



Original Article

Assessment of Indoor and Ambient Air Pollution at Complex Buildings in Hanoi

Hoang Anh Le*, Le Thuy Linh

Faculty of Environmental Sciences, VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Hanoi, Vietnam

Received 17 May 2019

Revised 01 August 2019; Accepted 02 August 2019

Abstract: The most typical air pollutants including PM₁₀, CO, SO₂, NO_x are monitored at different sites indoor (basement, shopping malls) and outdoor (ambient air) of several complex buildings which are used for different purposes of resident, office, and shopping malls in Hanoi. The results show that the indoor air pollution concentrations tend to be higher than the corresponding pollutants of the ambient air. The results show the highest concentrations are in RC building for the same category of floor comparing to the other two buildings. Pollutant concentrations at basement for parking is the highest with the values of PM₁₀, SO₂, NO_x, CO of $67.1 \pm 21.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $224.8 \pm 34.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $287.3 \pm 136.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $22,372.5 \pm 2,324.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The high concentration of indoor air pollutants are harmful for human health, especially for those who have longer exposure time.

Keywords: Indoor air pollution, Building, Hanoi.

* Corresponding author.

E-mail address: leha@vnu.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4393>



Đánh giá mức độ ô nhiễm không khí trong nhà và ngoài trời tại một số tòa nhà hỗn hợp trên địa bàn thành phố Hà Nội

Hoàng Anh Lê*, Lê Thùy Linh

*Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Vietnam*

Nhận ngày 17 tháng 5 năm 2019

Chỉnh sửa ngày 01 tháng 8 năm 2019; Chấp nhận đăng ngày 02 tháng 8 năm 2019

Tóm tắt: Các chất ô nhiễm không khí điển hình (PM_{10} , CO, SO_2 , NO_x) được quan trắc ở khu vực bên trong (tầng hầm, trung tâm thương mại) và bên ngoài (không khí xung quanh) của các tòa nhà hỗn hợp (sử dụng đa mục đích để ở, làm văn phòng, trung tâm thương mại, v.v.) trên địa bàn thành phố Hà Nội. Kết quả nghiên cứu cho thấy nồng độ chất ô nhiễm không khí trong nhà có xu hướng cao hơn nồng độ chất ô nhiễm không khí tương ứng trong môi trường không khí xung quanh tại cùng tòa nhà hỗn hợp. Nồng độ chất ô nhiễm tại tầng hầm (nơi để xe ô tô, xe máy) là lớn nhất, với PM_{10} , SO_2 , NO_x , CO lần lượt là $67,1 \pm 21,2 \mu g/m^3$, $224,8 \pm 34,9 \mu g/m^3$, $287,3 \pm 136,3 \mu g/m^3$, $22.372,5 \pm 2.324,5 \mu g/m^3$. Hàm lượng chất ô nhiễm cao trong môi trường không khí trong nhà được khuyến cáo là không tốt cho những người làm việc và có thời gian tiếp xúc dài với nguồn chất ô nhiễm nói trên.

Từ khóa: Ô nhiễm không khí trong nhà, tòa nhà, Hà Nội.

1. Tổng quan

Ô nhiễm không khí có tác động lớn đến các hệ sinh thái, cảnh quan và sức khỏe con người. Tuy nhiên, ô nhiễm không khí trong nhà (*indoor air pollution, IAP*) cũng có thể có những tác động tương tự, thậm chí với mức độ lớn hơn so với ô nhiễm không khí ngoài trời do thời gian tiếp xúc kéo dài. Số liệu thống kê qua các công trình nghiên cứu cho thấy con người dành phần

lớn thời gian sống trong môi trường trong nhà, với 87% thời gian sống bên trong tòa nhà khép kín và 6% trong các phương tiện đóng kín [1]. Hệ quả dẫn đến việc con người có thể gặp rủi ro nếu tiếp xúc trong thời gian dài với chất lượng không khí trong nhà (*indoor air quality, IAQ*) không được đảm bảo [1-3]. Điều 9, Điều 2, Luật phòng chống tác hại của thuốc lá có nêu rõ khái niệm “*trong nhà*” được hiểu là nơi có mái che và có một hay nhiều bức tường chắn hoặc vách

* Corresponding author.

