm áp dụng cho không khí xung quanh (QCVN 05:2013/BTNM). Thực tế, các giá trị này đạt $134,6 \pm 60,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ trong giờ học và $164 \pm 46,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ngoài giờ học. Mặt khác, nồng độ $PM_{2,5}$ ngoài trời đều cao hơn rất nhiều (khoảng 107 và 133 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) so với giới hạn cho phép ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) cho 24-h phơi nhiễm áp dụng cho không khí xung quanh (bảng 2). Điều này cho thấy rủi ro phơi nhiễm các hạt bụi mịn trong không khí xung quanh là rất lớn. Do Việt Nam chưa có Quy chuẩn cho chất lượng không khí trong nhà nên không thể so sánh một cách chính xác. Tuy vậy, nếu áp dụng Quy chuẩn không khí xung quanh cho lớp học thì có thể nhận thấy rủi ro phơi nhiễm các hạt bụi PM_{10} và $PM_{2,5}$ là chưa đáng kể. Tuy nhiên, để có kết luận chính xác, cần phải tiến hành nghiên cứu tổng thể hơn, với các thông tin không chỉ về nồng độ mà còn về thành phần hóa học của các hạt bụi.

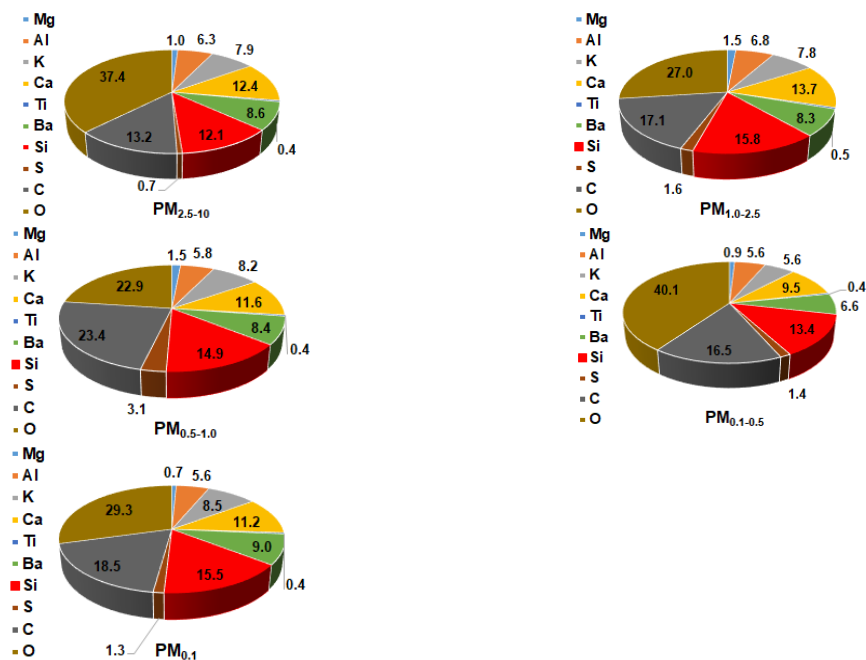


Hình 3. Phân bố nồng độ (trên) và tích lũy (dưới) theo kích thước (trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn)

3.3. Sự phân bố theo đường kính các hạt bụi trong không khí.

Kết quả về phân bố các hạt bụi góp phần khẳng định sự có mặt của trẻ nhỏ trong lớp và hoạt các động thường ngày đã làm tăng nồng độ các hạt bụi có kích thước lớn hơn trong lớp học. Cụ thể, sự phân bố của các hạt bụi trong nhà khi không có trẻ nhỏ được đặc trưng chủ yếu bởi các hạt bụi có kích thước khoảng 1 μm , trong khi trong giờ học thì phân bố kích thước các hạt chuyển về vùng khoảng 5 μm (hình 3). Đối với các hạt bụi ngoài trời thì sự phân bố có ít thay đổi giữa hai khoảng thời gian trong và ngoài giờ học. Đặc trưng của các hạt bụi này là vùng 1 μm . Sự phân bố tích lũy cho thấy các hạt bụi nằm trong khoảng 1-2,5 μm chiếm đến khoảng 80% khối lượng của các hạt bụi PM_{10} (hình 3). Điều này cho thấy bụi mịn chiếm thành phần chủ yếu của các hạt PM_{10} trong không khí trong và ngoài lớp học.

