

PHÂN TÍCH CÁC ĐẶC TÍNH VÀ ĐÁNH GIÁ RỦI RO SINH THÁI MÔI TRƯỜNG CỦA MỘT SỐ KIM LOẠI TRONG BỤI LÒ HỒ QUANG ĐIỆN

ANALYSIS OF CHARACTERISTICS AND ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT OF SOME METALS IN ELECTRIC ARC FURNITURE DUST

Nguyễn Thị Thu Phương^{1,*}, Phạm Hương Quỳnh²,
Trần Ý Đoan Trang², Tạ Thị Hương²

DOI: <http://doi.org/10.57001/huinh5804.2025.201>

TÓM TẮT

Mẫu bụi lò hồ quang điện (EAF) được phân tích thành phần hóa học bằng Phương pháp phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX), nghiên cứu hình thái bằng Kỹ thuật chụp ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) và Phương pháp đo diện tích bề mặt riêng (BET); kiểm tra nồng độ ngấm chiết độc tính trong bụi EAF bằng phương pháp EPA (EPA 1311:2007 & SMEWW 0125:2012). Kết quả cho thấy bụi EAF có thành phần chủ yếu là các kim loại, trong đó hàm lượng Fe và Zn khá cao (hàm lượng Fe 44,24%, hàm lượng Zn 10,69%) và hàm lượng kim loại nặng Pb trung bình là 1,15%. Bụi EAF gồm các hạt lớn (từ vài chục micromet) và các hạt mịn hơn (dưới 10 μ m) với diện tích bề mặt riêng BET là 3,4339m²/g, thuộc loại vật liệu xốp trung bình (đường đẳng nhiệt loại IV). Nồng độ ngấm chiết độc tính (TCLP) của Hg, Sb, As, Cd, Pb, Zn lần lượt là 0,0028; 0,009; 0,028; 0,0015; 0,195; 0,241mg/l nằm trong ngưỡng cho phép theo QCVN-07-2009-BTNMT. Chỉ số rủi ro sinh thái tiềm năng RI của EAF là 135,59 cho thấy mức độ rủi ro sinh thái vừa phải của Pb, Zn; giá trị hệ số nguy cơ sinh thái tiềm tàng (E_r^I) của mỗi nguyên tố đơn lẻ Pb và Zn lần lượt là 82,14 và 53,45, trong đó Zn thể hiện rủi ro sinh thái vừa phải thì Pb thể hiện rủi ro sinh thái đáng quan tâm.

Từ khóa: Bụi lò hồ quang điện; đặc tính; chỉ số rủi ro sinh thái tiềm năng.

ABSTRACT

Electric arc furnace (EAF) dust samples were analyzed for chemical composition using Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX), and morphological studies were used Scanning Electron Microscopy (SEM) and BET theory; Toxicity characteristic leaching procedure tests were conducted in accordance with EPA Method (EPA 1311:2007 & SMEWW 0125:2012). The results show that EAF dust is mainly composed of metals, in which the Fe and Zn content is quite high (Fe content 44.24%, Zn content 10.69%) and the average heavy metal Pb content is 1.15%. EAF dust includes large particles (from a few tens micrometers) and finer particles (under 10 μ m) with a BET surface area of 3.4339m²/g, belonging to the meso- porous medium materials (type IV isotherm). The toxicity leaching concentrations (TCLP) of Hg, Sb, As, Cd, Pb, Zn are 0.0028; 0.009; 0.028; 0.0015; 0.195; 0.241mg/l is within the allowable threshold according to QCVN-07-2009-BTNMT. Potential ecological risk index of EAF is 135.59 showed that the ecological risk level of Pb, Zn in EAF is moderate risk; the single element potential ecological hazard coefficient (E_r^I) values of Pb and Zn were respectively 82.14 and 53.45, Zn presented a moderate risk and Pb presented a high risk.

Keywords: Electric arc furnace dust; characteristics; potential ecological risk index.

