

## THÀNH PHẦN VÀ SỰ PHÁT THẢI PAHs TRONG BỤI KHÍ THẢI VÀ TRO THẢI TỪ MỘT SỐ LÒ ĐỐT KHU VỰC PHÍA BẮC VIỆT NAM

Đến tòa soạn: 12-12-2022

Nguyễn Thị Huệ<sup>1,2\*</sup>, Phạm Quốc Việt<sup>1</sup>, Chu Việt Hải<sup>1</sup>, Hoàng Nam<sup>1</sup>,  
Vũ Văn Tú<sup>1</sup>, Phạm Hải Long<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Phương Mai<sup>3</sup>

1. Viện Công nghệ môi trường, Viện Hàn lâm KHCNVN (VAST),

Nhà A30, số 18-Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội

2. Học viện Khoa học và Công nghệ, VAST, Nhà A28, số 18-Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội

3. Khoa Môi trường, Trường ĐHKHTN, 344-Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội

Email: nthue2003@gmail.com

### SUMMARY

#### COMPOSITION AND EMISSION OF PAHs IN PM10 DUST AND WASTE ASH FROM SOME INCINERATORS IN THE NORTH OF VIETNAM

*This study focuses on the determining the total content, composition and emission coefficient of PAHs in PM10 dust, fly ash (FA) and bottom ash (BA) of some domestic and industrial waste incinerators in the northern region of Vietnam. Samples were taken according to TCVN 9466:2012. The content of PAHs was analyzed using GC-MS Agilent 8890 according to the EPA 8270 method. The study results showed that the average total content of 18 PAHs compounds (referred to as  $\Sigma 18$ PAHs) in PM10 dust, FA and BA was  $9.95 \times 10^3$  ng/Nm<sup>3</sup>,  $215 \times 10^3$  ng/g, and  $2.38 \times 10^3$  ng/g, respectively. Naphthalene is most abundant in PM10 dust, accounting for 60% of  $\Sigma 18$ PAHs, while Phenanthrene, Anthracene and Fluoranthene and Pyrene are mainly present in FA and BA, accounting for 10 - 40% of  $\Sigma 18$ PAHs. The average emission factors of  $\Sigma 18$  PAHs in PM10, FA and BA were  $55.6 \times 10^3$   $\mu$ g/ton and  $291 \times 10^3$   $\mu$ g/ton, respectively. The average emission factor of  $\Sigma 18$  PAHs increases in the order of PM10 > BA > FA.*

*The results of this preliminary study have shown the pollution properties of PAHs emitted from flue gas dust and waste ash from domestic and industrial incinerators. Therefore, it is necessary to take measures to reduce emissions of these compounds during combustion, reduce substances derived from organic waste, and control the combustion temperature of the incinerator.*

**Keywords:**  $\Sigma 18$ PAHs, waste ash, fly ash, PM10 dust, incinerator.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trước áp lực tác động đến môi trường từ các hoạt động phát triển kinh tế - xã hội, quá trình đô thị hóa, phát triển dân số dẫn đến phát sinh nhiều chất thải trong đó chất thải rắn sinh hoạt và chất thải công nghiệp ngày càng tăng, cần thiết phải có biện pháp quản lý và xử lý chúng phù hợp với điều kiện Việt Nam. Từ năm 2000 đến nay, đã có nhiều phương pháp, công nghệ

xử lý CTR được áp dụng tại Việt Nam, như chôn lấp, đốt và ủ phân compost. Trong số các kỹ thuật hiện đang được sử dụng ở các nước đang phát triển như Việt Nam, đốt rác được ưa chuộng hơn do những ưu điểm của nó so với chôn lấp, chiếm ít diện tích, thời gian ngắn hơn và quy trình xử lý nhanh hơn. Tuy nhiên, các lò đốt chất thải (loại đô thị, công nghiệp và y tế) giải phóng nhiều loại chất gây ô nhiễm dựa