E-mail address: leha@vnu.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4393>

ngăn xung quanh [4], nơi rất hạn chế hoặc không có điều kiện thông gió với môi trường xung quanh. Việc thông gió có thể được thực hiện chủ yếu bằng cách trao đổi không khí gián tiếp bởi các trang thiết bị nhân tạo như quạt, hệ thống thông gió cưỡng bức, thiết bị làm lạnh. Một số ví dụ về chất lượng môi trường trong nhà được lưu tâm nhà ở, văn phòng, phòng học, tòa nhà thương mại, nhà ga, tòa nhà đa mục đích, trong ô tô, xe buýt, tàu điện ngầm [2, 3, 5-12]. Có nhiều nguồn IAP, bao gồm các chất ô nhiễm phát sinh từ các nguồn có sử dụng chất đốt là dầu, khí đốt, dầu hỏa, than đá, gỗ và các sản phẩm thuốc lá, vật liệu xây dựng, đồ nội thất làm từ vật liệu gỗ ép, tấm cách ly có chứa amiăng, thảm, sản phẩm để làm sạch và bảo trì hộ gia đình, sản phẩm chăm sóc cá nhân, hệ thống sưởi ấm và làm mát trung tâm, các thiết bị làm âm; và các nguồn ô nhiễm không khí ngoài trời, thuốc trừ sâu [1-3, 5-7]. Một số chất gây ô nhiễm trong nhà đang có xu hướng gia tăng về nồng độ, bao gồm: bụi (PM), muội than (BC), SO_2 , NO_x , formaldehyde (HCHO), các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOCs), benzene, radon, nấm và vi khuẩn [1-3, 5-10, 12-14]. IAP có thể có tác động đáng kể đến sức khỏe con người bao gồm các tác động trực tiếp và cấp tính (ảnh hưởng đến mắt, mũi, dị ứng họng, nhức đầu, chóng mặt và các triệu chứng mệt mỏi khác) cũng như các tác động gián tiếp và mãn tính khác (bệnh đường hô hấp, ung thư hoặc suy nhược nghiêm trọng hoặc tử vong) [13]. Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) đã có cảnh báo với ước tính số ca tử vong hàng năm liên quan đến ô nhiễm không khí ngoài trời là 3,7 triệu người, ô nhiễm môi trường không khí trong nhà lên đến 4,3 triệu người [14]. Chất lượng không khí ở các thành phố lớn, đặc biệt ở các nước đang phát triển như Việt Nam đã và đang có nhiều biến động theo chiều hướng xấu [6]. Chất lượng không khí xung quanh ở thành phố Hà Nội có số ngày ở mức xấu có chiều hướng gia tăng thông qua chỉ số ô nhiễm không khí [15, 16]. Đây cũng là một trong những nguồn có khả năng ảnh hưởng đến IAQ thông qua các quá trình lý, hóa, sinh [2, 13]. Ở Việt Nam, một số nghiên cứu đánh giá đồng thời về mức độ ô

nhiễm không khí trong nhà và ngoài trời còn khá hạn chế về thành phần chất ô nhiễm, chủ yếu tập trung vào đơn chất như PM [8, 9, 11], BC [10], hoặc benzene (C_6H_6) [12]. Vị trí quan trắc cũng thường được tiến hành ở tiểu vùng môi trường (*microenvironment*) độc lập như nhà ở [8, 9], văn phòng [10], phương tiện giao thông [11, 12]. Vì vậy cần thêm những nghiên cứu đánh giá mang tính đa chất và đồng thời tại nhiều vị trí quan trắc khác nhau để thể hiện rõ hơn về mức độ ô nhiễm giữa các tiểu vùng môi trường trong cùng một khu vực, đặc biệt đối với những tiểu vùng môi trường là nhà ở và văn phòng làm việc, nơi con người có thời gian phơi nhiễm chiếm phần lớn. Đây là khoảng trống trong nghiên cứu khoa học ở nước ta và cần phải được các nhà quản lý, nhà khoa học và cộng đồng lưu tâm hơn nữa. Điều đó cũng được thể hiện qua hệ thống văn bản pháp lý, khi mà chúng ta đã có các quy chuẩn đối với chất lượng môi trường không khí xung quanh nhưng chưa ban hành được bộ tiêu chuẩn, quy chuẩn quy định về giới hạn nồng độ các chất ô nhiễm trong môi trường không khí trong nhà.