¹Khoa Công nghệ Hóa, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Viện Công nghệ HaUI, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: phuongntt@hauai.edu.vn

Ngày nhận bài: 28/02/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 16/5/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/5/2025

1. GIỚI THIỆU

Thép là nguyên liệu cơ bản, thiết yếu trong hầu hết lĩnh vực sản xuất, luyện kim, cơ khí, xây dựng ... do vậy nhu cầu của sản xuất luyện thép liên tục gia tăng cả trong và ngoài nước. Năm 2023, Việt Nam đứng thứ 13 thế giới về sản xuất thép thô, đứng đầu châu Á và Đông Nam Á về sản xuất và tiêu thụ sản phẩm với sản lượng đạt khoảng 20 triệu tấn thép và dự báo đến 2035 sẽ sản xuất 56,7 triệu tấn thép [1]. Trên thế giới, năm 2023 sản lượng đạt khoảng 1.764 triệu tấn và dự kiến từ 1.950 triệu đến 2.000 triệu tấn vào năm 2035 [2]. Việt Nam và thế giới đều đang sử dụng ba công nghệ sản xuất thép: công nghệ Lò chuyển (Basic Oxygen Furnace - BOF), công nghệ Lò hồ quang điện (Electric Arc Furnace - EAF), công nghệ Lò điện cảm ứng (Induction Furnace - IF), trong đó ở Việt Nam chủ yếu sử dụng công nghệ lò hồ quang điện EAF (chiếm trên 50% đơn vị sản xuất thép) [3]. Tuy nhiên, đi cùng phát triển gia tăng và mở rộng sản xuất thép, quá trình sản xuất gang thép đã tạo ra một lượng lớn các chất thải gây ô nhiễm môi trường đất, nước, không khí và ảnh hưởng nghiêm trọng tới sức khỏe con người với lượng bụi thải lên tới hàng triệu tấn/năm, ngoài ra còn lượng lớn khí thải, nước thải.... Ước tính để sản xuất 1 tấn thép sẽ thải ra từ 0,5 đến 1 tấn xỉ, 10.000m³ khí thải, 100kg bụi thải, 80 m³ nước thải [4]... Nhu cầu xử lý tro bụi thải từ công ty gang thép nói chung và của lò điện hồ quang nói chung là vô cùng lớn và cấp bách, hiện tại các công ty phải trả chi phí thuê công ty khác đến thu gom vận chuyển xử lý là tương đối lớn, tốn kém nhưng chưa thực sự hiệu quả, chỉ xử lý được một phần bụi thải, vẫn còn lượng bụi lò lớn lưu giữ tại kho của các Công ty chưa có biện pháp xử lý tập trung, hiệu quả và cần được cơ quan quản lý và các nhà khoa học quan tâm cùng tìm cách giải quyết.

Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng bụi EAF có thành phần chủ yếu là oxit của Fe chủ yếu dưới dạng magnetite (Fe₃O₄) và franklinite (ZnFe₂O₄) và oxit của Zn có trong Zincite (ZnO) và franklinite. Ngoài ra có các oxit của Mn, Al, Si, Ca, Mg..., Ngoài ra còn có sự hiện diện của các kim loại nặng như Pb, As, Cd, Hg... có thể gây ra mối đe dọa cho môi trường và sức khỏe con người, do đó chất thải này được coi là nguy hiểm chính thức ở nhiều quốc gia và tại Việt Nam là chất thải nguy hại (mã số CTNH 05 01 01) và phải được phân định theo quy định tại QCVN 07:2009/BTNMT [5, 6]. Pb và Zn là hai kim loại rất dễ bay hơi khi thép nóng chảy nên chúng tập trung khá nhiều trong bụi lò EAF. Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu về phân tích đặc tính, thành phần, tính chất cơ lý của bụi lò EAF cũng như đánh giá rủi ro sinh thái với môi trường [7-

13]. Ở Việt Nam tuy đã có các nghiên cứu về phân tích đặc tính của bụi lò điện hồ quang nhưng chưa đầy đủ [15], đặc biệt chưa có nghiên cứu nào tính toán về rủi ro sinh thái môi trường của các thành phần trong bụi EAF. Trong nghiên cứu này chúng tôi phân tích các đặc tính của bụi lò điện hồ quang EAF cũng như đánh giá rủi ro sinh thái môi trường của Pb, Zn trong EAF từ đó cung cấp dữ liệu cơ bản và cơ sở khoa học cho việc xử lý/thu hồi/tái sử dụng EAF.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Các phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp lấy mẫu theo TCVN 9466:2012 (ASTM D6009-12).