3.4. Kết quả phân bố các kim loại trên các hạt bụi có đường kính khác nhau



Hình 4. Thành phần nguyên tố của các hạt bụi trong nhà $\text{PM}_{2.5-10}$, $\text{PM}_{1-2.5}$, $\text{PM}_{0.5-1}$, $\text{PM}_{0.1-1}$, và $\text{PM}_{0.1}$ thu được khi có học sinh trong lớp học.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu các kim loại nặng từ các hạt bụi trong không khí trong nhà và không khí xung quanh tại trường mầm non trên địa bàn Hà Nội cho thấy sự hiện diện của trẻ em tại trường học và hoạt động trong lớp học làm gia tăng nồng độ khí CO_2 , các hạt bụi thô và kim

Kết quả thành phần nguyên tố (hình 4) cho thấy oxy là nguyên tố phổ biến nhất (chiếm 22,9-37,4% theo khối lượng), theo sau là cacbon (13,2-23,4%) và silic (12,1-15,8%). Các kim loại nặng như Pb, Cd, Ni, Zn, Sb, Bi,... chiếm tỷ lệ nhỏ hơn 0,5% theo khối lượng trong tất cả các hạt bụi hô hấp có đường kính nhỏ hơn 10 μm . Các kim loại kiềm và kiềm thổ như Al, Mg, Ca lại có xu hướng được làm giàu ở những phân đoạn hạt bụi có kích thước lớn (bụi thô). Ví dụ, kim loại Ca chiếm 12,4% trong các hạt bụi có đường kính từ 2,5 đến 10 μm và 13,7% trong phân đoạn 1 đến 2,5 μm , trong khi đó nguyên tố này chỉ chiếm 11,6% trong các hạt bụi có đường kính nằm trong khoảng 0,5-1 μm và chỉ chiếm 11,2% trong các hạt bụi nano (đường kính nhỏ hơn 100 nm). Điều này được giải thích là do các kim loại kiềm, kiềm thổ thường được làm giàu trong các hạt bụi thô. Các kết quả này cũng phù hợp với các nghiên cứu trước [2,13,14].

loại kiềm, kiềm thổ trong không khí trong nhà do các hoạt động của trẻ nhỏ như vui chơi, chạy nhảy, đi lại..., làm các hạt bụi trên các bề mặt trong lớp học bị cuốn vào không khí bằng các lực cơ học. Tuy vậy, nồng độ trung bình của các khí CO , CO_2 , các hạt bụi PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ đều nằm trong giới hạn cho phép theo TCVN

2013 của Bộ Tài Nguyên và Môi trường áp dụng cho không khí xung quanh. Các kết quả cũng cho thấy, các hạt bụi mịn PM_{2,5} chiếm phần lớn khối lượng (khoảng 80%) của các hạt bụi PM₁₀ trong không khí trong nhà và xung quanh tại khu vực trường học. Điều này cho thấy có nguy cơ rủi ro phơi nhiễm các hạt bụi mịn do chúng thường chứa nhiều chất ô nhiễm hơn so với các hạt bụi thô. Các kim loại nặng chiếm tỷ lệ rất thấp trong các hạt bụi hô hấp có đường kính khác nhau (nhỏ hơn 0,5%) trong khi các nguyên tố oxi, cacbon và silic chiếm đến hơn 60% khối lượng các hạt bụi khi có mặt học sinh trong lớp.

Nồng độ các hạt bụi hô hấp trong nhà và thành phần các nguyên tố kim loại, đặc biệt các kim loại nặng phụ thuộc không chỉ vào khoảng cách với các nguồn phát thải, hướng gió, điều kiện thời tiết mà còn phụ thuộc vào các nguồn thải trong nhà, cấu trúc và tình trạng của tòa nhà... Các thông số này sẽ được chúng tôi phát triển nghiên cứu trong thời gian tới.