Trong nghiên cứu này, nồng độ của các chất ô nhiễm điển hình (PM_{10} , CO, SO_2 , NO_x) được quan trắc ở cả các khu vực bên trong và bên ngoài (không khí xung quanh) tại các tòa nhà hỗn hợp (sử dụng đa mục đích để ở, làm văn phòng, trung tâm thương mại, vui chơi giải trí, v.v.) trên địa bàn thành phố Hà Nội. Dữ liệu quan trắc được sử dụng để so sánh, đánh giá mức độ ô nhiễm của các địa điểm khác nhau và là bằng chứng cho vấn đề IAP trong các tòa nhà.

2. Thiết kế chương trình quan trắc

2.1. Lựa chọn vị trí, thời gian quan trắc

Địa điểm được lựa chọn quan trắc trên địa bàn thành phố Hà Nội, với tiêu chí là các tòa nhà hỗn hợp, được sử dụng đa mục đích như để ở, làm văn phòng, trung tâm thương mại; nghiên cứu này đã lựa chọn 3 tòa nhà, bao gồm: Royal City (72A Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội), Lotter Center (54 Liễu Giai, Ba Đình, Hà Nội), Keangnam Landmark Tower (Phạm Hùng, Nam

Từ Liêm, Hà Nội). Tại mỗi tòa nhà, vị trí được lựa chọn để quan trắc môi trường không khí xung quanh là sảnh các tòa nhà; Trong khi đó quan trắc IAP được lựa chọn tại 2 vị trí là tầng hầm để xe và trung tâm thương mại. Thời gian thực hiện chương trình quan trắc kéo dài từ đầu tháng 4/2018 đến hết tháng 5/2018. Trong khoảng thời gian này, các ngày trong tuần (thứ 2, 3) và ngày cuối tuần (thứ 7) được lựa chọn để quan trắc. Để đảm bảo các thiết bị hoạt động tốt, chương trình quan trắc được thiết kế kéo dài từ khi khởi động (vào lúc 7h hàng ngày) cho đến khi kết thúc (vào khoảng 9h hàng ngày).

2.2. Thiết bị quan trắc

Các thông số ô nhiễm không khí trong nghiên cứu này được lựa chọn để quan trắc bao gồm: PM₁₀, CO, SO₂, NO_x. Hàm lượng bụi PM₁₀ được quan trắc bằng thiết bị đo bụi GRIMM 107-G (*Grimm Technologies, Inc., Douglasville, GA, USA*); Các khí CO, SO₂, NO_x được ghi nhận bằng thiết bị đo khí độc đa chỉ tiêu MSA ALTAIR®5X. Các thiết bị quan trắc được đặt trên các chân giá đỡ, có độ cao 1 - 1,5m so với bề mặt đất.

2.3. Ký hiệu mẫu

Để thuận tiện cho quá trình lưu trữ số liệu và trình bày, các mẫu được ký hiệu lần lượt với chữ cái đầu thể hiện tên tòa nhà (**R**: Royal City; **L**: Lotter Center; **K**: Kangnam Landmark Tower); Chữ cái thứ 2 thể hiện vị trí quan trắc: **A** (khu vực bên ngoài, xung quanh - *Ambient air*); **B** (khu vực hầm gửi xe - *Basement*); **C** (khu vực Trung tâm thương mại - *Commercial center*); và ký hiệu số cuối cùng **n** (với $n = 1 - 24$) thể hiện thứ tự mẫu được quan trắc; Ví dụ: **RA₁₀**: mẫu được quan trắc tại khu tổ hợp Royal City, môi trường không khí xung quanh, mẫu số 10.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Đánh giá phân bố nồng độ chất ô nhiễm theo không gian các tiểu vùng môi trường