- Các phương pháp phân tích: phương pháp hiển vi điện tử quét (SEM); Phương pháp đo diện tích bề mặt (BET); phương pháp phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX); Phương pháp ngâm chiết theo EPA 1311:2007 & SMEWW 0125:2012; Phương pháp đánh giá rủi ro sinh thái theo Hakanson.

- Các phương pháp điều tra, khảo sát trực tiếp tại Công ty Cổ phần gang thép Thái Nguyên.

2.2. Phương pháp lấy mẫu

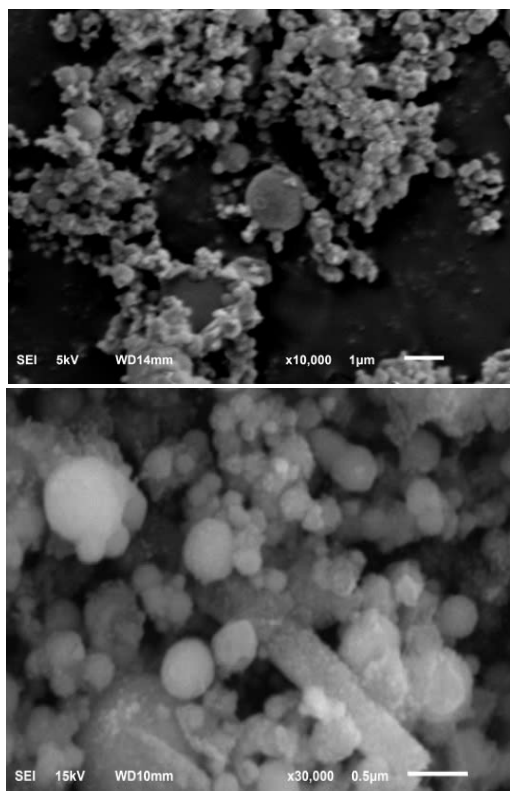
Lấy mẫu bụi hồ quang điện tại Kho lưu giữ bụi lò số 01 và 02 của Nhà máy luyện thép Lưu Xá - Công ty Cổ phần gang thép Thái Nguyên theo phương pháp lấy mẫu ngẫu nhiên theo TCVN 9466:2012 (ASTM D6009-12) [16] tại các vị trí khác nhau trên bề mặt và theo độ sâu của các kho lưu giữ bụi lò luyện thép để đảm bảo mỗi thành phần trong đồng chất thải đều được đưa vào trong mẫu như nhau. Mỗi kho lưu giữ bụi lấy 3 mẫu, mỗi mẫu làm lặp 3 lần (n = 3). Mẫu sau khi lấy được đựng vào các túi zip, bảo quản cẩn thận ở nhiệt độ phòng và mang về phòng thí nghiệm phân tích.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Kết quả nghiên cứu hình thái và diện tích bề mặt của bụi EAF

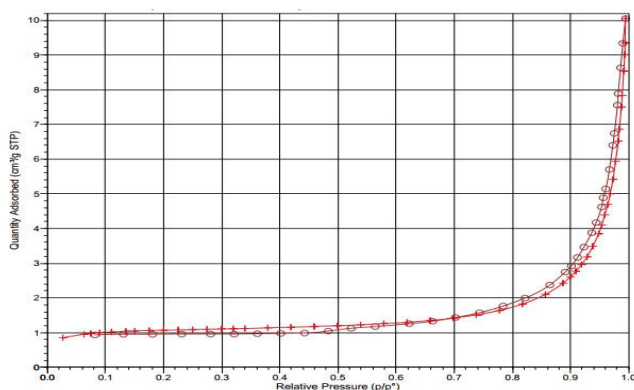
Kết quả chụp SEM cho thấy các hạt bụi EAF có nhiều kích cỡ khác nhau gồm hai loại hạt: các hạt lớn không đồng đều (từ vài chục μm) và các hạt mịn hơn có dạng hạt giống hình cầu kích thước dưới 10μm (hình 1). Theo tác giả Anne-Gwénaëlle Guézennec và cộng sự [12] thì các hạt lớn là do sự bay ra trực tiếp của các hạt rắn trong quá trình đưa nguyên liệu dạng bột vào lò (phế liệu, than để tạo xỉ bột,...) hoặc do sự kết tụ lại của các hạt mịn với nhau... Phần lớn trong bụi EAF gồm các hạt mịn hình cầu có kích thước từ dưới 10μm, bụi này có thể là do luyện thép bằng lò điện hồ quang có sử dụng một lượng than

antraxit (để tạo xỉ bột, tăng cacbon trong thép) đã phát khí bụi thải (gồm CO , CO_2 , SO_x , NO_x). Đó cũng là những nguyên nhân chính gây ra sự phát thải của bụi EAF.