trên thành phần chất thải và trở thành mối đe dọa nghiêm trọng đối với sức khỏe con người và môi trường. Một số nghiên cứu đã cho thấy nhiều chất ô nhiễm hữu cơ độc hại đã được thải ra môi trường từ khí thải, hạt vật chất, tro bay và tro đáy [1,2], trong đó, PAHs là một nhóm các chất ô nhiễm hữu cơ có độc tính cao, tồn tại trong môi trường lâu và có khả năng gây ung thư cao, gây đột biến và gây độc miễn dịch đã được nghiên cứu về tác động của chúng đối với sức khỏe con người và cả môi trường [3]. Một số nghiên cứu trên thế giới cho thấy, mẫu tro đáy trong lò sử dụng công nghệ tầng sôi (fluidized bed incinerator - FBI) và nung (fire grate incinerator - FGI) có hàm lượng PAHs dao động từ 2,22 - 6,88 mg/kg [4], trong mẫu tro bay của lò đốt chất thải sinh hoạt (11,8 - 250,4 µg/g) nhiều hơn trong tro đáy (0,85 - 9,19 µg/g) [5], PAHs có số vòng từ 2 - 4 chiếm tỷ lệ cao trong mẫu tro thải [6]. Đây là nhóm PAHs được chú ý nhiều hơn về nguồn gốc cũng như tác động của chúng đối với sức khỏe con người và cả môi trường [7]. Hệ số phát thải của 16 PAHs giảm theo thứ tự trong các pha là khí > tro đáy > hạt > hạt mịn, các nhà nghiên cứu cũng đã phát hiện ra lò FBI gây phát thải PAHs nhiều hơn so với lò FGI [10]. PAHs trong mẫu tro bay lò FGI thấp hơn so với các mẫu tro trong lò FBI [8]. Đối với lò đốt sinh khối, thành phần PAHs trong mẫu tro thải bị ảnh hưởng bởi thành phần nguyên liệu đầu vào và điều kiện vận hành thiết bị, hàm lượng PAHs trong mẫu tro đáy và tro bay từ lò đốt sinh khối có hàm lượng dao động từ 0,04 - 53,8 µg/g dw, hàm lượng PAH trong tro bay cao hơn tro đáy, các PAH trọng lượng phân tử thấp tồn tại chủ yếu trong mẫu tro. Ảnh hưởng của nguyên liệu đầu vào từ các lò đốt sinh khối khác nhau (đốt dừa, gỗ) cho thấy, tổng hàm lượng PAHs trong mẫu tro từ lò đốt gỗ (193 mg/kg) cao hơn so với các lò đốt khác (0,19 - 12,3 mg/kg). PAHs vòng 2 và 3 chiếm tỉ lệ cao hơn so với vòng khác trong mẫu tro bay, ngược lại PAHs vòng 4 trở lên chiếm tỉ lệ cao trong mẫu tro đáy [9].

Ở Việt Nam, một số nghiên cứu về sự xuất hiện, độc tính và phân bố của PAHs trong môi

trường bắt đầu từ cuối những năm 1990, nhưng chúng thực sự được quan tâm trong khoảng 10 năm trở lại đây [10,11]. Đánh giá về tỉ lệ phát thải PAHs trong bụi khí thải từ quá trình đốt giẻ lau nhiễm dầu thải trong buồng đốt thứ cấp và sơ cấp, nghiên cứu [12] đã chỉ ra rằng, tỷ lệ phát thải PAHs là tỉ lệ nghịch với buồng đốt. Hàm lượng PAHs trong tro xỉ đáy lò đốt rác phát điện có hàm lượng từ 140 µg/Kg - 77000 µg/Kg, đặc biệt Naphtalen, Phenantrenm Floanten và Pyren có mặt trong tất cả mẫu tro đáy [13], mặc dù giá trị này thấp hơn so với tiêu chuẩn cho phép, nhưng vẫn tương đối cao so với lò đốt rác ở Trung Quốc. Tuy nhiên, các nghiên cứu trên chưa cho thấy thông tin về sự phát sinh PAHs từ các nguồn chất thải cũng như thành phần của PAHs, mối tương quan về PAHs trong bụi thải, tro bay và tro đáy. Chính vì vậy, nội dung bài báo này sẽ tập trung vào xác định thành phần và sự phát thải PAHs trong một số nguồn chất thải (tro thải, xỉ thải, tro bay, bụi PM10) của lò đốt ở 7 tỉnh phía Bắc Việt Nam (Hà Nội, Bắc Ninh, Bắc Giang, Hải Dương, Hải Phòng, Vĩnh Phúc và Hòa Bình) để biết được khả năng phát thải 18 PAHs ra môi trường.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Các mẫu bụi PM10, mẫu tro thải (tro bay - fly ash, FA và tro đáy - bottom ash, BA) được lấy mẫu cùng nhau để đánh giá sự phân bố sau khi đốt. Hệ số phát thải (EF) của PAHs trong bụi khí thải được tính theo công thức sau [14].