Sự phân bố nồng độ các chất ô nhiễm không khí tại 3 vị trí quan trắc (không khí xung quanh,

tầng hầm, trung tâm thương mại) của 3 tòa nhà hỗn hợp tại thành phố Hà Nội được liệt kê theo Bảng 1. Quy chuẩn kỹ thuật với môi trường không khí xung quanh, PM₁₀ không có giá trị quy chuẩn trong khoảng thời gian 1h để đánh giá. Nồng độ SO₂, NO_x, CO cũng chưa vượt quá giá trị QCVN trung bình 1h trong môi trường không khí xung quanh, với giá trị giới hạn lần lượt là 350 µg/m³, 200 µg/m³ và 30.000 µg/m³ [17]. Trong khi đó, chưa có khuyến cáo hay quy định cụ thể nào đối với nồng độ các chất ô nhiễm trong chất lượng không khí trong nhà, do vậy chỉ có thể so sánh mức độ ô nhiễm của các thông số trong các tiểu vùng môi trường khác nhau (trong nhà và ngoài trời) trong trường hợp ở Việt Nam.

Hình 1 trình bày diễn biến nồng độ chất ô nhiễm có xu hướng biến đổi theo không gian. Xu thế chung cho thấy nồng độ các chất ô nhiễm ở mức cao nhất trong tầng hầm, thấp nhất tại các trung tâm thương mại. Giá trị độ lệch chuẩn (Bảng 1) đối với các chất ô nhiễm trong môi trường trung tâm thương mại là nhỏ nhất khi so sánh với các tiểu vùng còn lại, điều đó chứng tỏ khả năng phân bố đều và ít biến động. Một phần do nguồn phát sinh không nhiều, các trung tâm thương mại được vệ sinh sạch sẽ, không tiếp xúc và trao đổi nhiều với môi trường bên ngoài [1-3, 5]. Đối với bụi PM₁₀, hàm lượng bụi trong tầng hầm cao hơn hàm lượng bụi PM₁₀ tương ứng trong không khí xung quanh hoặc trong trung tâm thương mại. Hàm lượng bụi PM₁₀ trong tầng hầm để xe KB_n là lớn nhất ($67,1 \pm 21,2$ µg/m³). Tỷ lệ hàm lượng bụi PM₁₀ trong tầng hầm so với xung quanh và trung tâm thương mại tại các tòa sự giao động, cụ thể: RB_n/RA_n (0,7 - 3,2); RB_n/RC_n (1,3 - 2,5); LB_n/LA_n (0,4 - 1,5); LB_n/LC_n (11,7 - 41,6); KB_n/KA_n (1,7 - 6,8); KB_n/KC_n (1,0 - 6,1). Các tỷ lệ đó cho thấy hàm lượng bụi PM₁₀ trong không khí trong nhà là đáng quan ngại bởi hàm lượng lớn hơn trong không khí xung quanh, hơn nữa con người lại sinh sống và làm việc phần lớn (trên 80%) tổng thời gian trong tiểu vùng môi trường trong nhà [1]. Điều này dẫn đến mức độ phơi nhiễm tăng lên đáng kể [3, 6, 7, 13, 14].

Nồng độ SO₂, NO_x và CO tại tầng hầm đều cao hơn các vị trí còn lại của tòa nhà tương ứng.