Hình 1. Ảnh SEM của vật liệu EAF

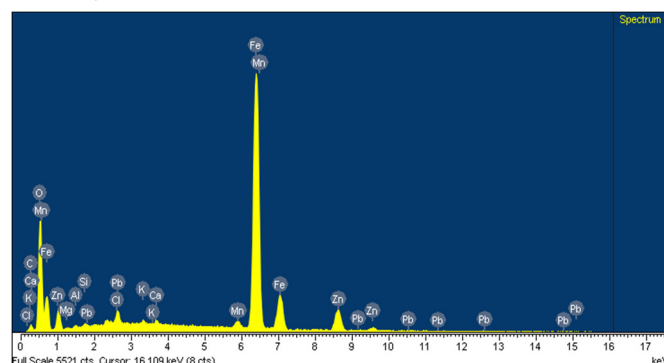
Diện tích bề mặt của bụi EAF được nghiên cứu bằng phương pháp BET, đường cong hấp phụ của bụi lò luyện thép EAF được thể hiện trong hình 2 là đường đẳng nhiệt hấp phụ loại IV điển hình có vòng trễ hấp phụ, được quan sát thấy trong các vật liệu có một cấu trúc vi mao quản trung bình. Diện tích bề mặt riêng BET là $3,4339\text{m}^2/\text{g}$, kích thước lỗ rỗng trung bình là $34,9035\text{nm}$ và thể tích lỗ rỗng $0,0133\text{cm}^3/\text{g}$. Các kết quả nghiên cứu hình thái của bụi EAF bằng phương pháp SEM và phương pháp BET cung cấp thông tin hữu ích cho việc xác định cơ chế hình thành bụi cũng như định hướng khi thu hồi, tái sử dụng bụi.



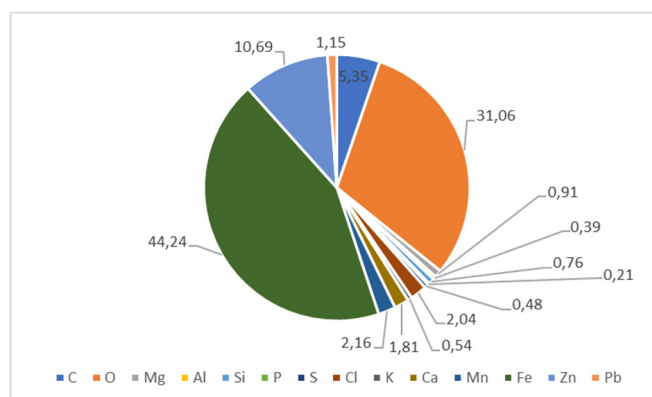
Hình 2. Đường hấp phụ và giải hấp đẳng nhiệt của EAF

3.2. Kết quả nghiên cứu thành phần hóa học của bụi EAF

Kết quả phân tích mẫu bụi lò luyện thép bằng phương pháp EDX thể hiện ở hình 3 và 4.



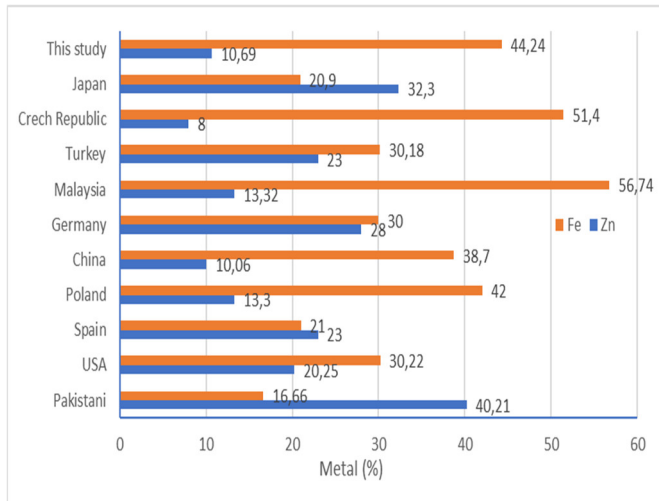
Hình 3. Phổ EDX của mẫu bụi lò luyện thép