LỜI CẢM ƠN

Công trình này được tài trợ bởi đề tài mã số QMT.20.24, Đại học Quốc gia Hà Nội.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Tran, D.T.; Alleman, L.Y.; Coddeville, P.; Galloo, J.C. Indoor-outdoor behavior and sources of size-resolved airborne particles in French classrooms. *Build. Environ.* 2014, *81*, 183–191.
- Tran D.T.; Alleman L.Y.; Coddeville, P.; Galloo, J.C. Elemental characterization and source identification of size resolved atmospheric particles in French classrooms. *Atmos. Environ.* 2012, *54*, 250–259.
- Tofful, L.; Perrino, C. Chemical Composition of Indoor and Outdoor PM_{2,5} in Three Schools in the City of Rome. *Atmosphere* 2015, *6*, 1422–1443.
- World Health Organization (WHO), 2004. Health aspects of air pollution results from the WHO project: systematic review of health aspects of air pollution in Europe, pp.10-18.
- Frampton, M.W.; Ghio, A.J.; Samet, J.M.; Carson, J.L.; Carter, J.D.; Devlin, R.B. Effects of aqueous extracts of PM₁₀ filters from the Utah valley on human airway epithelial cells. *Am J Physiol.* 1999, *277*, 960–967.
- Pope, C.A.; Burnett, R.T.; Thun, M.J.; Calle, E.E.; Krewski, D.; Ito, K.; Thurston, G.D. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA.* 2002, *287*, 1132–1141.
- Tran, T.D.; Nguyen, P.M.; Nghiem, D.T.; Le, T.H.; Tu, M.B.; Alleman, L.Y.; Nguyen, V.M.; Pham, D.T.; Ha, N.M.; Dang, M.N.; Le, C.V.; Nguyen, N.V. Assessment of Air Quality in School Environments in Hanoi, Vietnam: A Focus on Mass-Size Distribution and Elemental Composition of Indoor-Outdoor Ultrafine/Fine/Coarse Particles. *Atmosphere* 2020, *11*, 519. <https://doi.org/10.3390/atmos11050519>
- Mbengue, S.; Alleman, L.Y.; Flament, P. Size-distributed metallic elements in submicronic and ultrafine atmospheric particles from urban and industrial areas in northern France. *Atmos. Res.* 2014, *135*–136, 135–136.
- Rivas, I.; Viana, M.; Moreno, T.; Pandolfi, M.; Amato, F.; Reche, C.; Bouso, L.; Álvarez-Pedrerol, M.; Alastuey, A.; Sunyer, J.; Querol, X. Child exposure to indoor and outdoor air pollutants in schools in Barcelona, Spain. *Environ. Int.* 2014, *69*, 200–212.
- Oliveira, M.; Slezakova, K.; Delerue-Matos, C.; Pereira, M.C.; Morais, S. Assessment of air quality in preschool environments (3-5 years old children) with emphasis on elemental composition of PM₁₀ and PM_{2,5}. *Environ. Pollut.* 2016, *214*, 430–439.
- Ruggieri, S.; Longo, V.; Perrino, C.; Canepari, S.; Drago, G.; L'Abbate, L.; Balzan, M.; Cuttitta, G.; Scaccianoce, G.; et al. Indoor Air Quality in Schools of a Highly Polluted South Mediterranean Area. *Indoor Air* 2019, *29*, 276–290.
- Tran, D.T.; Alleman, L.Y.; Coddeville, P.; Galloo, J.C. Indoor particle dynamics in schools: Determination of air exchange rate, size-resolved particle deposition rate and penetration factor in real-life conditions. *Indoor Built Environ.* 2015, *0(0)*, 1–16.
- Viana, M.; Rivas, I.; Querol, X.; Alastuey, A.; Sunyer, J.; Alvarez-Pedrerol, M.; Bouso, L.; Sioutas, C. Indoor/outdoor relationships of quasi-ultrafine, accumulation and coarse mode particles in school environments in Barcelona: chemical composition and Sources. *Atmos. Chem. Phys.* 2013, *13*, 32849–83.
- Hussein, T.; Alameer, A.; Jaghbeir, O.; Albeitshaweesh, K.; Malkawi, M.; Boor, B.E.; Koivisto, A.J.; Löndahl, J.; Alrifai, O.; Al-Hunaiti, A. Indoor Particle Concentrations, Size Distributions, and Exposures in Middle Eastern Microenvironments. *Atmosphere* 2020, *11*, 41.