Đây là những chất ô nhiễm phát thải từ các phương tiện cơ giới, có liên quan đến hoạt động giao thông vận tải [2, 15, 16]. Trong khi đó các tầng hầm làm nơi để xe của các tòa nhà hỗn hợp thường có khuôn viên đóng kín, không có hệ thống thông gió hoặc hệ thống đó làm việc không hiệu quả và là nguyên nhân tích hợp để các chất ô nhiễm khó khuếch tán, tạo điều kiện tích lũy trong môi trường. Trong phạm vi chất lượng không khí xung quanh, nồng độ các chất ô nhiễm SO_2 , NO_x , CO có xu hướng cao nhất ở các vị trí KA_n , tiếp đến là LA_n thấp nhất tại RA_n (Hình 2). Có thể thấy các khu vực quan trắc tại KA_n và LA_n thì hoạt động giao thông vận tải rất gần, bao quanh sảnh và khu vực sân. Tuy nhiên đối với PM_{10} , chất ô nhiễm không khí không chỉ phát sinh từ giao thông mà có ảnh hưởng lớn từ các hoạt động khác mà ở Hà Nội thì rõ ràng nhất là nguồn xây dựng [15, 16]. Với các mẫu quan trắc tại RA_n , PM_{10} tại đây có hàm lượng lớn nhất. Vị trí này nằm trên địa bàn quận Thanh Xuân, đây là khu vực đã và đang diễn ra nhiều hoạt động của các ngành công nghiệp, giao thông vận tải và xây dựng đô thị. Chất lượng không khí tại tầng hầm của các tòa nhà đều ở mức cao hơn hẳn so với nồng độ chất ô nhiễm tương ứng tại các tiểu vùng môi trường khác của khuôn viên tòa nhà.

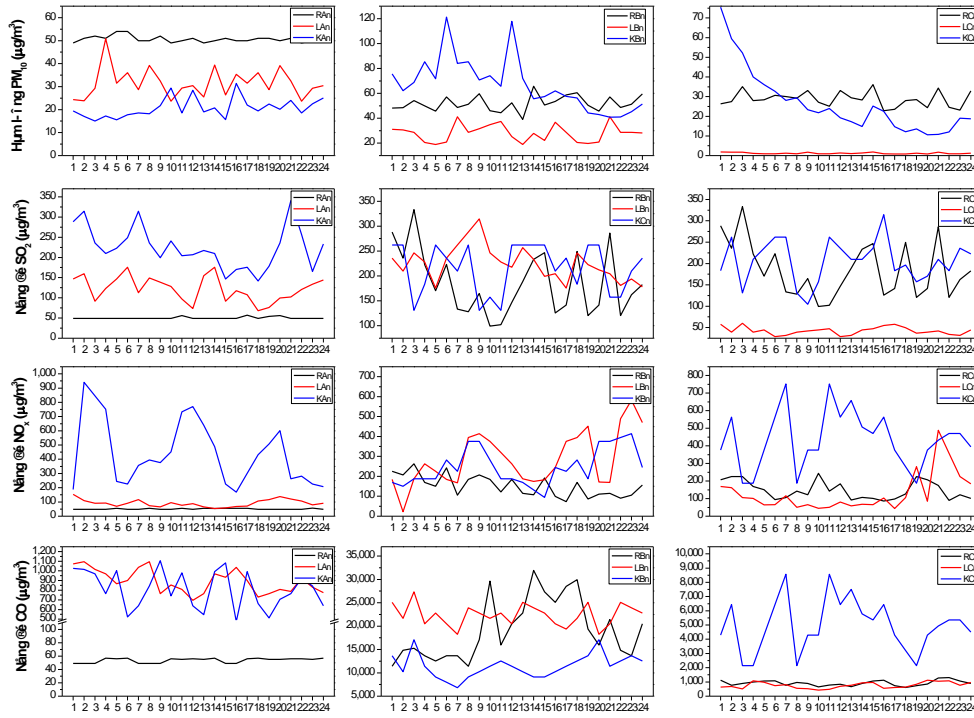
3.2. Đánh giá phân bố nồng độ chất ô nhiễm theo thời gian tuần