Hình 4. Hàm lượng kim loại trung bình trong các mẫu bụi lò luyện thép

Kết quả cho thấy các mẫu bụi đều chứa kẽm, sắt, mangan và lượng nhỏ nhôm, magie, silic... Ngoài ra trong mẫu còn chứa các phi kim như C, S, Cl, P, trong đó hầu hết các mẫu có C có hàm lượng cao, các phi kim còn lại có hàm lượng khá thấp. Hầu hết các kim loại được xác định ở dạng oxit (Al_2O_3 , MgO , SiO_2), sắt ở dạng FeS_2 , canxi có ở dạng CaCO_3 , clo ở dạng NaCl . Sắt và kẽm là 2 kim loại có hàm lượng cao trong các mẫu với hàm lượng sắt từ 29,35 - 58,21% (trung bình 44,24%), hàm lượng kẽm từ 6,14 - 17,52% (trung bình 10,69%). Các nguyên tố khác cũng có hàm lượng biến đổi trong khoảng khá rộng: carbon (2,11 - 10,04%); canxi (0,35 - 6,22%); lưu huỳnh (0,18 - 1,53%); mangan, magie, chì (0,25 - 3%); hàm lượng vết của silic, nhôm, kali không vượt quá 1%. Các kim loại nặng như chì trong mẫu có hàm lượng đáng kể từ 0,8 - 1,49%, hàm lượng mangan từ 1,2 - 3,03%. Thành phần nguyên tố của bụi lò thép thay đổi ở các mẫu khác nhau được giải thích là tùy thuộc vào điều kiện vận hành lò hoặc sự đa dạng của nguyên liệu thô phế liệu [12]. Theo tác giả Nyirenda [13], thành phần của bụi có thể rất khác nhau ở các nhà máy, các quốc gia khác nhau, cũng như có thể thay đổi

không chỉ từ ngày này sang ngày khác mà còn thay đổi từ nhiệt độ này sang nhiệt độ khác của cùng một xưởng thép trong cùng một nhà máy. Hàm lượng sắt khá cao và hàm lượng kẽm đáng kể trong các mẫu phân tích có sự trùng lặp với kết quả nghiên cứu đã công bố trước đây (hình 5).



Hình 5. So sánh hàm lượng Zn và Fe trong các mẫu bụi lò luyện thép

Hàm lượng cao của Fe, Zn và sự xuất hiện các nguyên tố kim loại, phi kim trong mẫu được giải thích là do cacbon và các oxit sắt xuất phát từ nguyên liệu sản xuất thép chủ yếu là sắt, thép phế liệu trong nước và nhập khẩu trong đó đã có chứa các thành phần này; Zn được tìm thấy trong bụi thép ở nồng độ cao do Zn được sử dụng rộng rãi để bảo vệ chống ăn mòn thép; các oxit cơ bản như CaO và MgO phát sinh từ các chất trợ dung liên quan đến quá trình luyện thép; đá vôi (CaCO_3) được thêm vào ở một số xưởng luyện thép như chất làm mát để điều chỉnh nhiệt độ cuối cùng; các oxit khác như SiO_2 và Al_2O_3 , có nguồn gốc từ phần kim loại màu của nguyên liệu thô. Các nguyên tố dễ bay hơi như Zn, Mn và Pb cũng như các nguyên tố vi lượng khác cũng có nguồn gốc từ nguyên liệu thô phế liệu. Trong các phi kim thì hàm lượng Clo là cao nhất từ 1,1 - 2,95%. Hàm lượng clo cao có mặt trong mẫu được giải thích là do trong nguyên liệu thô phế liệu có thể có các tạp chất chứa clo như cao su, sơn,...[5]. Như vậy, bụi EAF phân tích được có chứa hàm lượng sắt rất cao và hàm lượng kẽm đáng kể có thể định hướng để sử dụng làm tài nguyên thứ cấp và có thể thu hồi để tái sử dụng trong sản xuất bằng các phương pháp như thủy luyện, vi sóng...[9, 14, 15].