$$EF (mg/tấn) = \frac{C_{\text{bụi khí}} (mg/Nm^3) \times \text{tốc độ khí} (Nm^3/h)}{m_{\text{chất thải đem đốt}} (tấn/h)}$$

Trong đó:

EF : hệ số phát thải PAHs (mg/tấn); C : nồng độ PAHs trong bụi khí thải (mg/Nm<sup>3</sup>); m: khối lượng chất thải đem đốt (tấn/h)

### 2.1. Thu thập mẫu

Tro thải được thu gom từ túi lọc bụi và xỉ của các lò đốt. Khối lượng tro và xỉ thải thu thập từ mỗi lò đốt là 200 gam - 500 gam. Quá trình đốt được xảy ra qua 2 giai đoạn, đốt tại buồng sơ cấp ở nhiệt độ từ 700°C - 950°C, buồng đốt thứ cấp khoảng 1000°C-1500°C. Công suất đốt của các lò là 1000kg/h. Quá trình đập bụi, khí bằng cách lọc bụi tĩnh điện hay bằng hơi nước.

Nguyên liệu chủ yếu là giẻ lau, nilon, vải, giấy, cao su dính dầu, vỏ hộp sơn, nhựa, hộp hóa chất, bao bì, xốp, có cả chất thải nguy hại và lẫn chất thải sinh hoạt. Mẫu được lấy vào quý 3 và quý 4 năm 2021. Lấy mẫu theo TCVN 9466:2012, khối lượng mẫu lấy giống nhau trong từng đối tượng mẫu và sau xử lý mẫu được phân tích trên thiết bị GC-MS Agilent 8890 theo EPA 8270. Thiết bị lấy mẫu đảm bảo theo yêu cầu của VIMCERT/BTNMT (thông tư 24). Địa điểm lấy mẫu và kí hiệu mẫu được liệt kê trong bảng 1.

Bảng 1. Địa điểm lấy mẫu và kí hiệu mẫu

STT	Địa điểm lấy mẫu	Kí hiệu các mẫu đã lấy
1	Hà Nội (HN)	HN-M-PM10 HN-M-FA HN-M-BA
2	Hải Dương (HD)	HD-M-PM10 HD-M-BA
3	Hải Phòng (HP)	HP-M-BA HP-M-FA HP-M-PM10
4	Bắc Ninh (BN)	BN-I-PM10 BN-I-BA
5	Bắc Giang (BG)	BG-M-PM10 BG-M-BA BG-I-PM10
6	Vĩnh Phúc (VP)	VP-I-BA VP-I-FA
7	Hòa Bình (HB)	HB-I-BA

Trong đó:

*M*: Rác thải sinh hoạt; *I*: Rác thải công nghiệp; *BA*: Mẫu tro đáy; *FA*: mẫu tro bay; *PM*= bụi khí thải,

## 2.2. Hóa chất và thiết bị

Để kiểm soát chất lượng của quá trình phân tích, chất đồng hành luôn được thêm vào từng mẫu trước khi mẫu được chuẩn bị. Mẫu trắng, mẫu lặp và mẫu thu hồi (thêm chuẩn PAHs) luôn được thực hiện trong mỗi mẻ mẫu. Dung dịch chuẩn gốc, chuẩn đồng hành và nội chuẩn là được cung cấp bởi hãng Accustandard, Mỹ.