Để đánh giá hoạt động sinh hoạt cộng đồng, làm việc, mua sắm, vui chơi giải trí đối với nồng độ chất ô nhiễm tại các tiểu vùng môi trường xung quanh, tầng hầm để xe và trung tâm thương mại; Hình 2 được mô tả số liệu dạng so sánh ngày trong tuần ($n=16$) và ngày cuối tuần ($n=8$). Qua đó cho thấy nồng độ chất ô nhiễm thể hiện cao tại khu vực tầng hầm, nơi để xe trong khu vực kín gió. Nồng độ chất ô nhiễm có xu hướng cao ở ngày cuối tuần so với trong tuần ở khu vực xung quanh và tầng hầm. Tuy nhiên, tại trung tâm thương mại thì nồng độ chất ô nhiễm tại các tòa nhà đều cho thấy ngày cuối tuần thấp hơn ngày trong tuần. Lý do có thể do tại thời điểm đo đạc, thường từ 7h-9h thì ngày trong tuần đúng vào thời gian cao điểm của mọi hoạt động sử dụng phương tiện giao thông [18, 19], do đó nồng độ chất ô nhiễm tăng cao ở khu vực xung quanh và tầng hầm. Tuy nhiên hoạt động vui chơi, giải trí, văn phòng ở các tòa nhà hỗn hợp này có xu hướng giảm vào khung giờ đó (nghĩa là có thể diễn ra muộn hơn) vào những ngày cuối tuần. Đó cũng là lý do làm nồng độ chất ô nhiễm tại các khu vực trung tâm thương mại có phần giảm xuống.

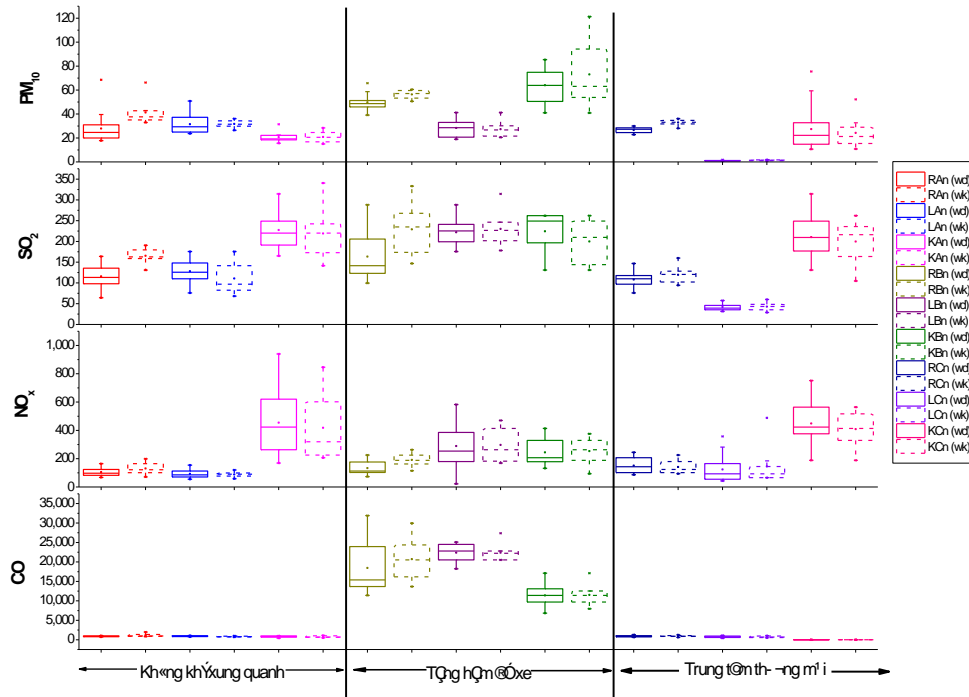
Bảng 1. Phân bố nồng độ chất ô nhiễm tại các tòa nhà hỗn hợp trên địa bàn thành phố Hà Nội (đơn vị: $\mu g/m^3$)