3.3. Kết quả nghiên cứu nồng độ ngâm chiết độc tính

Để đánh giá mức độ nguy hại của một số kim loại trong mẫu bụi lò EAF, chúng tôi tiến hành phương pháp ngâm chiết độc tính EPA 1311:2007 & SMEWW 0125:2012

(toxicity characteristic leaching procedure (TCLP)) sử dụng nước cất khử ion, ngâm chiết trong 24h, khuấy liên tục với tốc độ 30 vòng/phút. Nồng độ ngâm chiết là nồng độ (mg/l) của một thành phần nguy hại trong dung dịch sau ngâm chiết, được thôi ra từ chất thải khi tiến hành chuẩn bị mẫu phân tích bằng phương pháp ngâm chiết. Kết quả cho thấy sự có mặt của các kim loại độc hại trong dung dịch ngâm chiết như Hg, Sb, As, Cd, Pb, Sb với nồng độ ngâm chiết đáng kể (bảng 1).

Bảng 1. Kết quả nồng độ ngâm chiết độc tính của mẫu bụi lò EAF

Thành phần nguy hại	Kết quả nồng độ ngâm chiết (mg/l)	Nồng độ ngâm chiết QCVN-07-2009-BTNMT (mg/l)
Hg	0,0028	0,2
Sb	0,009	1
As	0,028	2
Cd	0,0015	0,5
Pb	0,195	15
Zn	0,241	250

Tuy nồng độ ngâm chiết vẫn nằm trong ngưỡng chất thải nguy hại cho phép nhưng về lâu dài sự có mặt của các kim loại độc hại trong dung dịch ngâm chiết chứng tỏ các kim loại này nếu phát thải ra môi trường có thể tích lũy và sẽ làm thay đổi thành phần đất gần bãi chứa, chúng không thể bị phân hủy theo phương pháp sinh học hoặc hóa học và có thể tồn tại trong môi trường trong thời gian dài, gây ô nhiễm đất dẫn đến việc đưa các nguyên tố nguy hiểm vào chuỗi thức ăn thông qua quá trình hấp thụ của thực vật, do đó ảnh hưởng đến khả năng quang hợp, trao đổi khí và hấp thụ chất dinh dưỡng, dẫn đến giảm sinh trưởng của thực vật và theo chuỗi thức ăn ảnh hưởng đến sức khỏe của con người. Chúng dễ gây ra độ kiềm cho đất do bụi EAF tích tụ do có thành phần kiềm, gây đe dọa lớn với nguồn nước do sự tồn tại của các kim loại nặng độc hại [10, 11]. Kết quả này không chỉ cung cấp thông tin về nồng độ ngâm chiết của các kim loại mà còn là cơ sở để phân định, phân loại và quản lý CTNN bụi lò luyện thép EAF.

3.4. Phương pháp đánh giá rủi ro sinh thái

Chúng tôi tiến hành đánh giá rủi ro sinh thái môi trường của Pb, Zn trong mẫu bụi lò EAF dựa vào việc đánh giá rủi ro sinh thái tiềm năng (RI) của các kim loại nặng (KLN) trong mẫu theo các chỉ số do nhà khoa học Hakanson (Thụy Điển) [19] đề ra. Phương pháp này xem xét nhiều yếu tố khác nhau, chẳng hạn như sự phối hợp nhiều yếu tố, mức độ độc tính, nồng độ ô nhiễm và độ nhạy cảm của môi trường đối với kim loại nặng, và được

sử dụng rộng rãi trong đánh giá rủi ro môi trường của kim loại nặng dựa trên nguyên tắc lắng đọng, tích tụ KLN.

Mức độ ô nhiễm của các KLN được đánh giá dựa vào giá trị C_d theo các công thức tính:

$$C_f^i = \frac{C_o^i}{C_n^i}$$

$$C_d = \sum_{n=1}^n C_f^i$$

C^i - Hàm lượng KLN thứ i đo được trong mẫu tại khu vực nghiên cứu (mg/kg).

C_n^i - Hàm lượng tham chiếu của KLN lấy trong QCVN 03:2023/BTNMT [18], với Zn là 2000mg/kg; với Pb là 700mg/kg.

C_f^i - Yếu tố ô nhiễm của từng kim loại.

Chỉ số rủi ro sinh thái tiềm năng (RI) được đánh giá dựa vào nồng độ của các kim loại nặng (KLN): Pb, Zn trong mẫu theo công thức:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_f^i \quad ; \quad E_f^i = C_f^i \cdot T_f^i$$

Trong đó:

E_f^i - Yếu tố rủi ro sinh thái của từng KLN.