Các hóa chất khác như: dung môi diclometan (DCM), n-hexan, axeton và xyclohexan của hãng Merck, Đức. NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> khan và silicagel 100/200 mesh chất lượng phân tích (PA) được dùng trong quá trình làm sạch mẫu. Dung dịch chuẩn gốc PAHs là M- 8270 -13 - ASL (method 8270B - PAH mix) nồng độ 10 ppm được cung cấp bởi hãng Accustandard, Mỹ với 18 chất gồm naphthalene (Nap), acenaphthylen (Acy), acenaphthen (Ace), fluoren (Flu), phenanthren (Phe), anthracen (Ant), fluoranthen (Flt), pyren (Pyr), benzo[a]anthracen (BaA), chrysen (Chr), benzo[b]fluoranthen (BbF), benzo[k]fluoranthen (BkF), benzo[a]pyren (BaP), indeno[1,2,3-cd]pyren (IP), dibenz[a,h]anthracen (DA), benzo[ghi]perylene (BP), 1-Me-Nap và 2-Me-Nap. Dung dịch chuẩn đồng hành M - 8270 - SS - R (method 8270 - surrogate standard) có nồng độ p-terphenyl d14 là 10ppm dùng để kiểm soát sự mất mát của từng mẫu và dung dịch nội chuẩn (IS) là ASM-182 (semi volatile internal standards) có nồng độ 10 ppm.

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Hàm lượng PAHs trong mẫu tro thải tại 7 lò đốt ở một số tỉnh thuộc miền bắc Việt Nam

Hàm lượng PAHs trong bụi PM10, FA và BA của MSWI và IWI được trình bày trong Hình 1, tổng nồng độ trung bình của 18 hợp chất PAHs (gọi là  $\Sigma 18\text{PAHs}$ ) trong bụi PM10, FA và BA tương ứng là  $9,95 \times 10^3 \text{ ng/Nm}^3$ ,  $215 \times 10^3 \text{ ng/g}$  và  $2,38 \times 10^3 \text{ ng/g}$ . So sánh  $\Sigma 18\text{PAHs}$  với 3 thông số PM10, BA và FA cho thấy,  $\Sigma 18\text{PAHs}$  của FA cao hơn nhiều so với BA, nó cũng thể hiện xu hướng tương tự (FA > BA > PM10) với các nghiên cứu khác trước đó [15,16]. Nồng độ trung bình của  $\Sigma 18\text{PAHs}$  trong PM10 và FA của lò đốt MSWI cao hơn khoảng 6 lần so với  $\Sigma 18\text{PAHs}$  trong lò đốt IWI.

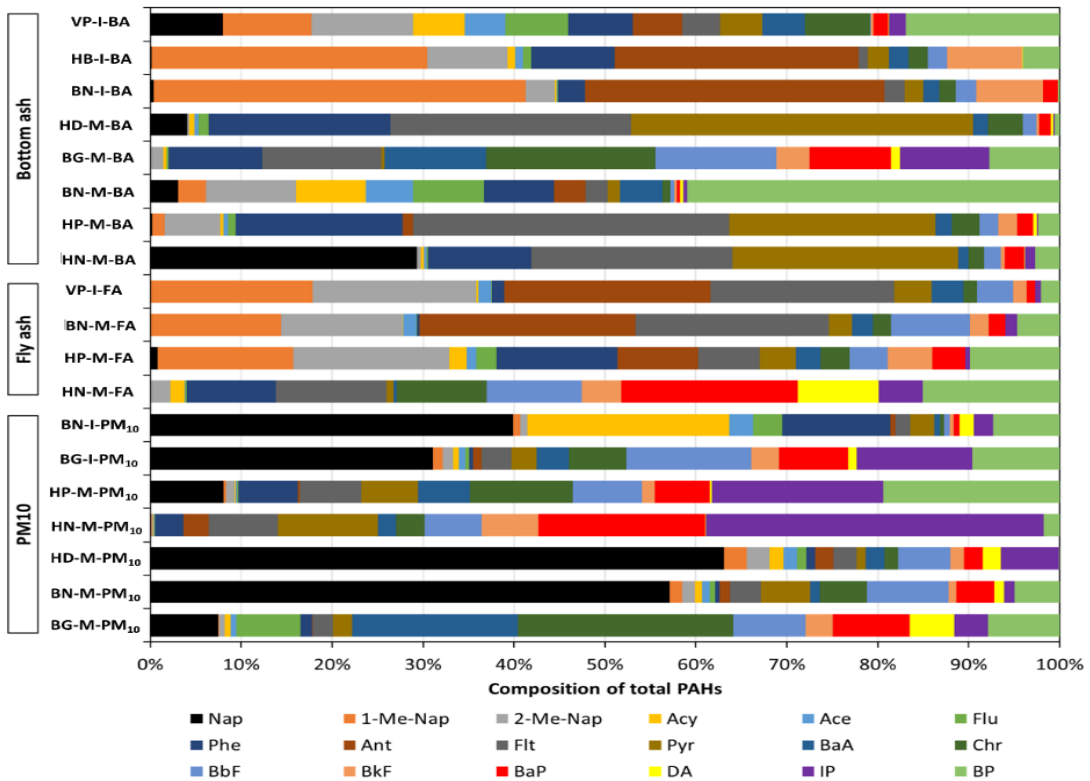
### 3.2. Tỷ lệ thành phần PAHs trong mẫu tại các khu vực đã nghiên cứu