Tòa nhà, vị trí đo đạc	n	PM_{10}	SO_2	NO_x	CO	
Royal City	RA_n	24	$32,3 \pm 13,4$	$132,4 \pm 33,5$	$113,5 \pm 35,0$	$986,7 \pm 291,2$
	RB_n	24	$52,0 \pm 6,2$	$185,3 \pm 64,9$	$152,7 \pm 53,6$	$1.9210 \pm 6.468,4$
	RC_n	24	$28,7 \pm 3,9$	$112,0 \pm 19,5$	$147,7 \pm 52$	$918,6 \pm 189,9$
Lotter Center	LA_n	24	$31,6 \pm 6,4$	$122,3 \pm 31,1$	$91,6 \pm 25,4$	$891,6 \pm 122,4$
	LB_n	24	$28,0 \pm 6,9$	$224,8 \pm 34,9$	$287,3 \pm 136,3$	$22.372,5 \pm 2.324,5$
	LC_n	24	$1,2 \pm 0,4$	$42,4 \pm 9,2$	$131,0 \pm 110$	$767,1 \pm 213,6$
Keangnam Landmark Tower	KA_n	24	$20,8 \pm 4,3$	$224,7 \pm 51,9$	$442,6 \pm 231,8$	$805,1 \pm 2.03,4$
	KB_n	24	$67,1 \pm 21,2$	$216,2 \pm 49,6$	$247,5 \pm 93,2$	$11.447,5 \pm 2.503,9$
	KC_n	24	$26,4 \pm 16,3$	$206,9 \pm 49,9$	$435,5 \pm 163,7$	$4.965,1 \pm 1865,9$

Ghi chú: Số liệu được trình bày dạng: Giá trị trung bình \pm Độ lệch chuẩn.



Hình 1. Phân bố nồng độ chất ô nhiễm tại các vị trí quan trắc khác nhau ở các tòa nhà hỗn hợp được chọn lựa quan trắc trên địa bàn thành phố Hà Nội.



Hình 2. So sánh phân bố nồng độ chất ô nhiễm theo ngày trong tuần - cuối tuần tại các vị trí quan trắc khác nhau ở các tòa nhà hỗn hợp trên địa bàn thành phố Hà Nội.

Kết luận

Kết quả nghiên cứu này đã bước đầu xác định được sự phân bố nồng độ các chất ô nhiễm (PM₁₀, CO, SO₂, NO_x) trong các phạm vi tiểu vùng môi trường không khí xung quanh, tầng hầm để xe và trung tâm thương mại tại các tòa nhà hỗn hợp đa chức năng trên địa bàn thành phố Hà Nội. Nồng độ chất ô nhiễm có xu hướng tăng cao và tích lũy lâu dài trong các khuôn viên đóng kín, có chế độ thông gió kém như tại các tầng hầm để xe. Nồng độ chất ô nhiễm tại các khu vực trong nhà có xu thế cao hơn nồng độ chất ô nhiễm tương ứng ở khu vực ngoài trời. Xét theo sự phân bố chất ô nhiễm theo thời gian thì xu thế đặc trưng là chất ô nhiễm những ngày trong tuần (ngày làm việc) có mức độ cao hơn những ngày nghỉ cuối tuần. Đây cũng là nghiên cứu bước đầu cho những nghiên cứu tiếp theo nhằm đánh giá mức độ ô nhiễm không khí trong nhà và mức độ phơi nhiễm của những người làm việc trong các điều kiện tiếp xúc mức độ chất ô nhiễm khác nhau. Bài báo cũng là kết quả nghiên cứu bổ sung cho những nghiên cứu cần được mở rộng về vấn đề ô nhiễm không khí và sức khỏe cộng đồng, một vấn đề môi trường đô thị được các nhà khoa học trên thế giới rất quan tâm.

Lời cảm ơn

Kết quả được trình bày ở bài báo này là một phần nội dung, nhiệm vụ của dự án “*Assessment of Indoor - Outdoor Air Pollution Relationship in Complex Buildings in Hanoi, Vietnam*”, thuộc chương trình KIST School Partnership Project, được tài trợ kinh phí bởi Viện Khoa học và Công nghệ Hàn Quốc (Korea Institute of Science and Technology - KIST) cho Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (Đại học Quốc gia Hà Nội), do TS. Hoàng Anh Lê chủ trì.