T_f^i - Hệ số độc tính của KLN. Theo nghiên cứu của Hakanson [14], hệ số độc tính T_f^i của các kim loại như sau: Zn = 1, Pb = 5. Thang đánh giá mức độ ô nhiễm và rủi ro sinh thái theo các đại lượng này được thống kê ở bảng 2.

Bảng 2. Thang đánh giá mức độ ô nhiễm và rủi ro sinh thái

E_f^i	RI	Mức độ rủi ro sinh thái
$E_f^i < 40$	$RI < 110$	Rủi ro sinh thái thấp
$40 \leq E_f^i \leq 80$	$110 \leq RI \leq 220$	Rủi ro sinh thái vừa phải
$80 \leq E_f^i \leq 160$	$220 \leq RI \leq 440$	Rủi ro sinh thái đáng quan tâm
$160 \leq E_f^i \leq 320$	$RI \geq 440$	Rủi ro sinh thái rất cao
$E_f^i \geq 320$		Rủi ro sinh thái rất cao

Bảng 3. Đánh giá mức độ rủi ro sinh thái với môi trường của Pb, Zn trong EAF

Kim loại	E_f^i	RI	Mức độ rủi ro sinh thái
Pb	82,14	135,59	Rủi ro sinh thái đáng quan tâm
Zn	53,45		Rủi ro sinh thái vừa phải

Kết quả bảng 3 cho thấy các rủi ro sinh thái tiềm tàng của các nguyên tố Pb, Zn trong bụi EAF là đáng kể. Theo đó khả năng rủi ro phát tán và giải phóng các dạng kim loại của các kim loại độc hại ra môi trường theo mức độ rủi ro của Pb > Zn. Các chỉ số E_f^i của Pb và Zn lần lượt là 82,14 và 53,45 cho thấy Pb ở mức rủi ro sinh thái với môi trường là đáng quan tâm còn Zn ở mức vừa phải. Chỉ số

rủi ro sinh thái RI = 135,59 cho thấy rủi ro của các kim loại Pb, Zn thuộc mức rủi ro sinh thái vừa phải. Tuy nhiên về lâu dài vẫn có nguy cơ phát tán và giải phóng các dạng kim loại độc hại vào môi trường nên cần có các phương án xử lý, tái sử dụng hiệu quả.

4. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Kết quả nghiên cho thấy mẫu bụi lò EAF tại Công ty CP gang thép Thái Nguyên có hàm lượng kẽm đáng kể (10,69%) và hàm lượng lớn sắt (44,24%), nếu không được thu hồi tái sinh sẽ gây thất thoát và lãng phí tài nguyên. Phương pháp đánh giá rủi ro ô nhiễm sinh thái cho thấy một số kim loại như Pb, Zn ở mức rủi ro sinh thái vừa phải trong đó Pb ở mức đáng quan tâm và Zn ở mức trung bình (E_f^i của Pb và Zn lần lượt là 82,14 và 53,45). Phương pháp ngâm chiết EAF xác định nồng độ ngâm chiết của một số kim loại độc hại như Hg, Sb, As, Cd, Pb, Zn cho thấy tuy nằm trong ngưỡng cho phép nhưng về lâu dài sẽ tích lũy gây nguy hiểm tới môi trường đất, nước và theo chuỗi thức ăn hưởng tới sức khỏe con người. Các kết quả trên cung cấp thông tin hữu ích cho việc xác định đặc tính, cơ chế hình thành bụi EAF cũng như cung cấp dữ liệu cơ bản, cơ sở khoa học cho việc xử lý/thu hồi/tái sử dụng EAF nói chung và xử lý Pb, Zn nói riêng một cách hiệu quả.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được hỗ trợ kinh phí từ đề tài “Nghiên cứu công nghệ và thiết bị thu hồi kẽm, sắt trong bụi lò nghèo kẽm của nhà máy luyện thép bằng lò điện hồ quang” - Mã số 025.2023.ĐTBO/HĐKH-CN.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Thành Vinh, *Ngành thép sẵn sàng chuyển đổi xanh để thích ứng với cơ chế CBAM*. 2024. <https://moit.gov.vn/phat-trien-ben-vung/nganh-thep-san-sang-chuyen-doi-xanh-de-thich-ung-voi-co-che-cbam.html>.