Kết quả từ tỷ lệ thành phần PAHs trong các mẫu khác nhau cho thấy, Nap cao nhất trong bụi PM10 ở hầu hết các mẫu đã thu thập được, cao nhất là mẫu thuộc lò đốt MSWI tỉnh Bắc Ninh và Hải Dương, ngay cả trong lò đốt IWI tỉnh Bắc Giang, Bắc Ninh và Hà Nội thì PM10 vẫn chiếm ưu thế. 1-Me-Nap có trong các mẫu FB thuộc các tỉnh Bắc Ninh, Hòa Bình và Vĩnh Phúc chiếm tỷ lệ % nhiều hơn các thành phần khác. Tỷ lệ của Nap trong bụi của khí thải rất cao, lên tới 60% so với % tổng hàm lượng 18PAHs. Điều này cũng rất phù hợp với nghiên cứu gần đây của Vu-Duc và cộng sự (2021)[17] khi đánh giá hàm lượng  $\Sigma$ 18PAHs ở dạng hạt trong không khí. Phe, Ant, Flt và Pyr là những chất tương đồng chủ yếu trong FA và FB. Những chất này chiếm từ 10 - 40% tổng số PAHs có trong tro. Từ các kết quả

nghiên cứu này có thể thấy nguyên nhân PAHs có trong bụi với tỷ lệ khá cao có thể có từ nguồn đốt cháy nhiều hơn là tự nhiên.

### 3.3. Tính toán hệ số phát thải PAHs

Hệ số phát thải trung bình (EF) của các lò đốt chất thải được trình bày trong Bảng 2. Việc tính toán hệ số phát thải và lượng phát thải đối với PAH được áp dụng tương tự như các nghiên cứu trước [18], áp dụng biểu thức như phần thực nghiệm đã đề cập. Hệ số EF của  $\Sigma$ 18PAHs trong PM10, FA và FB lần lượt là  $55,6 \times 10^3 \mu\text{g}/\text{tấn}$ ,  $391 \times 10^3 \mu\text{g}/\text{tấn}$  và  $291 \times 10^3 \mu\text{g}/\text{tấn}$ . EF của  $\Sigma$ 18 PAHs tăng theo thứ tự là PM10, FB và FA. Trong số 18 hợp chất PAHs đã nghiên cứu thì EF của IP, BP trong BA và bụi là cao nhất và BkF trong BA, BbF trong FA là cao nhất. Chính vì thế cần có các biện pháp giảm phát thải các hợp chất này trong quá trình đốt.