Tài liệu tham khảo

- [1] N.E. Klepeis, W.C. Nelson, W.R. Ott, J.P. Robinson, A.M. Tsang, S. Paul, J.V. Behar, S.C. Hern, W.H. Engelmann, National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants, *J. Expo. Anal. Env. Epid.* 11 (2001) 231-252. <https://doi.org/10.1038/sj.jea.7500165>.
- [2] S. Lee, M. Chang, Indoor and outdoor air quality investigation at schools in Hong Kong, *Chemosphere* 41 (2000) 109-113. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00396-3](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00396-3).
- [3] J.M. Samet, M.C. Marbury, J.D. Spengler, Health effects and sources of indoor air pollution (Part I), *Am. Rev. Respir. Dis.* 136 (1987) 1486-1508. <https://doi.org/10.1164/ajrccm/136.6.1486>.
- [4] Quốc hội nước CHXHCNVN, Luật số 09/2012/QH13: Luật phòng, chống tác hại của thuốc lá, 2013.
- [5] H. Richard, E. Richard, H. Tim, School indoor air quality best management practices manual, Washington State Department of Health, Olympia, Washington, 1995.
- [6] K.R. Smith, S. Mehta, The burden of disease from indoor air pollution in developing countries: comparison of estimates, WHO/USAID Global Technical Consultation. University of California Berkeley, CA 94720-7360 (2000). <https://doi.org/10.1078/1438-4639-00224>.
- [7] K.R. Smith, J.M. Samet, I. Romieu, N. Bruce, Indoor air pollution in developing countries and acute lower respiratory infections in children, *Thorax* 55 (2000) 518-532. <https://doi.org/10.1136/thorax.55.6.518>.
- [8] T.N. Quang, N.T. Hue, P. Thai, M. Mazaheri, L. Morawska, Exploratory assessment of indoor and outdoor particle number concentrations in Hanoi households, *Sci. Total Environ.* 599 (2017) 284-290. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.154>.
- [9] L.K. Tran, T.N. Quang, N.T. Hue, L. Morawska, M. Nieuwenhuijsen, P.K. Thai, Exploratory assessment of outdoor and indoor airborne black carbon in different locations of Hanoi, Vietnam, *Sci. Total Environ.* 642 (2018) 1233-1241. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.146>.
- [10] L.B. Thuy, N.T.T. Hien, N.M. Thang, M. Matsui, L.T.P. Trang, N.T. Dung, Levels of selected indoor air pollutants in three Hanoi offices, *Vietnam Journal of Science and Technology* 56 (2018) 148-156.
- [11] S. Saksena, T.N. Quang, T. Nguyen, P.N. Dang, P. Flachsbar, Commuters' exposure to particulate matter and carbon monoxide in Hanoi, Vietnam, *Transport. Res. D: Tr. E.* 13 (2008) 206-211. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.02.001>.

- [12] T.T.N. Lan, N.Q. Liem, N.T.T. Binh, Personal exposure to benzene of selected population groups and impact of commuting modes in Ho Chi Minh, Vietnam, *Environ. Pollut.* 175 (2013) 56-63. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.12.017>.
- [13] US EPA, An introduction to indoor air quality, United States Environmental Protection Agency (US EPA) (2014) United States.
- [14] WHO, Burden of disease from household air pollution for 2012, Switzerland, 2014.
- [15] MONRE, Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia giai đoạn 2011 - 2015, Bộ Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội, 2015.
- [16] MONRE, Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia năm 2013: Môi trường Không khí, Bộ Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội, 2013.
- [17] MONRE, QCVN 05: 2013/BTNMT: Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về chất lượng không khí xung quanh, 2013.
- [18] H.A. Le, D.T. Xuan, Study on Personal Exposure to Black Carbon While using Different Modes of Transport in Truong Chinh Street, Hanoi, *VNU Journal of Science: Natural Sciences and Technology* 31 (2015) 179-185.
- [19] N.H. Phuc, N.T.K. Oanh, Determining factors for levels of volatile organic compounds measured in different microenvironments of a heavy traffic urban area, *Sci. Total Environ.* 627 (2018) 290-303. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.216>.