[2]. Kunwar Vijayant Singh, Rajat Gupta, Amit Aggarwal, Ankit Agarwal, *Evolving with steel: Future growth and opportunities*. McKinsey & Company 2024. Truy cập ngày 04/9/2024. <https://www.mckinsey.com/in/our-insights/evolving-with-steel-future-growth-and-opportunities>.

[3]. Phạm Văn Liêm, *Tiết kiệm năng lượng và xu hướng công nghệ trong ngành thép Việt Nam*. 2018. <https://scp.gov.vn/tin-tuc/t10217/tiet-kiem-nang-luong-va-xu-huong-cong-nghe-trong-nganh-thep-viet-nam.html>.

[4]. Ngô Trí Long, *Cần nhắc biện pháp tự vệ để bảo hộ ngành thép*. 2016. <https://kinhtedothi.vn/can-nhac-bien-phap-tu-ve-de-bao-ho-nganh-thep.html>

[5]. P. W. K. Buzin, N. C. Heck, A. C. F. Vilela, “EAF dust: an overview on the influences of physical, chemical and mineral features in its recycling and waste incorporation routes,” *J Mater Res Technol*, 6, 2, 194-202, 2017.

- [6]. Minh Nguyệt, *Tổng cục Môi trường thông tin về bụi lò thép tại Công ty Cổ phần gang thép Thái Nguyên*. 2021. <https://baotintuc.vn/thoi-su/tong-cuc-moi-truong-thong-tin-ve-bui-lo-thep-tai-cong-ty-co-phan-gang-thep-thai-nguyen-20210325151604843.htm>
- [7]. Sureerat Polsilapa, Nakarin Sriyowong, "Electric arc furnace dust treatment by the combination of pyro/hydrometallurgical processes," *Applied Mechanics and Materials*, 799-800:72-76, 2015.
- [8]. A. J. B. Dutra, P. R. P. Paiva, L. M. Tavares, "Alkaline leaching of zinc from electric arc furnace steel dust," *Minerals Engineering*, 19, 5, 478-485, 2006.
- [9]. M. Al-Harashsheh, S. Kingman, L. Al-Makhadmah, I. E. Hamilton, "Microwave treatment of electric arc furnace dust with PVC: dielectric characterization and pyrolysis-leaching," *J Hazard Mater*, 274C:87-97, 2014.
- [10]. P. Khanmohammadi Hazaveh, S. Karimi, F. Rashchi, S. Sheibani, "Purification of the leaching solution of recycling zinc from the hazardous electric arc furnace dust through an as-bearing jarosite," *Ecotoxicol Environ Saf*, 110893, 2000.
- [11]. Michio Nakayama, *EAF dust treatment for high metal recovery*. JP Steel Plantech Co., Yokohama, Japan, 2013.
- [12]. Anne-Gwénaëlle Guézennec, Jean-Christophe Huber, Fabrice Patisson, Philippe Sessieq, Jean-Pierre Birat, Denis Ablitzer, "Dust formation in electric arc furnace: Birth of particles," *Powder Technology*, 157, 1-3, 2-11, 2005.
- [13]. R.L. Nyirenda, "The processing of steelmaking flue dust: a review," *Min Eng*, 4 (7-11), 1003-1025, 1991.
- [14]. Hakanson L, "An ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach," *Water Research*, 14 (8), 1980.
- [15]. Đỗ Hồng Nga, "Tái sinh kẽm từ bụi lò điện hồ quang luyện thép phế liệu bằng hòa tách với axit sunfuric," *Journal of Science And Technology Of Metals, Vietnam Foundry And Metallurgy Science And Technology Association*, 2013.
- [16]. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9466:2012 (ASTM D6009-12) - Chất thải rắn - Hướng dẫn lấy mẫu từ đồng chất thải.
- [17]. TCVN 9239:2012, Chất thải rắn - Quy trình chiết độc tính.
- [18]. QCVN 03:2023/BTNMT, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng đất.

AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Thi Thu Phuong¹, Pham Huong Quynh²,
Tran Y Doan Trang², Ta Thi Huong²**

¹Faculty of Chemical Technology, Hanoi University of Industry, Vietnam

²HaUI Institute of Technology, Hanoi University of Industry, Vietnam