Hình 1. Thành phần PAHs trong bụi PM10, FA và BA của các mẫu đã được lấy

Bảng 2. Hệ số phát thải trung bình (EF) của PAHs trong bụi PM<sub>10</sub>, tro bay và tro đáy

Thành phần PAH	Hệ số phát thải trung bình (µg/tấn)		
	PM <sub>10</sub>	FA	BA
Nap	$5,07 \times 10^3$	KPH	$28,4 \times 10^3$
1-Me-Nap	KPH	17.3	$65,0 \times 10^3$
2-Me-Nap	282	94.6	$10,4 \times 10^3$
Acy	838	54.6	$2,86 \times 10^3$
Ace	192	13.9	$2,10 \times 10^3$
Flu	$1,30 \times 10^3$	60.3	$2,95 \times 10^3$
Phe	$2,29 \times 10^3$	$3,40 \times 10^3$	$20,0 \times 10^3$
Ant	387	21.7	$51,7 \times 10^3$
Flt	$2,88 \times 10^3$	$4,22 \times 10^3$	$26,7 \times 10^3$
Pyr	$3,26 \times 10^3$	261	$28,2 \times 10^3$
BaA	$4,50 \times 10^3$	145	$6,64 \times 10^3$
Chr	$6,78 \times 10^3$	$3,42 \times 10^3$	$8,85 \times 10^3$
BbF	$3,99 \times 10^3$	$361 \times 10^3$	$6,43 \times 10^3$
BkF	$1,70 \times 10^3$	$1,50 \times 10^3$	$12,3 \times 10^3$
BaP	$5,29 \times 10^3$	$6,72 \times 10^3$	$5,63 \times 10^3$
DA	882	$3,07 \times 10^3$	164
IP	$9,66 \times 10^3$	$1,68 \times 10^3$	$2,59 \times 10^3$
BP	$5,70 \times 10^3$	$5,22 \times 10^3$	$10,3 \times 10^3$
<b>Tổng</b>	<b><math>55,6 \times 10^3</math></b>	<b><math>391 \times 10^3</math></b>	<b><math>291 \times 10^3</math></b>

#### 4. KẾT LUẬN

Phát thải PAHs trong quá trình đốt chất thải từ các lò đốt chất thải rắn đô thị và công nghiệp đã được nghiên cứu trong bài báo này. Bụi PM<sub>10</sub> có trong tất cả các mẫu khí thải, tro bay và tro đáy được thu thập từ các lò đốt chất thải rắn đô thị và công nghiệp thuộc 7 tỉnh ở phía bắc Việt Nam. PAHs trong bụi PM<sub>10</sub> và tro bay được tạo ra từ quá trình đốt cháy của lò đốt rác thải sinh hoạt cao hơn so với lò đốt rác thải công nghiệp. Tổng PAHs trong tro đáy giữa hai loại lò đốt là tương đương nhau. Từ các kết quả nghiên cứu bước đầu này đã cho thấy sự hình thành và nguy cơ ô nhiễm hợp chất thơm đa vòng có nguồn gốc từ quá trình đốt của các lò đốt chất thải sinh hoạt và chất thải công nghiệp. Vì vậy cần có biện pháp quản lý chất thải, giảm phát thải các hợp chất này trong quá trình đốt cháy, giảm các chất có nguồn gốc phát sinh chất thải hữu cơ, kiểm soát nhiệt độ đốt của lò để từ đó đưa ra các biện pháp quản

lý an toàn trong môi trường và đảm bảo sức khỏe cộng đồng.

#### LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ kinh phí từ đề tài quỹ Nafosted, mã số 104.04 - 2019.332.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Hsu, W. T., Liu, M. C., Hung, P. C., Chang, S. H., & Chang, M. B. (2016). PAH emissions from coal combustion and waste incineration. *Journal of Hazardous Materials*, 318, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.06.038>
- Shen, H., Huang, Y., Wang, R., Zhu, D., Li, W., Shen, G., Wang, B., Zhang, Y., Chen, Y., Lu, Y., Chen, H., Li, T., Sun, K., Li, B., Liu, W., Liu, J., & Tao, S. (2013). Global atmospheric emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons from 1960 to 2008 and future predictions. *Environmental Science and Technology*, 47(12), 6415–6424. <https://doi.org/10.1021/es400857z>

3. Stogiannidis, E., & Laane, R. (2015). Source characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons by using their molecular indices: An overview of possibilities. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 234, 49–133. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-10638-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-10638-0_2)
4. Johansson, I., & van Bavel, B. (2003). Polycyclic aromatic hydrocarbons in weathered bottom ash from incineration of municipal solid waste. *Chemosphere*, 53(2), 123–128.
5. Li, H., Liu, G., & Cao, Y. (2015). Levels and environmental impact of PAHs and trace element in fly ash from a miscellaneous solid waste by rotary kiln incinerator, China. *Natural Hazards*, 76(2), 811–822.
6. Gao, P. P., & Ni, H. G. (2019). Emission characteristics of parent and halogenated PAHs in simulated municipal solid waste incineration. *Science of the Total Environment*, 665, 11–17.
7. Sarkar, E., George, J., Jyoti, K., Dutta, P., & Ram, L. C. PAHs and potentially toxic elements in the fly ash and bed ash of biomass fired power plants. *Fuel Processing Technology*, 132, 139–152.
8. Li, H. Y., Gao, P. P., & Ni, H. G. (2019). Emission characteristics of parent and halogenated PAHs in simulated municipal solid waste incineration. *Science of the Total Environment*, 665, 11–17.
9. Mastro, R. E., Sarkar, E., George, J., Jyoti, K., Dutta, P., & Ram, L. C. (2015). PAHs and potentially toxic elements in the fly ash and bed ash of biomass fired power plants. *Fuel Processing Technology*, 132, 139–152.
10. Anh, H. Q., Tue, N. M., Tuyen, L. H., Minh, T. B., Viet, P. H., & Takahashi, S. (2019). Polycyclic aromatic hydrocarbons and their methylated derivatives in settled dusts from end-of-life vehicle processing, urban, and rural areas, northern Vietnam: Occurrence, source apportionment, and risk assessment. *Science of the Total Environment*, 672, 468–478.
11. Hoang, A. Q., Takahashi, S., da Le, N., Hoang, T. T. H., Duong, T. T., Pham, T. M. H., Nguyen, T. D., Phung, T. X. B., Nguyen, T. A. H., Le, H. T., Nguyen, M. T., Tu, M. B., (2021). Unsubstituted and Methylated PAHs in Surface Sediment of Urban Rivers in the Red River Delta (Hanoi, Vietnam): Concentrations, Profiles, Sources, and Ecological Risk Assessment. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*.
12. Hien, T. T., Thanh, L. T., Kameda, T., Takenaka, N., & Bandow, H. (2007). Distribution characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons with particle size in urban aerosols at the roadside in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Atmospheric Environment*, 41(8), 1575–1586.
13. N.T. Mai, V.D. Toan, Đánh giá hàm lượng PAH trong tro xỉ đáy lò đốt rác phát điện, 195 (2019) 11–16.
14. M.B. Chang, C.H. Jen, H.T. Wu, H.Y. Lin, Investigation on the emission factors and removal efficiencies of heavy metals from MSW incinerators in Taiwan, *Waste Manag. Res.* 21 (2003) 218–224. doi:10.1177/0734242X0302100305]
15. Peng, N., Li, Y., Liu, Z., Liu, T., & Gai, C. (2016). Emission, distribution and toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) during municipal solid waste (MSW) and coal co-combustion. *Science of the Total Environment*, 565, 1201–1207.
16. Zhao, L., Zhang, F. S., Hao, Z., & Wang, H. (2008). Levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in different types of hospital waste incinerator ashes. *Science of the Total Environment*, 397(1–3), 24–30.
17. Vu-Duc, N., Phung Thi, L. A., Le-Minh, T., Nguyen, L.-A., Nguyen-Thi, H., Pham-Thi, L.-H., Doan-Thi, V.-A., Le-Quang, H., Nguyen-Xuan, H., Thi Nguyen, T., Nguyen, P. T., & Chu, D. B. (2021). Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Airborne Particulate Matter Samples by Gas Chromatography in Combination with Tandem Mass Spectrometry (GC-MS/MS). *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2021, 6641326.
18. Nguyen, T. H., Hoang, Q.A., Nguyen, T.T.T, V. V. T., Nguyen. X. T., & Tu, M. B. (2020). Concentrations, profiles, emission inventory, and risk assessment of chlorinated benzenes in bottom ash and fly ash of municipal and medical waste incinerators in northern Vietnam. *Environmental Science and Pollution Research*.